

14
209



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

"ANALISIS LITOLOGICO Y ESTRUCTURAL
DEL AREA CON SULFUROS MASIVOS DE
CAMPO SECO, MUNICIPIO DE APAXTLA,
GRO."

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de
INGENIERO GEOLOGO

presentan:

JORGE ORTEGA PINEDA
NOE PIEDAD SANCHEZ



MEXICO, D.F.

1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.

INDICE

RESUMEN	1
I.-GENERALIDADES	2
I.1 OBJETIVO	2
I.2 METODO DE TRABAJO	2
I.3 TRABAJOS PREVIOS	4
I.4 RESEÑA HISTORICA	4
I.5 LOCALIZACION Y VIAS DE COMUNICACION	5
I.6 ASPECTO SOCIAL	5
I.7 CLIMA	7
I.8 VEGETACION Y FAUNA	7
I.9 FISIOGRAFIA	7
I.9.1 GEOMORFOLOGIA	7
I.9.2 HIDROGRAFIA	10
II.- MARCO GEOLOGICO REGIONAL	11
II.1 MARCO TECTONICO	11
II.2 ESTRATIGRAFIA	13

II.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL	18
II.4 EVOLUCION TECTONICA	19
III.- DESCRIPCION DE LAS UNIDADES LITOLÓGICAS	25
III.1 LITOESTRATIGRAFIA LOCAL	26
III.2 ALTERACIONES	31
IV.- DESCRIPCION DE LOS CUERPOS MINERALIZADOS	33
IV.1 MORFOLOGIA DE LOS CUERPOS MINERALIZADOS	33
IV.1.1 CUERPO CAMPO SECO	33
IV.1.2 CUERPO TEHUEHUETLA	33
IV.2 MINERALOGIA DE LOS CUERPOS MINERALIZADOS	35
V.2.1 CUERPO CAMPO SECO	35
IV.2.2 CUERPO TEHUEHUETLA	37
IV.3 LEYES DE LOS CUERPOS MINERALIZADOS	38
IV.4 MODELO DE MINERALIZACION	55
IV.4.1 GENERALIDADES SOBRE EL ORIGEN DE LOS YACIMIENTOS DE SULFUROS MASIVOS VULCANOGENICOS	55
IV.4.2 GENESIS DE LA MINERALIZACION EN EL AREA CAMPO SECO, GUERRERO	59
V.- ANALISIS ESTRUCTURAL	61
V.1 GEOLOGIA ESTRUCTURAL	61

V.2 FASES DE DEFORMACION	62
VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
VI.1 CONCLUSIONES	65
VI.2 RECOMENDACIONES	66
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	67
APENDICE I: FOTOGRAFIAS DE LA ASIGNACION CAMPO SECO	72
APENDICE II: FOTOGRAFIAS PETROGRAFICAS	80
APENDICE III: DESCRIPCIONES PETROGRAFICAS	85
APENDICE IV: FOTOGRAFIAS MINERAGRAFICAS	107
APENDICE V : PLANO DE LA ASIGNACION CAMPO SECO	114

RESUMEN

La asignación Campo Seco, municipio de Apaxtla, Guerrero, se localiza en la región sur del país conocida como Tierra Caliente. Está limitada por los paralelos 17° 59' 50" y 18° 00' 50" de latitud norte y los meridianos 100° 01' 59" y 100° 03' 07" de longitud oeste. Aflora en el lugar una secuencia vulcanosedimentaria que presenta un metamorfismo regional facies esquistoso verde y que en general puede correlacionarse con parte del Complejo Tierra Caliente. Se definieron, dentro de este paquete de rocas, tres unidades litoestratigráficas, con base en el contenido de material volcánico y/o pelítico presente en cada una de ellas. Estas unidades en orden cronológico son las siguientes: Unidad metavolcánica El Gringo, Unidad metapelítica-volcánica Tehuehuetla y Unidad metapelítica calcárea-volcánica Campo Seco. En la localidad afloran dos lentes de sulfuros masivos vulcanogénicos con leyes atractivas de Au y Ag que se clasifican por sus contenidos químicos como tipo Zn-Pb-Cu (según la clasificación de Lydon [1990]). Los cuerpos se encuentran alojados en dos niveles estratigráficos diferentes, evidenciados por las características de las rocas encajonantes y las relaciones estructurales entre ellas. La asignación en general presenta un potencial geológico minero importante debido a la existencia de yacimientos cercanos similares y a las guías mineralógicas presentes en el área, pero este potencial puede verse disminuido por la complejidad estructural de la zona.

I.- GENERALIDADES

I.1 OBJETIVO.

El propósito del presente trabajo es aportar datos y criterios para la exploración del depósito mineral de tipo vulcanosedimentario localizado dentro de la asignación Campo Seco (A favor del C.R.M.) ubicada en el municipio de Apaxtla de Castrejón, estado de Guerrero.

Se pretende lograr este objetivo mediante:

- a).- La descripción de una columna litoestratigráfica local ya que existe a nivel regional un fuerte debate respecto a la estratigrafía (Campa, 1978, 1980; De Cserna, 1978). También se pretende la definición del patrón de alteraciones presente en la zona por medio de estudios petrográficos.
- b).- La discusión acerca de la génesis del depósito mineral, proponiendo un modelo de mineralización apoyado en estudios minerográficos.
- c).- El análisis de la geología estructural en el área de estudio a través del procesamiento de los datos obtenidos en el campo con ayuda de la red estereográfica.

I.2 METODO DE TRABAJO.

El trabajo efectuado en el proyecto minero Campo Seco consistió en las siguientes actividades:

- i).- Recopilación bibliográfica y cartográfica referente a la geología y minerología de los yacimientos vulcanosedimentarios, poniendo énfasis especial en los ejemplos mexicanos.
- ii).- Fotogeología del terreno a escala 1 : 20 000.
- iii).- Levantamiento geológico a semidetalle a lo largo de las principales barrancas con brújula y cinta, cubriendo las 500 hectáreas que comprenden la asignación.
- iv).- Muestreo sistemático de las distintas rocas presentes en el área de trabajo, así como de los cuerpos minerales aflorantes (cuerpo Tehuchuetla y cuerpo Campo Seco).
- v).- Estudio de los núcleos de roca extraídos durante la perforación realizada en las cercanías de los dos cuerpos minerales presentes en el lugar.
- vi).- Estudio petrográfico de 120 láminas delgadas representativas de la litología local a partir de las muestras colectadas, así como de los núcleos de perforación.
- vii).- Procesamiento y análisis de los datos estructurales.
- viii).- Estudio minerográfico de 20 superficies pulidas correspondientes a los afloramientos de sulfuros masivos presentes en el área.
- ix).- Análisis químico de las muestras de los cuerpos aflorantes de sulfuros masivos, así como de las rocas que pudieron estar relacionadas con la génesis de los mismos.
- x).- Definición de la columna litoestratigráfica local.
- xi).- Interpretación del comportamiento de los cuerpos minerales y el potencial económico de los mismos.

xi).- Elaboración de las cartus litológica, estructural y de muestreo a escala 1 : 5 000.

xiii).- Elaboración del presente trabajo.

Algunos de los puntos arriba señalados se explican detalladamente dentro de los apartados correspondientes.

Como apoyo para cumplir con los objetivos planteados se hizo uso del siguiente material bibliográfico:

- Billings M.P.; 1954: Structural geology. 2a. edición, Prentice-Hall, E.U.A, 514 p.
- Chapin Charles E., Elston Wolfgang E.; 1979: Ash-flow tuffs. U.S.G.S., E.U.A., Special paper 180.
- Derrau M.; 1981: Geomorfología. Ed. Ariel, España, 442 p.
- Dewey J.F.; 1976: Tectónica de placas. Ed. Blume, España.
- Edwards R., Atkinson K.; 1986: Ore deposits geology. Chapman and Hall, Inglaterra, 466 p.
- González-Salazar O.M.; 1990: Importancia de la Petrogénesis de Minerales de las facies metamórficas. Notas del curso impartido en el IMP, inédito.
- INEGI: Carta Tetela del Rfo E14-C16 (Topográfica) Esc. 1:50 000.
- INEGI: Carta Tlaxcopec E14-C17 (Topográfica) Esc. 1:50 000. Instituto de Geología, UNAM; 1983: Carta geológica de México, Hoja Iguala 14Q-h (10), Serie 1:100 000.
- Instituto de Geología, UNAM; 1982/1983: Carta geológica de México, Hoja Tejupilco 14Q-g(9) con resumen de la geología de la Hoja Tejupilco, estados de Guerrero, México y Morelos, Serie 1:100 000, texto de De Cserna Z., 46 p.
- Kerr, P.F.; 1959: Optical Mineralogy. 3a. edición, McGraw-Hill, E.U.A., 442 p.
- Lugo-Hubp J.I.; 1986: Las estructuras mayores del relieve terrestre. UNAM, México, 133 p.
- Lugo-Hubp J.I.; 1988: La superficie de la Tierra (Un vistazo a un mundo cambiante). (Col. La Ciencia desde México, No. 54), Ed. FCE/SEP/CONACYT, México, 129 p.
- Ragan D.M.; 1968: Structural Geology, an introduction to Geometrical Techniques. John Wiley and Sons, E.U.A., 166 p.
- Rose A.W., Hawkes H.E., Webb J.S.; 1979: Geochemistry in Mineral Exploration. 2a. edición, Academic Press.
- Ross C.S., Smith R.L.; 1961: Ash-flow tuff: their origin, geologic relations and identification. U.S.G.S., Washington, Special paper, pp. 366.
- The Society of Mining Geologist of Japan; 1974: Geology of Kuroko deposits. Mining Geology Special Issue, VI.

- Winkler H.G.F.; 1976: Petrogénesis de rocas metamórficas. Ed. Blume, España, 346 p.
- Wolf K.H.; 1976: Handbook of stratabound and stratiform ore deposits. Vol. I y VI, Ed. Elsevier, Holanda.

1.3 TRABAJOS PREVIOS.

Dentro de la zona de estudio no existen escritos publicados que den cuenta de la geología local. Sin embargo, los trabajos regionales de Campa (1978, 1980) y de De Cserna (1978), entre otros, han establecido las bases para el estudio de la evolución geológica de la región conocida como Tierra Caliente.

Existen otros estudios importantes a nivel regional llevados a cabo por diversos investigadores, algunos son citados en la bibliografía.

Asimismo, se conocen estudios de yacimientos relativamente cercanos al sitio de trabajo, tales como los de Garafa-Fons, Novelo y Pérez (1981) sobre el yacimiento de Rey de la Plata y el de Lorinczi y Miranda (1978) referente al yacimiento de Campo Morado.

Específicamente en la asignación minera Campo Seco, el Consejo de Recursos Minerales (C.R.M.) ha llevado a cabo trabajos geológicos, los cuales permanecen inéditos. Este organismo mediante un convenio con la Facultad de Ingeniería de la UNAM apoyó la realización de un estudio geológico por parte de un grupo de alumnos de la materia de Geología de Campo Avanzada en el módulo de minería (1991).

1.4 RESEÑA HISTORICA.

A principios de este milenio, esta región estuvo habitada por chontales, coixas y nahuas, los cuales fueron sometidos por los mexicas, en la época del Rey Izcoatl IV. En plena conquista española, los aborígenes de Apaxtla fueron evangelizados por los frailes agustinos.

En 1850, Apaxtla formó parte del distrito de Aldama, y en 1913, se erigió como cabecera municipal provisional cuando Don Jesús Salgado, general zapatista, lo escogió como centro de operaciones militares. En mayo de 1924, se consolidó como municipio verdadero y provisional.

No se conocen antecedentes históricos sobre la actividad minera llevada a cabo durante la época prehispánica y colonial, en los alrededores de Apaxtla, siendo hasta el presente siglo cuando se comenzaron a realizar los primeros trabajos formales. Un ejemplo de ello, es que en el Rey de la Plata, los trabajos se iniciaron en 1925, interrumpiéndose en diversas épocas, hasta llegar a nuestros días, en que la Compañía Antares S.A. está tratando de desarrollar este yacimiento.

Respecto al área de estudio, existen pequeñas obras mineras de las cuales no se tiene ningún informe sobre su desarrollo, siendo el C.R.M. el que comenzó a explorar los depósitos vulcanosedimentarios presentes en la localidad Campo Seco, dando como resultado el descubrimiento de dos cuerpos minerales de sulfuros masivos (cuerpo Tehuehuela y cuerpo Campo Seco), los cuales dieron la pauta para continuar la prospección, con vista hacia su aprovechamiento económico.

1.5 LOCALIZACION Y VIAS DE COMUNICACION.

La asignación Campo Seco se localiza en la porción NW del estado de Guerrero, dentro del municipio de Apaxtla de Castrejón¹ cercana a la localidad de San Marcos, una de las 24 que conforman a este municipio.

La zona de estudio comprende 500 hectáreas limitadas por los paralelos 17° 59' 50" y 18° 00' 50" latitud norte y los meridianos 100° 01' 59" y 100° 03' 07" longitud oeste (Figura 1).

En las cartas editadas por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) el área de interés se localiza en las hojas E14-A86 y E14-C16 a escala 1:50 000; E14-11 a escala 1:250 000 y a escala 1:1 000 000 se encuentra disponible la Hoja México.

El acceso por tierra a la asignación Campo Seco se realiza por el camino pavimentado Teloloapan-Apaxtla-El Caracol [poblado cercano a la presa hidroeléctrica Ing. Carlos Ulloa (El Caracol) de la CFE], el cual termina en el poblado de San Marcos, distante 2 km, en línea recta del afloramiento del cuerpo Tehuehuatla, al cual se llega a pie o en bestia. Existe un camino de terracería desarrollado por el C.R.M. que comunica al poblado de San Marcos con el cuerpo Tehuehuatla.

En cuanto a la infraestructura de comunicaciones con que cuenta el lugar, se tiene que Apaxtla se comunica con Teloloapan por la carretera federal No. 140, la cual se enlaza con la carretera federal No. 51 que une las poblaciones de Iguala y Cd. Altamirano, que a su vez se conecta con la autopista México-Acapulco.

El transporte en la región está constituido por autobuses de pasajeros, taxis y colectivos; estos últimos dan servicio hasta el poblado de San Marcos.

1.6 ASPECTO SOCIAL.

La población total del municipio de Apaxtla en 1987 fue de 15 477 habitantes, presentando de 1980 a 1987 una tasa de crecimiento de 5.9%, teniendo actualmente una densidad de población de 18 hab./km².

En cuanto a infraestructura, Apaxtla cuenta con todos los servicios tales como drenaje, luz y agua. Además cuenta con servicios de salud proporcionados por la SSA, el IMSS y el ISSSTE.

Por otra parte, la población cuenta con escuelas de enseñanza preescolar, básica, media y media superior. Asimismo, cuenta con los servicios de teléfono, telégrafo, oficina de correos y banco. Predomina en la población el uso del idioma español en un 98%, así como las actividades comerciales y agropecuarias.

Sin embargo, San Marcos, poblado más próximo al lugar de estudio, presenta un alto nivel de marginación² con una población subalimentada y analfabeta, que no dispone de los servicios elementales, dedicándose principalmente a labores agropecuarias. Los servicios de salud en este caso, se concentran en el poblado de El Caracol, donde existen unidades del IMSS, ISSSTE y SSA.

No se encuentra en la región ninguna planta de beneficio de Au, Ag, Pb, Zn.

1 Apaxtla = cita, libro, General Adolfo Castrejón, destacado revolucionario y gobernador del estado de Guerrero del 2 de abril de 1929 al 23 de marzo de 1933.

2 Geografía de la marginación, Siglo XXI editores, Serie Necesidades Esenciales de México, 1989.

1.7 CLIMA.

A la asignación Campo Seco, por la distribución geográfica de climas de acuerdo con la clasificación de Köppen, le corresponde un clima BSw, es decir, un clima seco estepario con temporada lluviosa en verano y principalmente en otoño, presentando una oscilación térmica anual corta. Este tipo de clima predomina en la denominada Depresión del Balsas.

A nivel municipal, la región posee una temperatura promedio de 26° C y una mínima de 22° C, principalmente en el mes de diciembre, siendo los meses de abril y mayo los que muestran las mayores temperaturas. La región presenta una precipitación pluvial media anual de 1 000 mm.

1.8 VEGETACION Y FAUNA.

Según Rzedowsky (1978), la localidad se encuentra dentro de un reino Neotropical, en una región Caribeña y en la provincia denominada Depresión del Balsas, la cual presenta un número importante de especies aborígenes. La asignación Campo Seco está enclavada en un bosque tropical caducifolio, siendo este tipo de vegetación el más extendido en la Depresión del Balsas. La especie preponderante es la del género *Bursera*, seguida de elementos comunes con la región Xerofítica Mexicana, como son *Castela*, *Cercedium*, *Fouquieria*, *Gouania*. En el área son llamativos los bosques abiertos dominados por *Pseudomolgium perniciosum*, árbol de aspecto similar a *Bursera*, muy temido por sus propiedades alergénicas.

Respecto a la fauna, habitan en el sitio de trabajo, los siguientes animales salvajes: venado, conejo, tigrillo, gato montés, tejón, iguana, camalcón, coralillo, cincuate, serpiente de cascabel, ratones y otros roedores, diversos insectos, arácnidos y gran variedad de aves como, zopilote, cuervo, gavilán y loros.

1.9 FISIOGRAFIA.

La asignación Campo Seco se encuentra en el borde NE de la llamada Depresión del Balsas. Ordoñez (1936) y Alvarez (1961) consideran a ésta como una provincia fisiográfica. Otros autores, como Raisz (1959) la han incluido como parte integrante de la Sierra Madre del Sur, formando una subprovincia denominada Cuenca del Río Balsas-Mexcala. Por su parte el Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI, 1989) la clasifica dentro de la subprovincia de Sierras y Valles Guerrerenses (Figura 2). Lugo-Hubp (1990), nombrándola Depresión del Balsas, la describe como una provincia basándose en su relieve y dimensiones.

La Depresión del Balsas tiene una orientación dominante de occidente a oriente, con alturas mínimas de 400 msnm, delimitada al sur por las laderas de la Sierra Madre del Sur y al norte, por la Faja Volcánica Transmexicana.

1.9.1 GEOMORFOLOGIA.

La superficie que comprende a la asignación minera es una sierra alta compleja (Figura 3). Localmente, el escenario está formado por laderas escarpadas y tendidas, o bien, por valles profundos, esculpidos en rocas metamórficas e ígneas. La altitud máxima dentro de las 500 hectáreas es de 1 100 msnm y la mínima de 460 msnm. En la región se puede apreciar que la erosión predomina sobre los procesos tectónicos, lo que se manifiesta en formas fluviales denudatorias destructivas, es decir, en laderas de valles y barrancas.

Existen, muy pocos estudios sobre la Depresión del Balsas, por lo que no se abandona la idea de que se trate de una fosa tectónica que se desarrolla en asociación con el bloque de la Sierra Madre del Sur, en proceso de levantamiento, contigua a la Trincheras Mesoamericana originando una zona de extraordinaria actividad sísmica.



**FIG. 2.- REPRESENTACION DE LAS PROVINCIAS FISIOGRAFICAS DE MEXICO DE ACUERDO
AL SISTEMA FISIOGRAFICO DEL I.N.E.G.I. - S.P.P.
(ORTEGA Y FIEDAD, TESIS PROFESIONAL, FAC. DE ING., UNAM, 1963).**

1.9.2 HIDROGRAFIA.

La asignación Campo Seco se encuentra dentro del sistema hidrológico del río Balsas-Mexcala, el principal del estado de Guerrero y uno de los más importantes de la República Mexicana, estando la presa hidroeléctrica El Caracol próxima al área de trabajo.

Localmente, el tipo de red fluvial es dendrítico o arborescente. Según la clasificación de R. Hurton, modificada por A. Strahler (Lugo Hubp, 1988), las corrientes dentro de la asignación son de primero y segundo orden.

Toda la red de drenaje superficial está constituida por pequeños arroyos que únicamente llevan agua en períodos de lluvia, éstos desembocan directamente al río Balsas-Mexcala.

II.- MARCO GEOLOGICO REGIONAL

La asignación Campo Seco, Guerrero, se encuentra en el límite NE de la región denominada Tierra Caliente.

La región de Tierra Caliente ha sido objeto de varios estudios tanto estratigráficos como geológico-mineros. Debido a la complejidad estructural, la diversidad de facies litológicas expuestas y a la falta de edades absolutas para las rocas magmáticas de la región, las interpretaciones paleogeográficas que de ella se han hecho son en ocasiones contradictorias. Entre los primeros trabajos destacan los de Fries et al. (1957), De Cserna (1955, 1974, 1978, 1982), Pantoja Alor (1959), Campa et al. (1974, 1977), Campa (1978), Campa y Ramírez (1979), que presentan estudios estratigráficos y de geología regional de la región comprendida entre Huétamo, Michoacán y Taxco, Guerrero.

Campa et al. (1980, 1981) introdujeron el concepto de conjuntos estratotectónicos para explicar la evolución tectónica del sur de nuestro país. Según este enfoque, la localidad de estudio forma parte del Terreno Guerrero (Campa y Coney, 1983).

II.1 MARCO TECTONICO.

Para la región de Tierra Caliente, Mauvois (1977) propone la existencia de una megaestructura visible a lo largo de 80 km de norte a sur que denota la existencia de un cabalgamiento miocénico (?) en la Depresión de Tzizio-Huétamo, en el estado de Michoacán. Este cabalgamiento sería el responsable de la presencia de ventanas tectónicas, en las cuales las calizas del Cretácico Inferior (Formación Morelos) cubren a los lechos rojos terciarios.

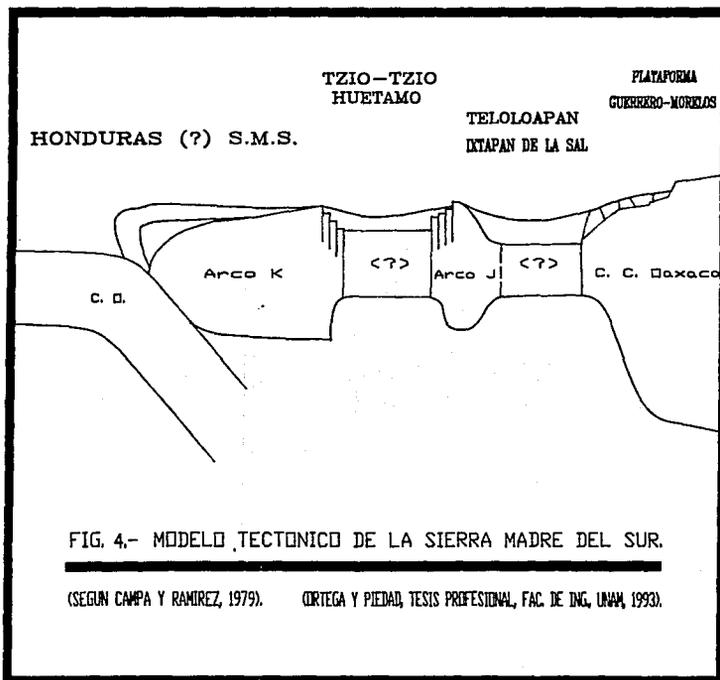
Por otra parte, Campa (1978) distingue cuatro dominios paleogeográficos-tectónicos que confluyen en la región de Tierra Caliente, estos son:

- Un dominio interno representado por un arco insular andesítico y un mar marginal desarrollados durante el Jurásico Superior- Cretácico Inferior.
- Un dominio externo representado por una plataforma carbonatada desarrollada durante el Cretácico Inferior.
- Un dominio externo representado por el relleno de flysch dentro de la plataforma en el Cretácico Superior.
- Un dominio del Cenozoico representado por el vulcanismo básico a intermedio de la Faja Volcánica Transmexicana.

Ortega Gutiérrez (1981) denomina como Complejo Tierra Caliente a la secuencia mesozoica parcialmente metamorfoseada (facies de esquistos verdes) que aflora en los estados de México, Michoacán y Guerrero. Para este complejo, en el modelo tectónico propuesto por Campa y Ramírez (1979) se considera que una gran parte de las secuencias vulcanosedimentarias del Mesozoico de la Sierra Madre del Sur son el resultado de la actividad magmática de un límite de placas activo durante el Cretácico Temprano. Además, estos autores, proponen que el sector Teloloapan-Arcelia forma parte de un arco volcánico insular-mar marginal desarrollado desde el Jurásico Superior al Cretácico Inferior (Figura 4).

Es así que a partir del Jurásico Superior y principalmente en el Cretácico Inferior se definen en la porción centro-meridional de México dos dominios principales (Morán Zenteno, 1986), a saber:

- En el poniente, representado por las secuencias vulcanosedimentarias del occidente de México que se relacionan con el arco volcánico.
- En el oriente, representado por las secuencias marinas depositadas en un sistema de cuencas y plataformas.



Al primer dominio, que es de interés para el presente trabajo, pertenecen las secuencias reconocidas en Nayarit, Colima, Zihuatanejo, Huétamo e Ixtapan de la Sal-Teloloapan (Campa et al., 1981). Este dominio no parece haber evolucionado sobre corteza continental más antigua, ya que existe en general, una ausencia de afloramientos que pudieran representar el basamento (Monod y Fouré, 1991). Las rocas más antiguas reportadas, corresponden a los esquistos, rocas metavolcánicas y filitas de la zona de Artcaga, Mich. con dataciones del Paleozoico Superior (Májica, 1980)³ y microfauna del Tríasico (Campa et al, op. cit.). Vidal Serratos (1991) reporta a una secuencia de filitas y pizarras negras de probable edad Aptiano-Albiano como la más antigua en la región de Acaluiztla, Guerrero.

Para este dominio occidental de arco, se propone como modelo la acreción por obducción de arcos desarrollados en el Pacífico y desplazados hasta su colisión con la corteza continental mexicana (Urrutia, 1981; Coney, 1983). Datos paleomagnéticos de la secuencia vulcanosedimentaria de Ixtapan-Teloloapan (Urrutia y Valencio, 1986)⁴ junto con los estudios geoquímicos de Talavera (1990)⁵ y Ortiz Hernández et al. (1992) apoyan esta hipótesis.

Ortiz Hernández y Lapierre (1991) a través de análisis geoquímicos señalan una evolución magmática continua del arco magmático de una serie toleítica a una serie calcoalcalina, dando por resultado que las secuencias vulcanosedimentarias de Palmar Chico-Arcelia y Teloloapan representen remanentes de estratovolcanes submarinos emergentes. Además, estos autores, muestran que el arco toleítico-calcoalcalino de Palmar Chico-Arcelia representa la corteza de un arco insular formado en un contexto intraoceánico, mientras que el arco de Teloloapan de carácter calcoalcalino (Talavera et al., 1990)⁶ y poco toleítico (Ruiz et al., 1991) sugiere un contexto de formación nerítico.

Para el caso de Huétamo cuyas secuencias no presentan metamorfismo se sugiere una zona transicional entre océano y continente.

II.2 ESTRATIGRAFIA.

Para el establecimiento de la estratigrafía regional existe una gran limitante: los estudios acerca de la geología de esta porción del estado de Guerrero son escasos y están pobremente documentados. Lo anterior se debe a la complejidad geológica, producto de una tectónica intensa que se ha manifestado en la región (Tardy et al., 1991). Las columnas litoestratigráficas que se han establecido fueron construidas a través de secciones representativas a lo largo de los principales afloramientos encontrados en la región de Tierra Caliente (Figura 5).

Mediante los trabajos de Campa et al. (1978), Vidal (1991), Ortega (1981), Morán Zenteno (1984), entre otros, se ha establecido la siguiente secuencia estratigráfica para el Complejo de Tierra Caliente:

A).- *Premesozoico (¿Tríasico-Jurásico Medio?)*.

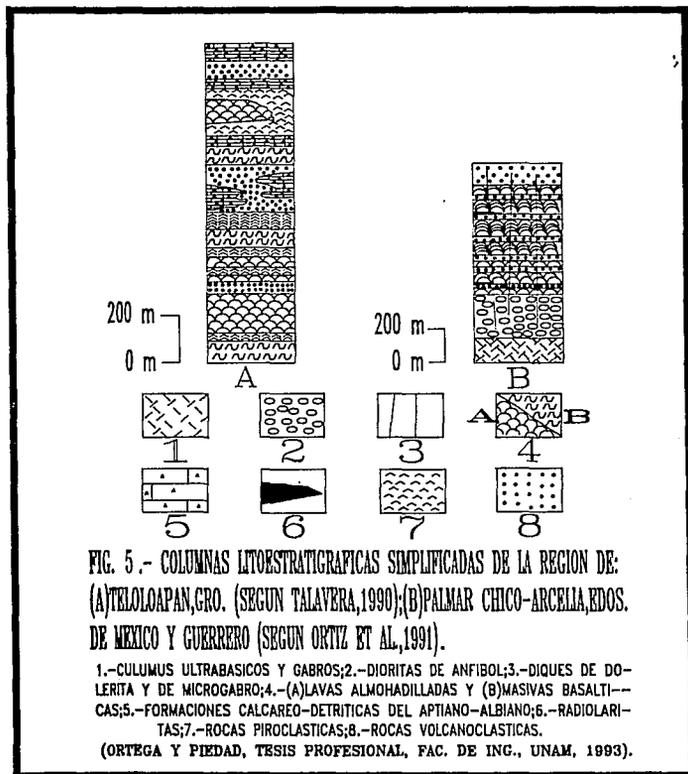
Representado en el poblado de Taxco, Gro. por la secuencia vulcanosedimentaria de las rocas del Esquísto Taxco y la Rocaverde Taxco Viejo, que se encuentran interestratificadas. Por sus características, esta secuencia podría correlacionarse, (Campa y Ramírez, 1978), con la secuencia Arcelia-Teloloapan-Ixtapan de la Sal de edad Titoniana-Albiana, con la secuencia triásica del arroyo de la Pimienta en Zacatecas, así como con la secuencia del Grupo Acaulán (Paleozoica) en Puebla y Oaxaca.

3 Cit. por Morán Zenteno, 1984, p. 26

4 Idem.

5 Cit. por Ortiz Hernández et al, 1991, p. 276.

6 Cit. por Ortiz Hernández y Lapierre, 1991, p. 279.



Si esta secuencia es mesozoica, forma parte del arco insular peripacífico de tipo cordillerano, o bien, si es paleozoica, forma parte del basamento premesozoico tipo apalachiano (Campa et al., op. cit.).

En la región de Tizapa, México, aflora un augengneiss granítico milonitizado de edad Pérmico Tardío-Tríasico Temprano (Elías Herrera y Sánchez Zavala, 1992), sobreyacido en contacto gradual por esquistos cuarzo-feldespáticos del Jurásico Inferior-Jurásico Medio(?) y a la vez sobreyacido en posición aléctona por una secuencia vulcanosedimentaria metamorizada, lo cual daría evidencia de un décollement afectando los niveles inferiores del Complejo Tierra Caliente (Elías Herrera y Lozano Santa Cruz, 1990). El metamorfismo que afecta a las rocas basales es atribuible a las facies de anfibolita, mientras que las rocas de la secuencia vulcanosedimentaria son afectadas por un metamorfismo de facies de esquistos verdes (Elías Herrera y Sánchez Zavala, 1992).

En la localidad de San Lucas del Maíz, estado de México, Elías Herrera (1989) señala la presencia de cuñas tectónicas de granitoides sin colisión.

En la región de Ixtapan de la Sal y Teloloapan, aflora la llamada secuencia Teloloapan-Ixtapan, consistente en filitas con intercalaciones de esquistos verdes, esquistos de muscovita y metabasitas actinolíticas así como cuerpos lenticulares de metariolita. Esta secuencia descansa sobre un sustrato continental prejurásico. Valores negativos de $\delta^{18}O$ obtenidos en un lente de metariolita de esta secuencia (Ruiz et al., 1991) son congruentes con esta edad. Esta secuencia se considera como un arco de islas desarrollado durante el Jurásico Temprano y cerca de un borde continental prejurásico (¿Permotriásico?) que probablemente sirvió de basamento. Posteriormente el arco fue acrecionado al borde continental y metamorfoseado durante el Jurásico Medio-Jurásico Tardío (Orogenia Nevadiana) (Elías Herrera y Sánchez Zavala, 1992).

En el área de Arteaga, Michoacán, se han reportado esquistos, rocas metavolcánicas y filitas con dataciones del Paleozoico Superior y microfauuna del Tríasico (Campa et al., 1982). Estas rocas están intensamente deformadas y en parte metamorfoseadas a facies de esquistos verdes (Centeno García et al., 1992).

De lo anterior, se puede concluir que las rocas del Esquisto Taxco y de la Rocaverde Taxco Viejo, tienen mayores similitudes con las rocas del arco peripacífico de tipo cordillerano.

B).- Jurásico Superior-Cenomaniano.

La secuencia vulcanosedimentaria que se extiende desde Ixtapan de la Sal, México hasta Arcelia, Guerrero, está formada por una alternancia de lavas andesítico-dacíticas, tobas y aglomerados, interestratificados con filitas, areniscas, cuarcitas y calizas foliadas, la cual ha sido afectada por un metamorfismo regional de facies de esquistos verdes. Los fósiles encontrados en dicha secuencia permiten asignarle una edad Titiánico-Albiano (Campa et al., 1974).

En la región de Luvianos-Ixtapan del Oro, México, la secuencia vulcanosedimentaria, correlacionable con las Formaciones Xochipala (Cenomaniano-Turoniano) y Arcelia (Coniaciano) (De Cserna, 1982, 1983), consiste de lavas almohadilladas y masivas basáltico-andesíticas, intercaladas con calizas arcillosas, sedimentos tobáceos y silíceos, brechas volcánicas y aglomerados (Sánchez Zavala y Elías Herrera, 1991, 1992) afectada por un metamorfismo de facies de prehnita-pumpellita, sobreyaciendo en aparente discordancia a filitas, esquistos verdes, esquistos de sericitita y metariolitas de edad no conocida con una paragénesis de facies de esquistos verdes (Sánchez Zavala y Elías Herrera, op. cit.). El metamorfismo de facies de prehnita-pumpellita puede estar relacionado con la acreción continental de la secuencia de arco de islas ocasionada por la Orogenia Laramide, y probablemente es posterior al metamorfismo regional de facies de esquistos verdes que manifiestan las rocas subyacentes (Elías Herrera y Sánchez Zavala, 1992).

Asimismo, en los alrededores de Arcelia aflora la secuencia Arcelia-Otzolapan que consiste en calizas arcillosas con intercalaciones de lutitas, grauwacas, sedimentos tobáceos, lavas submarinas basálticas y andesíticas con brechas volcánicas así como aglomerados con una edad Cretácica (Albiano-Cenomaniano por el Método $^{40}Ar/^{39}Ar$ y K/Ar). Esta secuencia corresponde a un arco cretácico edificado sobre el arco anterior ya acrecionado,

en parte sobre corteza oceánica, o bien, sobre un sustrato continental relativamente delgado. Durante el Cretácico Tardío-Paleoceno, el arco fue deformado y sobrepuesto al arco precretácico.

Dadas las similitudes litológicas, estilos de deformación y metamorfismo de bajo grado, las secuencias antes descritas pueden ser correlacionadas con la secuencia vulcanosedimentaria metamorfizada del Jurásico Superior-Cretácico Inferior que se extiende desde los poblados de Palmar Chico, Méx. y San Pedro Limón, Méx. hasta Arceña, Guerrero (Ortiz et al., 1991).

La secuencia vulcanosedimentaria no metamorfizada para el Jurásico Superior-Cretácico Inferior de Huéctamo, Michoacán, está representada por lutitas, areniscas y conglomerados interestratificados con lavas y tobas de la Formación Angao (Pantoja Alor, 1959). Un paquete de lavas almohadilladas de esta formación presentan una afinidad magnética de toleitas de arco (Ramírez Espinoza et al., 1991). Asimismo, se ha reportado la presencia de pedernales (Johnson, 1990)⁷ (Figura 6).

La anterior secuencia está sobreyacida concordantemente por una secuencia de lutitas, limolitas, conglomerados, tobas y capas de caliza de la Formación San Lucas de edad Neocomiana (Pantoja Alor, op. cit.) dividida en dos miembros Monte Grande y El Cajón. El último miembro, es recubierto concordantemente por calizas y dolomías arrecifales de la Formación Morelos, considerada por Fries (1960) en los estados de Morelos, Guerrero y México como del Albiano-Cenomaniano; en la región de Huéctamo, la base de esta formación se considera del Albiano Inferior (Pantoja Alor, 1959; Campa y Ramírez, 1979; Johnson, 1990⁸).

En el sinclinal de Mal Paso, las calizas de esta formación se interestratifican con terrígenos del Neocomiano en su base y con capas rojas en su cima (Campa y Ramírez, op. cit.). Estas capas rojas afloran extensamente en el valle del río Cutzamala y el río Balsas, entre Santo Tomás y Huéctamo, donde están interestratificadas con conglomerados calcáreos, rocas volcánicas y capas de caliza; éstas considerándose del Albiano (Campa y Ramírez, op. cit.), no obstante, existe la posibilidad de que se extiendan hasta el Cenomaniano (Ortiz Hernández y Lapierre, 1991).

Johnson (1990)⁹ menciona que en el área de San Lucas, a la Formación Morelos le sobreyacen concordantemente brechas intraformacionales y calizas fosilíferas, las que se interestratifican con lutitas, lutitas calcáreas, areniscas, calizas arrecifales, areniscas rojas asociadas con conglomerados calcáreos y estratos de yeso de la Formación Mal Paso (Pantoja Alor, op. cit.) de ambiente litoral, lagunaro o de marea con una edad del Cretácico Superior, aunque existen ostrácodos en las lutitas que proporcionan una edad tentativa del Aptiano Tardío-Cenomaniano Temprano.

Al oriente de Arceña, Dávila Alcocer y Guerrero Suástegui (1990) asignan a la Formación Mal Paso una edad Albiano-Cenomaniano, la que consiste de lavas basálticas almohadilladas, lutitas oscuras, radiolaritas y tobas, que están en contacto por falla inversa con una secuencia de turbiditas.

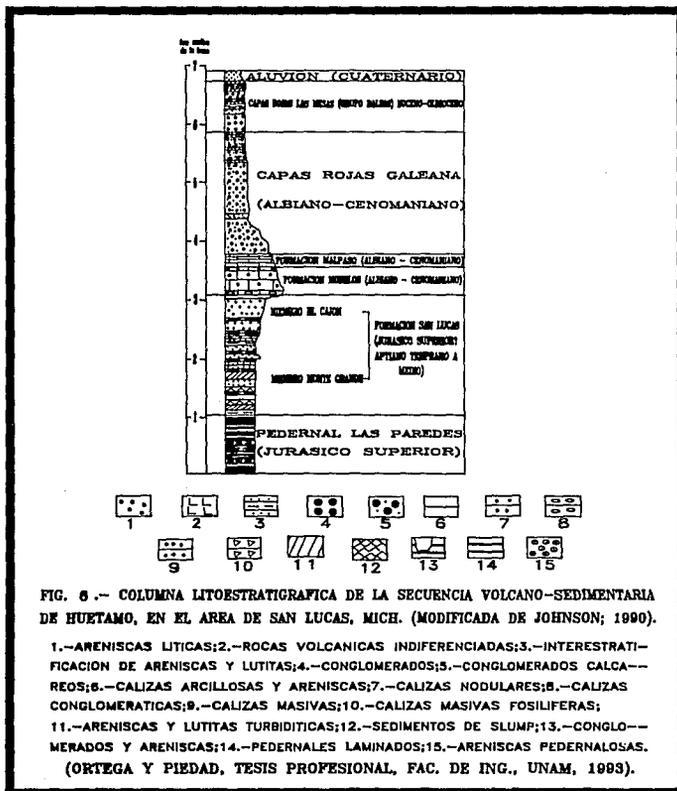
En la sierra de Taxco-Iguala, aflora una secuencia de bancos y capas de calizas con parches de biostromas, cuyos fósiles han servido para asignarle una edad del Albiano-Cenomaniano correspondiente a la Formación Morelos en esta área (Fries, 1960; Tarango, 1973¹⁰).

7 Cit. por Ortiz Hernández y Lapierre, 1991, p. 274.

8 Ídem.

9 Ídem.

10 Cit. por Campa y Ramírez, 1979, p.25.



Sobre esta secuencia, descansa una serie de calizas delgadas de la Formación Cuautla de edad Albiano-Turoniano con abundante fauna. Esta franja subyace concordantemente a una secuencia rítmica de lutita-arenisca de la Formación Mexcala de edad Senoniano (Fries, 1960; Guerrero et al., 1990, 1991).

C).- Cenomaniano-Oligoceno.

El paso del Mesozoico al Terciario marca el fin de la sedimentación marina y el comienzo de la historia continental. Dicha secuencia está constituida por capas rojas y molasas continentales, que sobreyacen discordantemente a los depósitos de arco insular-mar marginal. Estos depósitos continentales abarcan las Formaciones Tetelcingo y Balsas de edades Cenomaniano-Maestrichtiano, Paleoceno y Cretácico Superior-Eoceno, respectivamente (Campa y Ramírez, op. cit.).

D).- Oligoceno Superior-Mioceno.

Las rocas de esta edad fueron originadas por un fenómeno volcánico regional, están constituidas por lavas andesíticas-dacíticas, tobas, lahares e ignimbritas, e incluyen las Formaciones Chacharanda, Tizapota, Chalma, Buenavista y Tepoztlán (De Cserna, op. cit.).

E).- Plioceno.

Restringida a las mesas casi horizontales que rellenan los valles-fosas intracratónicas de antearco de Ixtapan de la Sal y Cuernavaca, se encuentra una secuencia de depósitos epiclásticos compuestos por arcillitas y conglomerados con fragmentos esencialmente volcánicos, así como de tobas interstratificadas, que conforman a las Formaciones Zempoala, Zinacantepec, Cuernavaca y Chontalcoatlán (Campa y Ramírez, op. cit.).

F).- Cuaternario.

Se encuentra representado por los depósitos volcánicos que dieron origen a la Faja Volcánica Transmexicana (Formación Chichinautzin), así como por los depósitos aluviales (De Cserna, op. cit.).

II.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

Según los trabajos de Campa (1977, 1978), la región de Tierra Caliente ha sufrido cuatro fases de deformación, a saber:

- 1).- *Fase compresiva del Cenomaniano:* Evidenciada por el plegamiento y foliación de la secuencia vulcanosedimentaria depositada en el Albiano. La foliación afecta todos los rasgos relictos de la estructura original y recristaliza minerales nuevos como la clorita, mica blanca, epidota y granate. Esta fase es la responsable de los pliegues en "kink" o de rodilla.
- 2).- *Fase compresiva del Paleoceno:* Superpuesta a la anterior, originó a los grandes pliegues anticlinales y sinclinales de la región de Huétamo, así como el emplazamiento anormal del cuerpo metamórfico en la zona de Amatepec-Teloloapan; también produjo los anticlinorios y sinclinorios de la zona de Taxco-Iguala. Otra característica de esta fase de deformación es el desarrollo de un clivaje paralelo al plano axial muy abundante al occidente y nulo al oriente.
- 3).- *Fase compresiva del Mioceno:* Corresponde al fin del Mioceno. Esta se caracteriza por presentar bloques añallados en capas de conglomerados y limolitas, rasgo que como se ha demostrado es de tipo regional y además conforma un gran levantamiento con una gran curvatura con orientación NW-SE que se extiende hasta los depósitos volcánicos del Oligoceno-Mioceno.
- 4).- *Fase distensiva neotectónica:* Su manifestación son las fallas y diaclasas de acuerdo a un patrón de esfuerzos NW-SE, N-S y E-W, así como fosas, pilares, terrazas de erosión y valles relictos.

Los trabajos efectuados recientemente a partir de imágenes de satélite Landsat con verificación de campo en la región de Taxco, Guerrero (Barrio et al., 1989)¹¹ y San Lucas, Michoacán (Johnson, 1990)¹², permiten reconocer pliegues amplios y cabalgaduras laramídas orientados al NE, que ponen en contacto a la secuencia vulcanosedimentaria metamorfizada del Jurásico Superior-Cretácico Inferior con las series carbonatadas de la Plataforma Morelos-Guerrero (Figura 7). Este tipo de deformación cordillerana en "cuñas tectónicas", sería responsable de duplicar la distribución de las formaciones mesozoicas y de la exposición de rocas del "basamento" (Ortiz Hernández y Lapierre, 1991).

En el área de Zacazonapan, estado de México, la secuencia superior cretácica sobreyace a las rocas metamórficas precretácicas por medio de una cabalgadura, aunque es probable que una discordancia angular preexistente haya actuado como una superficie de deslizamiento durante la deformación de la cubierta cretácica (Orogenia Laramida) (Eliás Herrera y Sánchez Zavala, 1992).

La presencia del granito milonitizado, expuesto en la parte inferior de la secuencia metamórfica precretácica, sugiere la aloctonía de las rocas metamórficas precretácicas sobreyacentes. Los movimientos de cabalgamiento de las rocas metamórficas precretácicas sobre el granito basal pueden estar relacionados con un décollement en niveles corticales medios con involucramiento del basamento (Eliás Herrera y Sánchez Zavala, 1992).

II.4 EVOLUCION TECTONICA.

Campa (1978) en su modelo de evolución tectónica del Complejo Tierra Caliente compara columnas estratigráficas de las regiones de Ixtapan de la Sal-Teloloapan-Arcelia, Huétamo-Coyuca y de la Plataforma Guerrero-Morelos, encontrando que el área de Huétamo-Coyuca es una zona de transición entre las condiciones de arco insular-mar marginal del Jurásico Superior-Cretácico Inferior y la sedimentación marina desarrollada en la zona de la Plataforma Morelos-Guerrero.

Para la zona de Huétamo-Coyuca y Teloloapan-Arcelia se observa que los depósitos volcánicos y vulcanosedimentarios son similares en ambas localidades durante el Jurásico Superior, desarrollándose en la región de Huétamo-Coyuca, al término del Cretácico Inferior una incipiente plataforma calcárea, mientras que continúan los depósitos de tipo volcánico en la región de Amatepec-Palos Altos-Teloloapan (Figura 8).

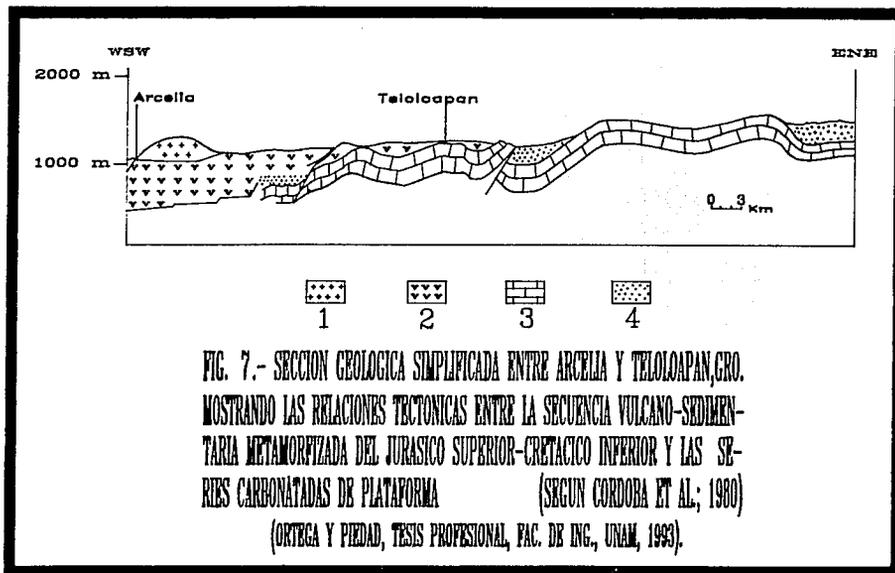
De esta manera se desarrollaron dos dominios paleogeográficos penecontemporáneos:

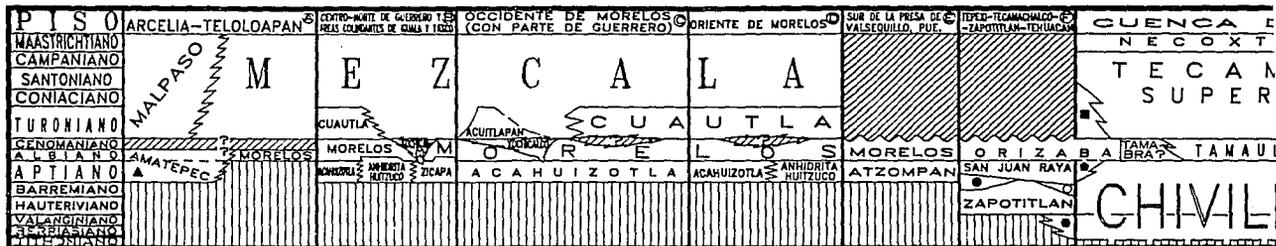
- 1) Un dominio oriental caracterizado por facies de sedimentación calcárea y una total ausencia de metamorfismo regional e intrusiones graníticas.
- 2) Un dominio occidental caracterizado por depósitos volcánicos marinos, esencialmente andesíticos con interdigitaciones de lutitas, grauwacas y calizas que acusan un metamorfismo de bajo grado.

En la región de Palmar Chico-Arcelia se tiene que formando parte de la secuencia vulcanosedimentaria metamorfizada, existe un paquete volcánico compuesto de lavas almohadilladas basálticas, diques doleríticos y microgabros de afinidad magnética toleítica; también existen basaltos de afinidad calcoalcalina y andesitas básicas similares a las andesitas inmaduras formadas en un contexto de arco intraoceánico (Ortiz Hernández y Lapierre, op. cit.). A su vez, este paquete está coronado por dacitas y riolacitas de afinidad magnética calcoalcalina. Los espectros normalizados de tierras raras para estas rocas son similares a aquellos basaltos de dorsal mesoocéánica (MORB)¹³ o al de toleitas relativamente maduras de arco insular (Jakis y Gill, 1970)¹⁴.

11 Cit. por Ortiz Hernández et al., op. cit.

12 Cit. por Ortiz Hernández y Lapierre, op. cit.





ALGUNAS EDADES CONFIABLES CON DATOS ACTUALES

- (A) Hernández y Herrera (1985). Lavemente modificado.
 (B), (C) y (D) Este trabajo, pero sin precisar la cima de la Formación Mezcala.
 (E) y (F) Toriz (1990).
 (G) Alzaga y Santa María (1987). Modificado.
 (H) Este trabajo.

ZAMUDIO Y
GONZALEZ
(1990)

FORMACION MEZCALA - TURONIANO - CONIACIANO TEMPRANO
 FORMACION CUATLA - CENOMANIANO TARDIO - TURONIANO
 FORMACION MORELOS - ALBIANO TEMPRANO - CENOMANIANO MEDIO •
 FORMACION XOCHICALCO - ALBIANO TEMPRANO - CENOMANIANO •
 FORMACION ACAHUIZOTLA - APTIANO TARDIO •

FRIES, 1960;
 BOLNAR, 1963 Y
 DE CERRA et al.,
 1980

ANHIDRITA HUITZUCO - APTIANO TARDIO - ALBIANO TEMPRANO
 FORMACION ZICAPA - APTIANO TARDIO - ALBIANO TEMPRANO

- (1) FORMACION GUZMANTLA (PLA)
 (2) FORMACION GUZMANTLA (TAL)
 (3) FORMACION GUZMANTLA (TAL)
 (4) FORMACION GUZMANTLA (PLA)
 ■ FORMACION TECAMALUCAN II
 ● FORMACION ORIZABA (INCORI)
 ● SEDIMENTOS COSTEROS
 ● MIEMBRO AGUA DEL CORDERO
 ○ MIEMBRO AGUA DEL BURRO
 ▲ MIEMBRO "EL POCHOTE"



PRE-CRETACEO



EROSION

FIG. 8.- TABLA DE CORRELACION



LES CON DATOS ACTUALES

ANO - CONIACIANO TEMPRANO
 NIANO TARDIO - TURCNIANO
 TEMPRANO - CENOMANIANO *
 O TEMPRANO - CENOMANIANO *
 ANO TARDIO *
 O TARDIO - ALBIANO TEMPRANO
 TARDIO - ALBIANO TEMPRANO

- ① FORMACION GUZMANTLA (PLATAFORMA SEMIRRESTRINGIDA CON ESCASOS BANCOS ARRECIFALES, ANALOGA CON LA FORMACION ORIZABA)
- ② FORMACION GUZMANTLA (TALUD DE ESCASA PENDIENTE)
- ③ FORMACION GUZMANTLA (TALUD "TIPO TAMABRA")
- ④ FORMACION GUZMANTLA (PLATAFORMA ABIERTA TIPO RAMPA)
- FORMACION TECAMALUCAN INFERIOR (TALUD)
- FORMACION ORIZABA (INCORRECTAMENTE LLAMADA SAN MARCOS)
- SEDIMENTOS COSTEROS
- MIEMBRO AGUA DEL CORDERO
- MIEMBRO AGUA DEL BURRO
- ▲ MIEMBRO "EL POCHOTE"

 PRE-CRETACICO

 EROSION

* Modificadas por Baseañez y Ruiz, 1991.

(ORTEGA Y PIEDAD, TESIS PROFESIONAL, FAC. DE ING., UNAM, 1993).

C O R R E L A C I O N E S T R A T I G R A F I C A

Por otra parte, los diagramas de multielementos normalizados con respecto a MORB para estas rocas (mayor contenido de LILE¹⁵ que de HFSE¹⁶) muestran un espectro característico de rocas toleíticas de arco (Pearce, 1983)¹⁷, aunque existen rocas que muestran un espectro transicional entre toleitas de arco y basaltos alcalinos, lo cual se puede deber al metamorfismo o a las características propias del magma. Asimismo, los diques microgabroicos toleíticos presentan valores isotópicos $\epsilon Nd = +8.7$ que sugieren un origen oceánico sin contaminación cortical (Ortiz et al., op. cit.).

Para el caso de Teloloapan, se tienen basaltos y andesitas con un contenido mayor de Zr, Y y Nb que el de las rocas de Palmar Chico-Arcelia, y de igual manera se comportan en lo que respecta al contenido de tierras raras (REE)¹⁸ dando por resultado un espectro típico de rocas calcoalcalinas. En cuanto al diagrama de multielementos normalizados, muestran el contenido de LILE mucho mayor que el contenido de HFSE, presentando un espectro de rocas calcoalcalinas de arcos insulares (Pearce, op. cit.).

Ruiz et al. (1991) reportan la presencia de basaltos toleíticos en la región de Teloloapan que presentan una composición intermedia entre basaltos de dorsal mesoocénica (MORB) y de basaltos de isla oceánica (OIB)¹⁹. También estos autores señalan que las lavas de Teloloapan presentan valores isotópicos del ϵNd entre $+3$ a $+6\epsilon$ lo que sugiere que estas rocas tienen un origen oceánico sin contaminación por material continental.

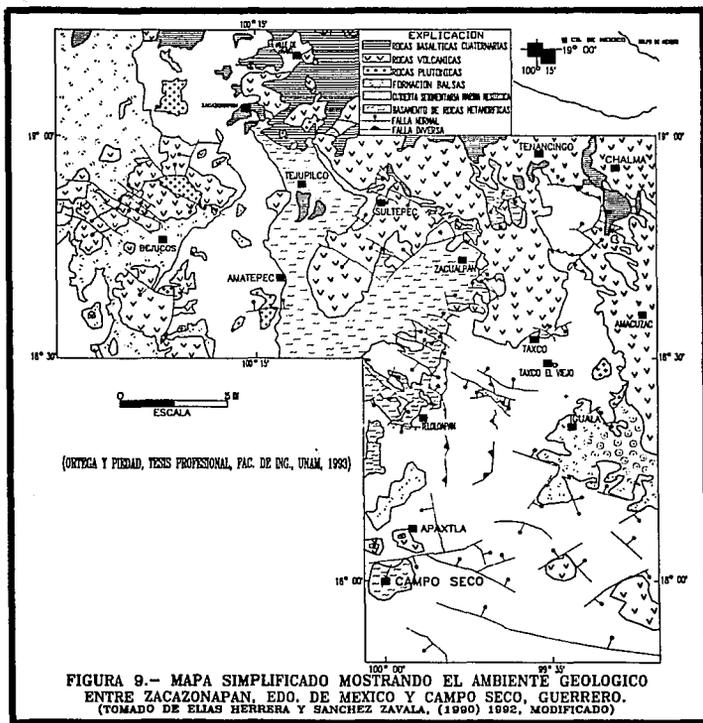
De lo anterior, Ortiz Hernández y Lapierre (op. cit.) concluyen que las secuencias vulcanosedimentarias de Palmar Chico-Arcelia y Teloloapan son los remanentes de estratovolcanes submarinos emergentes desarrollados en un arco magmático oceánico durante el Jurásico Superior-Cretácico Inferior. Esta actividad magmática, posiblemente suministró el material volcánoclastico a la secuencia vulcanosedimentaria contemporánea de Huátamo, el que fue depositado por corrientes de turbidez (Figura 9).

Estas secuencias fueron deformadas durante el Cenomaniano-Turoniano y cabalgadas sobre la Plataforma carbonatada de Morelos-Guerrero durante la Orogenia Laramide.

En contraparte, Elías Herrera y Sánchez Zavala (1992) señalan que la secuencia Arcelia-Otzoalapan sobreyace a la secuencia Teloloapan-Tejupilco por medio de una cabalgadura, aunque es probable que una discordancia preexistente haya actuado como una superficie de deslizamiento durante su deformación. Asimismo, proponen que el Terreno Guerrero, en su borde oriental, está caracterizado por dos arcos de islas acrecionados a un borde continental en tiempos diferentes y bajo condiciones diferentes. La primera acreción (Nevadiana) que involucra un "thick skinned structure" corresponde al verdadero límite acrecional; la segunda (Laramídica) involucra una "thin skinned structure". Es así que, para estos autores, el hasta ahora considerado límite de acreción del terreno con la plataforma carbonatada Morelos-Guerrero puede corresponder a una "thin skinned structure" postacrecional.

Consecuentemente, Centeno García et al. (1992), señalan que en la región de Tumbiscatío-Arteaga en el estado de Michoacán, la secuencia de arco descansa discordantemente sobre rocas metamórficas que probablemente

- 13 MORB= Basaltos de dorsal meso-oceánica (Mid Ocean Ridge Basalts).
- 14 Cit. por Ortiz Hernández et al., op. cit.
- 15 LILE= Elementos litófilos de radio iónico grande (Large Ion Lithophile Elements).
- 16 HFSE= Elementos de fuerza carga iónica (High Field Strength Elements).
- 17 Cit. por Ortiz Hernández et al., op. cit.
- 18 REE= Elementos de tierras raras (Rare Earth Elements).
- 19 OIB= Basaltos de isla oceánica (Ocean Island Basalts).



conforman el basamento de parte del Terreno Guerrero. Este basamento de afinidad oceánica, presenta una fase geológica que se originó a partir de una cuenca oceánica, donde se depositaron sedimentos derivados de una margen continental cercana al área durante el Triásico Tardío. Esta secuencia fue afectada por un evento de deformación de edad indeterminada durante el Jurásico.

Sin embargo, Ortiz Hernández et al. (1991) señalan que la presencia de estas secuencias podrían ser explicadas por el modelo de acreción continental (De las placas oceánicas a los terrenos alóctonos) propuesto por Ben-Avraham et al. (1981).

Durante el Eoceno, tuvo lugar la emersión completa y definitiva, caracterizada por el depósito de las capas rojas continentales y vulcanismo de composición ácida-intermedia, acompañados por la formación de fosas y deformación neotectónica.

Desde el Plioceno hasta la actualidad, la región ha sido afectada por esfuerzos de tipo tensional que han dado origen a grandes sistemas de fallas y relleno de fosas. Asimismo, se ha presentado el vulcanismo andesítico-basáltico propio de la Faja Volcánica Transmexicana.

III.- DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES LITOLÓGICAS

Para el estudio petrológico de la localidad Campo Seco, Guerrero, se recolectaron 170 muestras, así como 15 de las áreas adyacentes a la asignación (barranca La Papaya al oeste y Cerro Campo Seco al norte), con el fin de entender las relaciones espaciales y temporales de las distintas unidades encontradas.

Todas estas muestras se estudiaron en gabinete para refinar la descripción de campo. De ellas, se escogieron las más representativas para elaborar láminas delgadas, tomando como criterio su difícil clasificación macroscópica, su sensible contenido de mineralización, así como su ubicación y características litológicas.

Cabe mencionar que en las barrancas Campo Seco y Tehuchuetla, muy cerca de los cuerpos mineralizados, el C.R.M. llevó a cabo una campaña de barrenación corta con diamante utilizando una máquina Winkyne, por lo que se hicieron algunas láminas delgadas para algunos de los segmentos de los barrenos recuperados con el fin de complementar la información geológica del lugar de trabajo.

En la superficie que comprende la asignación Campo Seco, aflora una secuencia compuesta por rocas volcánicas y sedimentarias afectadas por un metamorfismo incipiente, así como de rocas que no lo presentan, éstas son las menos y su localización se halla restringida. La secuencia de rocas metamórficas se encuentra plegada, fracturada y afallada, por lo que no existe un lugar donde aflore toda la secuencia completa. Es así que ésta, tiene que construirse a partir de los diversos afloramientos presentes en las diferentes barrancas que atraviesan la asignación.

Por lo general, en los afloramientos se observan contactos pseudoconcordantes dentro de la secuencia vulcanosedimentaria y discordantes con las rocas más jóvenes, así como con los intrusivos.

Hasta la fecha, no se han reportado fósiles en la región, sin embargo al NE del poblado de La Papaya existen algunas impresiones fósiles (Apéndice I), las que no se pudieron clasificar, a pesar de existir similitud con ciertos ichnofósiles reportados en la Formación Chicontepec (Contreras Barrera y Gío Argáez, 1985).

Debido al intenso plegamiento que muestran las rocas metamórficas, aunado a las fallas que las afectan, el espesor real de las diferentes unidades litológicas es muy difícil de medir, por lo que aquí se hizo una aproximación hasta donde fue posible.

También es importante señalar que existe una gran diversidad de rocas metavolcánicas en el área de estudio, lo que se consideró como una primera razón para agrupar en unidades a todas las rocas de la asignación con el fin de hacer más objetivo el plano litológico anexo (Apéndice V).

Mediante el estudio petrográfico se logró definir la litología de la zona, la existencia de unidades litológicas, texturas, tipos de alteración, porosidad, rasgos que ayudaron a conformar un cuadro de la petrología local. Esta descripción de la columna litoestratigráfica está apoyada con secciones preliminares y con la correlación de columnas cercanas al área de trabajo (Heredia y García Fons, 1981; Vidal Serratos, 1991).

Las rocas presentes en el lugar corresponden a una secuencia vulcanosedimentaria intrusivada por un domo dacítico, presentando una asociación mineralógica que apuntala un metamorfismo regional correspondiente a la facies de esquisto verde. Los minerales más comunes observados son clorita, sericita, apatito, epidota, calcita, plagioclasas, cuarzo y pirita, entre otros (Apéndice II y III).

Se recomienda que para la consulta de las respectivas descripciones petrográficas que se señalan en los siguientes párrafos, se haga uso del Apéndice III, el cual se encuentra ordenado en forma alfabética conforme a la clave de la respectiva lámina delgada, por ejemplo se sigue la siguiente secuencia AY, CS, CZ, G, GR, GV, etc., además de respetar la numeración ascendente, por ejemplo, se encuentra primero CS-1 y posteriormente CS-7.

III.1 LITOESTRATIGRAFIA LOCAL.

La secuencia litoestratigráfica del área de estudio es la siguiente:

A).- Unidad metavolcánica El Gringo (GR).

Representa la parte más baja de la secuencia vulcanosedimentaria presente en la localidad Campo Seco, Guerrero.

Esta unidad se encuentra constituida por una secuencia de rocas color gris claro, gris verdoso a rosado al fresco que acusan una textura volcánica relicta y una composición mineralógica variable, intercaladas entre pizarras negras al fresco y algunas metareniscas de color pardo grisáceo.

En el campo, toda esta secuencia puede ser observada a lo largo de la barranca El Gringo, en tanto que en las barrancas ubicadas al oeste de la asignación Campo Seco aparece sólo la parte más alta de esta unidad, mientras que en la parte este de la citada asignación, la unidad se encuentra cubierta por las unidades superiores.

La mayor parte de las rocas que conforman esta unidad presentan foliación, plegamiento y fracturamiento correspondientes a eventos de distinta edad claramente diferenciables en el campo (Ver capítulo V), además de pequeños micropliegues en lámina delgada.

Todas las rocas de esta unidad muestran contactos pseudoconcordantes entre sí. Su espesor verdadero es difícil de medir debido a la complejidad estructural que presenta.

Litoestratigráficamente, la unidad en la parte más baja, en forma pseudoconcordante e intercalados entre pizarras negras, presenta paquetes de rocas metavolcánicas de color gris oscuro, gris verdoso a rosado al fresco con textura piroclástica relicta; esta roca, en campo, muestra débiles indicios de metamorfismo. Mineralógicamente, las rocas metavolcánicas están constituidas por fragmentos de roca, minerales arcillosos, micas alteradas (blancas), fantasmas de plagioclasas, clorita, sericita, minerales opacos (pirita), epidota, esfena, cuarzo, fantasmas de miraxanos, calcita en "mosaicos" y fracturas, y algunas veces feldespatos potásico. El cuarzo se presenta, la mayoría de las veces, mostrando extinción ondulante y en segregaciones. En ocasiones, el feldespatos potásico está alterado a minerales arcillosos. Por su mineralogía, estas rocas presentan una composición de tipo andesítica. Presentan un espesor de capa que varía entre 3 a 10 m. En cuanto a las pizarras, es preciso destacar que éstas muestran micropliegues, así como epidota entre sus constituyentes.

(Láminas delgadas: GR-6, GR-12, GR-19, GR-21, GR-30, GV-3, GV-17, V-17).

Sobreyaciendo a las rocas anteriores en forma pseudoconcordante, aparecen paquetes de rocas conformados por una intercalación de rocas metavolcánicas, pizarras y una metarenisca.

Las pizarras son negras, foliadas y plegadas; mineralógicamente constituidas por cuarzo terrígeno, sericita, plagioclasas terrígenas, minerales opacos en escamas (entre ellos pirita), fragmentos de roca, micas alteradas y goethita-limonita. Se presenta en espesores que varían de 5 a 10 m.

Por otra parte, la metarenisca presenta un color gris al fresco con una fuerte foliación. Entre los minerales que la constituyen destacan cuarzo terrígeno, sericita, fengita-muscovita formando la matriz que rodea a los cristales de cuarzo, minerales opacos, hematita como matriz del protolito y calcita. El espesor aproximado de esta roca es de 20 m.

Por lo que se refiere a las rocas metavolcánicas, éstas son de color gris oscuro al fresco, pobremente foliadas, con una textura porfídica relicta. En el microscopio es posible distinguir en estas rocas, su textura porfídica y microclítica. Sus minerales constituyentes son: plagioclasa (andesina) en fenocristales y microclitos, clorita reemplazando en la matriz, cuarzo, feldespatos potásico, micas alteradas, minerales opacos intersticiales, anfíboles reemplazados por opacos y limonita, calcita y minerales arcillosos reemplazando a plagioclasas. De esta

mineralogía, se deduce que estas rocas presentan un carácter andesítico de afinidad calcoalcalina. El espesor en capa de estas rocas, varía de 3 a 8 m.

(Láminas delgadas: GR-36, GR-40, GR-43).

Descansando sobre las anteriores rocas se presenta una serie de pizarras negras, fisiles, foliadas y plegadas principalmente en pliegues chevron y de rodilla; constituidas mineralógicamente por sericita, clorita, cuarzo terrígeno, cuarzo de segregación metamórfica, minerales opacos diseminados formando escamas (entre ellos pirlita) y goethita-limonita; además, muestra un fracturamiento relleno por cuarzo. Su espesor de capa, varía entre los 3 y 5 m.

(Láminas delgadas: GV-24, GV-28).

Hacia la parte superior, entre las anteriores pizarras y de forma pseudoconcordante, aparecen una serie de capas de color gris claro, las cuales en lámina delgada muestran una textura piroclástica relicta; entre sus minerales principales se cuentan: cuarzo (algunos redondeados y con extinción ondulante), sericita, plagioclasa (al parecer oligoclasa), clorita, feldespato potásico, minerales opacos diseminados (entre ellos pirlita), goethita-limonita. Asimismo, presenta fracturas rellenas por cuarzo y algunas veces por calcita, aunque en menor proporción. Por sus características texturales y mineralógicas, se clasifican como metatobas cuarzo-feldespáticas de composición andesítica. El espesor promedio de estas capas es de aproximadamente 40 cm.

(Láminas delgadas: GV-25, GV-32).

Por lo anteriormente descrito, se puede concluir que probablemente las rocas de esta unidad representan una zona transicional de arco insular-mar marginal en donde predominó el vulcanismo. Cabe destacar, que existen semejanzas mineralógicas y texturales con las rocas descritas para las Formaciones Esquistó Taxco y Rocaverde Taxco Viejo.

B).- Unidad metapelítica-volcánica Tehuehuella (TH).

Cubriendo a la anterior unidad, se encuentra una secuencia de rocas metapelíticas intercaladas con rocas metavolcánicas de forma pseudoconcordante con textura y composición variable. Esta unidad puede rastrearse a lo largo de la barranca Tehuehuella y al parecer se extiende hacia la barranca El Guamúchil, aunque se puede decir que está enmascarada por la intrusión del domo presente en el área de estudio. Las rocas metapelíticas de esta unidad, están conformadas por pizarras negras, foliadas y plegadas, que exhiben pliegues de rodilla. La mineralogía está constituida principalmente por sericita, cuarzo terrígeno escaso, clorita, minerales opacos en escamas (entre ellos pirlita), epidota, poca calcita (que presenta "huellas de presión") diseminada y en fracturas, además de hematita. Se pueden establecer dos períodos de deformación al observar los micropliegues que muestran los minerales micáceos. El espesor de capa que presentan estas rocas varía entre los 30 y los 50 metros.

(Láminas delgadas: G-6, TH-6, TH-36).

Intercaladas con estas pizarras negras y en forma pseudoconcordante, se encuentran rocas metavolcánicas foliadas, de color gris oscuro a rosado al fresco, con textura porfídica relicta la mayor de las veces y muy pocas veces con textura piroclástica relicta.

Estas rocas se alternan de forma rítmica a lo largo de la barranca Tehuehuella en una secuencia dada por pizarras-rocas metavolcánicas de composición andesítica-dacítica (es decir, se observa que existió una diferenciación magmática en los eventos volcánicos de la región). También es importante señalar que las metatobas son más frecuentes hacia la parte superior de la unidad, ya que hacia la parte inferior de la misma predominan las metalavas. En ambos casos, con excepción de los fragmentos de roca en los ejemplares de textura piroclástica, la mineralogía principal está dada por: sericita, plagioclasas, cuarzo, micas alteradas, en ocasiones feldespato potásico, fenocristales alterados a goethita-limonita + minerales arcillosos, escasa calcita en "mosaicos" y fracturas,

hematita en los bordes de los cristales y minerales opacos (entre ellos pirita). El espesor de estas rocas varía de entre los 3 y 5 m.

(Láminas delgadas: PT-TH-1, TH-24).

Es así que en la barranca Tehuehuella, aflora un cuerpo de sulfuros masivos (el más importante del área de estudio por su tamaño), encajonado de forma pseudoconcordante entre el contacto de una metatoba andesítica y una pizarra negra con las características ya descritas. Este cuerpo mineral, como se verá posteriormente, es diferente del cuerpo Campo Seco, siendo la única semejanza la forma de emplazamiento.

Esta unidad representa una zona con mayor influencia volcánica que la Unidad Campo Seco (a continuación descrita). De lo anterior, se observa que esta unidad presenta semejanzas con las descripciones hechas para la secuencia de Ixtapan de la Sal-Teloloapan-Arcelia por Campa (1974).

C).- Unidad metapelítica calcárea-volcánica Campo Seco (CS).

Cubriendo a la unidad anterior se presenta una gruesa secuencia de rocas metapelíticas con muy pocas intercalaciones de material volcánico y con una composición calcárea predominante. La presencia de cobre es también una característica de los cuerpos minerales encajonados dentro de esta unidad litoestratigráfica. La unidad puede ser seguida a través de toda la barranca de Campo Seco, mientras que en otras barrancas, como la del Ayotochí o El Guamúchil, sólo se pueden observar los intervalos superiores de dicha unidad.

La unidad, por sus características litológicas, puede ser dividida en cuatro miembros, los que se describen a continuación.

i) Miembro A (CSA).

Esencialmente de carácter metapelítico calcáreo.

Desde su parte más baja hasta la más alta, la unidad exhibe una secuencia repetida de calcoesquistos de color gris oscuro al fresco, foliados y plegados, que en ocasiones presentan un efecto del intemperismo diferencial que les da un parecido similar a las lavas almohadilladas reportadas por diversos autores en ciertos sitios de los estados de Guerrero, México y Michoacán. Mineralógicamente, estos calcoesquistos, están constituidos principalmente por: clorita, sericita, calcita en "mosaicos" y rellenando fracturas, cuarzo terrigeno y de segregación metamórfica, minerales opacos en escamas, pirita y micas alteradas. En ocasiones se pueden observar plagioclasas, feldespatos potásico y al parecer, fragmentos de roca. Claramente se pueden establecer dos periodos de deformación en estas rocas, evidenciados por un plegamiento de los minerales micáceos. Frecuentemente es posible observar el reemplazamiento de diversos minerales (opacos y plagioclasas) por hematita + goethita-limonita + minerales arcillosos. Estas rocas muestran un espesor de aproximadamente 60 m, estando separados estos intervalos por pequeños paquetes de pizarras con mucho menor contenido de calcita.

Hacia la parte oeste de la asignación Campo Seco, en forma estratigráficamente ascendente, comienzan a encontrarse capas de rocas metavolcánicas intercaladas entre los calcoesquistos. Estas rocas metaféreas se presentan muy mal conservadas, con un color al fresco que varía del gris oscuro al rosado, mostrando una fuerte foliación y fracturamiento, así como contactos pseudoconcordantes con los calcoesquistos. Algunas de estas rocas muestran una textura piroclástica relicta por lo que se dificulta establecer una clasificación adecuada para estas rocas. Su mineralogía se encuentra representada por clorita, sericita, fantasmas de plagioclasas, cuarzo y minerales micáceos criptocristalinos formando la matriz. Contienen vetillas de cuarzo con textura de "box work" de pirita (Lámina CS-7). Algunos de los minerales muestran reemplazamiento por goethita-limonita + hematita + minerales arcillosos. Otras rocas, como la correspondiente a la lámina CS-9, presentan una textura típica de lava de composición andesítica, sin embargo, también sus minerales están reemplazados por clorita, sericita o limonita-goethita. El espesor de estas capas varía de entre 40 cm a 3 m.

Cabe señalar que hacia el noreste de la asignación Campo Seco existen indicios de mineralización entre el contacto de una roca metavolcánica con un calcoesquisto.

Así, se puede observar primero una obra conocida como la Reina del Cobre con presencia de malaquita y otros óxidos de cobre; después aparecen lentes de sulfuros masivos, siendo el más grande el denominado cuerpo Campo Seco también con minerales de cobre. Asimismo, los calcoesquistos de la parte superior de esta unidad presentan óxidos de cobre y pequeños "hilillos" de sulfuros (galena, principalmente).

(Láminas delgadas: CS-1, CS-7, CS-9, CS-12, CZ-1, CZ-2, CZ-4, G-2, G-3, L-10, T-6).

ii) Miembro B (CSB).

Predominantemente de carácter metavolcánico básico.

Suprayaciendo en forma pseudoconcordante al miembro anterior, se encuentran capas de rocas metavolcánicas de composición andesítica de color gris oscuro al fresco, de forma masiva y muy fracturada, que presentan muy pocos indicios de metamorfismo regional a nivel macroscópico. Al microscopio se les observa una textura porfídica y microlítica relicta. Esencialmente estas rocas se encuentran constituidas por los siguientes minerales: plagioclasas (o fantasmas de ellas) en microlitos, calcita y clorita reemplazando parcial o totalmente a los piroxenos, cuarzo (policristalino y con extinción ondulante), esfena alterada a hematita, ferromagnesianos reemplazados por otros minerales opacos + minerales arcillosos + goethita-limonita, apatito (que a veces aparece dentro de los cristales de cuarzo), calcita en "mosaicos" y rellenando fracturas. Este tipo de composición mineralógica le da a estas rocas un carácter andesítico calcoalcalino. Cabe recordar que entre estas rocas siguen apareciendo los calcoesquistos anteriormente descritos. Estas metandesitas presentan un espesor de capa que varía de 5 a 15 m.

(Láminas delgadas: AY-3, PT-AY-1, PT-AY-2, PT-CS-1, CS-13, CS-16, CS-17).

iii) Miembro C (CSC).

De carácter metavolcánico sobresaturado.

En la parte norte de la asignación Campo Seco, en un área muy restringida, aflora una secuencia de rocas metavolcánicas de color rosado al fresco, las que se presentan foliadas, fracturadas, mostrando evidencias de hidrotermalismo e intercaladas con delgadas paquetes de pizarras grises. Al parecer este miembro tiende a acuífarse con los dos miembros anteriormente descritos.

Las rocas metavolcánicas presentan una textura relicta piroclástica y mineralógicamente se encuentran constituidos por cuarzo con extinción ondulante, fantasmas de plagioclasas, feldespato potásico, fragmentos de roca, clorita reemplazando feno cristales, goethita-limonita + minerales arcillosos reemplazando a otros minerales como a las plagioclasas. De esta mineralogía se desprende que se trata de metalobas sobresaturadas, argilitizadas y en parte silicificadas. Se presentan con un espesor de capa de entre 3 a 5 m.

(Láminas delgadas: MT-1, LC-1).

Por otro lado, existen rasgos de hidrotermalismo, dados por brechas silicificadas y argilitizadas, las que presentan un color rosado al fresco, pobremente foliadas y muy fracturadas; exhibiendo una textura de "mosaico". Su mineralogía principal está dada por la presencia de cuarzo con extinción ondulante, plagioclasas, feldespato potásico, minerales opacos diseminados, sericita, goethita-limonita + minerales arcillosos, hematita en "mosaicos" y rellenando fracturas. El espesor de capa para estas rocas varía de 0.5 m a 2 m.

(Lámina delgada: LC-3).

En cuanto a las pizarras grises, se constituyen principalmente por cuarzo, plagioclasas, micas alteradas, sericita, minerales opacos, cuarzo de segregación metamórfica y pocas veces calcita. Su espesor de capa varía de entre 0.5 m a 10 m.

(Láminas delgadas: LC-5).

iv) Miembro D (CSD).

Principalmente con carácter metapelítico calcáreo.

En la parte este de la asignación Campo Seco y hacia la parte superior de esta unidad, intercalada entre los calcosquistos, aflora un lente de metarenisca de color gris oscuro al fresco, pobremente foliada y muy fracturada. Entre sus principales minerales se pueden señalar: cuarzo, plagioclasas (oligoclasas), calcita, minerales opacos, hematita + goethita-limonita + minerales arcillosos. Los cristales de cuarzo presentan bordes suturados y extinción ondulante, mientras que la calcita se encuentra en "mosaicos" y rellenando fracturas. Este intervalo presenta un espesor de aproximadamente 30 m.

(Láminas delgadas: L-6, L-10).

La Unidad metapelítica calcárea- volcánica Campo Seco, podría representar una disminución drástica del vulcanismo con un incremento en el depósito de mar marginal. Por sus características litológicas, esta unidad es muy semejante a la descrita por Vidal Serratos (1991) en Acahuizotla, Guerrero, y también en parte a la secuencia descrita por Campa (1974) para Ixtapan de Sal-Teloloapan-Arcelia.

D).- Unidad metálgica intrusiva Campo Seco (ICS).

Esta unidad esta representada por un domo que aflora en la porción sur de la asignación Campo Seco e intrusión a toda la secuencia anteriormente descrita (Apéndice I). Este domo presenta una fuerte foliación acorde con las demás unidades, una coloración gris a gris verdoso en el contacto con las otras unidades (zona de metamorfismo de contacto) y rosada en su parte fresca, aunque presenta un color blanco grisáceo en la mayor parte por efecto del intemperismo. Al microscopio presenta una textura porfídica seriada relicta y mineralógicamente está constituido por: cuarzo con extinción ondulante, plagioclasas (a veces fantasmas), minerales opacos, sericita, clorita, zircón, cuarzo, calcita en "mosaicos", hematita, goethita-limonita + minerales arcillosos, sobretodo en las rocas que se hallan en contacto con las otras unidades. Existen, asimismo, fracturas rellenas de cuarzo con "box work" de pirita y en ocasiones rellenas de calcita. De lo anterior se le estima una composición dacítica. Por otra parte, de estudios geoquímicos, se establece que este domo dacítico tiene una afinidad calcoalcalina tardía (Ortiz Hernández, 1992). Sin embargo, este domo nada tiene que ver con la génesis de los sulfuros presentes en el área de estudio, ya que el mismo es estéril, por lo que se deduce que su emplazamiento fue post-mineral, pero anterior al evento del metamorfismo regional.

(Láminas delgadas: GR-11, ST-1, ST-2, ST-3, V-28, T-43, L-3, MT-2).

E).- Unidad sedimentaria El Ayotochi (AY).

Esta unidad está conformada por rocas sedimentarias detríticas que no muestran ningún indicio de metamorfismo. Afloran en forma de lentes y en lugares restringidos, principalmente en la barranca El Ayotochi. Se presentan en forma masiva, con un color rosado al fresco, mal clasificadas, con tamaños que varían desde los limos hasta guijarros, con partículas angulosas a subangulosas y constituidas principalmente por material piroclástico, tales como fragmentos de rocas volcánicas que contienen cuarzo, plagioclasas, calcita, hematita, minerales opacos y sericita. Por ello se optó por denominarles brechas, las cuales se encuentran cementadas en parte por calcita y en parte por cuarzo. Su espesor es muy variable de entre 10 a 20 m.

(Láminas delgadas: AY-5, CS-6, CS-15, L-27).

Esta unidad representa aparentemente el inicio de los depósitos continentales en esta área de estudio, comparables a las de las capas rojas de la Formación Balsas u otras formaciones equivalentes.

F).- Unidad intrusiva riolítica.

Estas rocas afloran sólo en sitios restringidos de la parte sur de la asignación Campo Seco alojándose a lo largo de planos de fallamiento. Se trata de rocas de color rosado al fresco que intrusionan principalmente a la Unidad Tehuehueta en la parte este y a la Unidad El Gringo en la parte oeste. Presenta una textura fanerítica y porfídica, constituida mineralógicamente por cuarzo, plagioclasa (oligoclasa), feldespatos potásico, minerales opacos, mostrando una cierta alteración dada por sericita, calcita en "mosaicos" y vetillas, así como hematita reemplazando fenocristales de feldespatos. Su espesor varía de entre 1 a 5 m. No se observan indicios claros de metamorfismo. Esta unidad puede representar el vulcanismo Terciario, presente en muchas partes de Guerrero y otros estados.

(Lámina delgada: V-9).

III.2 ALTERACIONES.

Las alteraciones que se identifican en la zona son: silicificación, oxidación, carbonatación, piritización y sericitización.

En general, la carbonatación y la oxidación se presentan en forma de "mosaicos" y alojándose en fracturas, sobre todo en la Unidad Campo Seco. La silicificación está prácticamente extendida por toda la localidad pero es particularmente abundante en la porción SW de la asignación, existiendo en esa zona un cuerpo de cuarzo de 7 m de largo por 2 m de ancho. La piritización se manifiesta principalmente cerca de los cuerpos minerales, aunque casi toda la secuencia de pizarras la presenta. La sericitización se localiza por todo el lugar de interés sin afectar cuantitativamente un lugar o roca en especial.

Las Unidades relacionadas al cuerpo Campo Seco presentan:

- a) **Silicificación.** El sílice se presenta rellenando fracturas y como reemplazamiento de feldespatos.
- b) **Oxidación.** Se manifiesta de manera abundante, ya sea en "mosaicos" o reemplazando a minerales opacos y ferromagnesianos.
- c) **Carbonatación.** Aparece en forma de "mosaicos", reemplazando minerales (como a las plagioclasas) y rellenando fracturas.
- d) **Piritización.** Se presenta en forma diseminada y en "box work", principalmente en los sedimentos pelíticos.
- e) **Sericitización.** Reemplazando a minerales (principalmente a minerales micáceos y plagioclasas).

Las Unidades relacionadas al cuerpo Tehuehueta presentan:

- a) **Silicificación.** Ocurre principalmente en fracturas.
- b) **Oxidación.** Alojada principalmente en fracturas.
- c) **Piritización.** La pirita se observa en forma diseminada en las pizarras.
- d) **Sericitización.** En un fuerte reemplazamiento, principalmente de plagioclasas.

Se observa que no se presenta alguna alteración con su respectiva asociación mineral semejante a las descritas para los típicos yacimientos vulcanogénicos conocidos (Kuroko, Cyprus, Sullivan, etc.), por lo que, en este caso, no existe con certeza una alteración que sirva como guía en la exploración (Hutchinson, 1973; Large, 1977; Govet y Nichol, 1979). Esto se puede deber a causa de la intensa deformación que afecta al área de trabajo, que enmascara las relaciones espaciales entre la zona de alteración y la zona de mena, así como por la evidente etapa de hidrotermalismo producida por el domo y otros intrusivos de la región (v.gr. Intrusivo de Cacalotepec).

IV.- DESCRIPCION DE LOS CUERPOS MINERALIZADOS

La importancia económica de la localidad Campo Seco, Guerrero, radica en que se encuentra situada dentro de la franja metalogénica de grandes yacimientos vulcanogénicos, entre los que destacan Campo Morado, Rey de la Plata y La Suriana, en el estado de Guerrero (Lorinczi y Miranda, 1978; García Fons et al., 1981, Torres R.V. y Nuñez M.A., 1984; Campa, 1978) (Figura 10).

En el área Campo Seco, Guerrero, la presencia de una secuencia vulcanosedimentaria (descrita anteriormente) asociada a un régimen de Arco Insular-Mar Marginal define un ambiente propicio para la existencia de depósitos minerales vulcanogénicos (Ramírez et al, 1991).

Las barrancas Campo Seco y Tehuehueta de la asignación Campo Seco, presentan afloramientos de lentes de sulfuros masivos vulcanogénicos, los cuales fueron muestreados para realizar un estudio minerográfico con el fin de determinar su mineralogía económica y relaciones texturales.

Los lentes denominados cuerpo Campo Seco y cuerpo Tehuehueta, que afloran en las barrancas del mismo nombre, representan las mayores estructuras mineralizadas del área de trabajo. Así, las descripciones minerográficas corresponden a un muestreo de estos cuerpos principales y también a un pequeño lente aflorante en la barranca Campo Seco. Cabe mencionar que en esta barranca, existen tres obras mineras, las cuales pueden representar una zona de enriquecimiento supergénico, ya que se observa que se explotó una zona oxidada. La obra denominada Reina del Cobre, fue explotada por el elemento que le da nombre, según informes de los lugareños .

Para el muestreo de los cuerpos minerales, se buscó obtener muestras representativas del bajo, parte media y alto de los principales cuerpos minerales.

La elaboración de las superficies pulidas para el estudio minerográfico, se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Yacimientos Minerales y Minerografía de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Es importante señalar que las muestras presentan un tamaño de grano muy fino (Apéndice IV), por lo que las observaciones minerográficas, se tuvieron que realizar principalmente con los objetivos 60x y 120x.

Asimismo, después de haber identificado a los minerales de las superficies pulidas, se les atacó químicamente con ferrocianuro de potasio y ácido clorhídrico en proporción de 1:5, con el fin de determinar si se tenía o no la presencia de marcasita (Ramdohr, 1980) ya que la mena se encuentra muy pirritizada y las propiedades ópticas de la marcasita y la pirita son muy similares, dificultando la diferenciación de ambas. Este análisis dió como resultado la no existencia de marcasita.

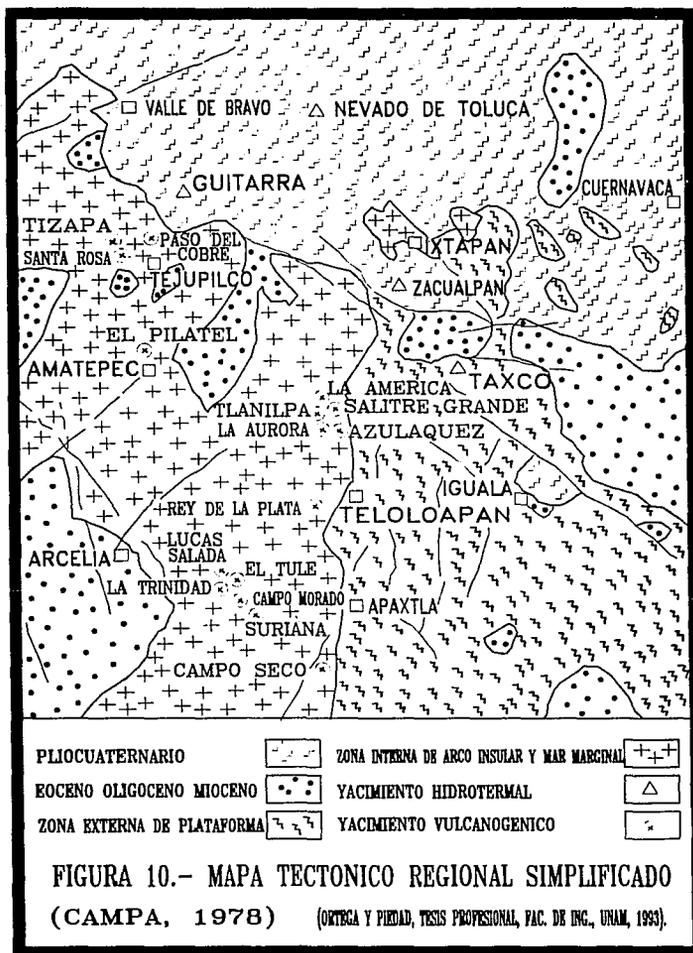
IV.1 MORFOLOGIA DE LOS CUERPOS MINERALIZADOS.

IV.1.1 CUERPO CAMPO SECO.

Se ha denominado cuerpo Campo Seco a un lente de sulfuros masivos vulcanogénicos que aflora en la barranca del mismo nombre. Está orientado con un rumbo NE-SW 5° - 10° y una inclinación de 70° - 60° al W, teniendo de 4 a 5 m de longitud en superficie, con un espesor de 0.8 a 2 m. Se presenta en forma pseudoconcordante, entre una metabas andesítica al bajo y un calcoesquisto al alto. Muestra un zonamiento textural de forma vertical, ya que hacia el bajo y el alto, presenta brechamiento. Sus límites laterales son muy difusos, por lo que no se pudo cortar durante la barrenación llevada por el C.R.M.

IV.1.2 CUERPO TEHUEHUETA.

El cuerpo Tehuehueta, toma el nombre de la barranca donde aflora y es también un cuerpo lenticular de sulfuros masivos vulcanogénicos. Está orientado con un rumbo NW-SE 5° - 10° y una inclinación de 65° - 85° al E, mostrando



13 m de longitud en superficie con un espesor de 4 a 8 m. El cuerpo muestra una textura uniforme, con una mineralogía muy diferente al cuerpo Campo Seco. Se encuentra encajonado, de forma pseudoconcordante, entre una metatoba andesítica delgada al bajo y un paquete de pizarras negras al alto. Al igual que el cuerpo Campo Seco, sus límites laterales son difusos, por lo que tampoco se pudo cortar durante la perforación realizada por el C.R.M.

IV.2 MINERALOGÍA DE LOS CUERPOS MINERALIZADOS.

IV.2.1 CUERPO CAMPO SECO.

Macrosópicamente, este cuerpo presenta una mena masiva de color negro a verde oscuro, con manchones de precipitados color amarillo limón, verde esmeralda y ocre (Hematita terrosa), de grano muy fino en su parte baja y alta, y de grano medio en su parte central. Presenta pirita, esfalerita y galena como minerales esenciales y carbonatos de cobre (malaquita, covelita) como minerales secundarios.

Microscópicamente, presenta una mineralogía dada por pirita, calcopirita, galena, esfalerita, freibergita, tetraedrita, covelita y calcosita (Apéndice IV).

La pirita en el cuerpo Campo Seco varía de subedral a euedral, en texturas de islas, esferas, brechoide, esquelético y coloforme. Algunos de los cristales presentan huellas de corrosión (Atkinson, 1975; Brooker et al., 1987). También ocurre como pseudomorfo de la galena y la esfalerita. Presenta exsoluciones de calcopirita y esfalerita. Se puede decir que se identificó la típica asociación de mena amarilla (Oko) de los depósitos Kuroko formada por pirita euedral a anedral y calcopirita intersticial (Rubinovich, 1989). El metamorfismo sufrido por los sulfuros se evidencia por la presencia de juntas triples en la pirita (Craig y Vaughan, 1981). La pirita, particularmente en ambientes vulcanogénicos, es portadora de elementos raros, tales como Ga y Ge, de los cuales, para este caso no se dispone de datos en el depósito.

La calcopirita, asimismo, con forma anedral, se encuentra asociada a la galena y a la esfalerita, formando dentro de ésta última, pequeñas islas y crecimientos dendroideos que rodean a los cristales de esfalerita. Esta "calcopiritización" de la esfalerita es semejante a la que se observa en muchos depósitos vulcanogénicos (Barton, 1978; Eldridge et al., 1983)²⁰.

La esfalerita presenta a la galena como asociación habitual, estando el mineral de plomo subordinado al de zinc, lo que constituye una similitud con la mena negra (Kuroko) típica de los yacimientos Kuroko (Craig y Vaughan, op. cit.). Ambos minerales en las muestras son anedrales y se encuentran alojadas en los intersticios de la pirita. Cabe mencionar que no se observó recristalización de la galena por efectos del metamorfismo similares a las descritas como típicamente metamórficas (Craig y Vaughan, op. cit.).

Las sulfosales (como la tetraedrita y la freibergita) son especies mineralógicas muy frecuentes en los sulfuros masivos vulcanogénicos, pero no existen trabajos específicos sobre estos minerales en yacimientos de dicha naturaleza. Las condiciones físico-químicas imperantes durante la cristalización de las sulfosales corresponden a medios hidrotermales, y más raramente pneumatolíticos, donde predomina una fase fluida en la que el agua es el componente principal. En las sulfosales existe una estrecha interdependencia entre la composición química, el tipo estructural y la temperatura de formación. La química de las sulfosales es compleja, se presenta con elementos menores tales como As, Bi, Mn, Zn, Fe, Sn, Tl, Cd y Cl, entre otros.

En el depósito Campo Seco, la tetraedrita y la covelita se presentan en las muestras con formas anedrales, se encuentran depositadas entre los intersticios de la pirita, la galena y la esfalerita, así como en fracturas.

Se denomina con el nombre de freibergita a la variedad argentífera de la tetraedrita, mineral que forma parte de la serie isomorfa cuyo extremo arsenical es la tennantita. La freibergita es una sulfosal compleja de Cu-Ag y es el mineral primario de Ag más abundante de la corteza terrestre. También es el principal mineral argentífero de los yacimientos vulcanogénicos y ha sido identificado prácticamente en todos los depósitos de este origen donde se han realizado estudios elementales de mineralogía de mena. En el cuerpo Campo Seco, se presenta principalmente reemplazando a la galena, lo que indica una polaridad clara de la sulfosal de Cu-Ag a sustituir minerales ricos en Pb de formación más temprana. La freibergita en las muestras se encuentra dentro de los cristales de galena con forma anedral como intercrecimiento arborescente y como exsolución en la esfalerita. Generalmente, la freibergita es menos abundante que los minerales de Pb lo que indica un reemplazamiento extensivo y la abundancia de fluidos hidrotermales tardíos ricos en Sb, Cu y Ag.

La calcosita se presenta como reemplazamiento de la calcopirita y la covelita, sobre todo en los cristales de calcopirita que se encuentran en contacto con la pirita, adoptando una forma anedral.

Por otra parte, la muestra del pequeño lente sobre la barranca Campo Seco, presenta características mineralógicas muy similares a las descritas para el cuerpo Campo Seco.

La paragénesis establecida para este cuerpo es la siguiente: Pirita - esfalerita - galena - calcopirita - freibergita - tetraedrita - covelita - calcosita.

Se considera que el primer mineral en depositarse fue la pirita tal como lo indica su grado de cristalinidad y las relaciones con los otros sulfuros. Esto se debió al enfriamiento rápido de las soluciones hidrotermales al vertirse en el fondo marino.

Siguió la cristalización de esfalerita - galena, sin que se pueda establecer cuál de los dos sulfuros fue primero, pues los contactos entre ellos indican cristalización simultánea.

Posteriormente, la emisión de fluidos hidrotermales ricos en Cu, Sb y Ag provocó la formación de la tetraedrita y la calcopirita. La presencia de fluidos hidrotermales excepcionalmente ricos en Ag, se comprueba por la coexistencia de freibergita.

Finalmente, con el Cu remanente de aquellos fluidos, se formó la covelita y la calcosita.

De lo anterior, se puede afirmar, que el cuerpo Campo Seco difiere de los yacimientos tipo Kuroko en la carencia de diversos minerales tales como la barita, la anhidrita o la tennantita, entre otros.

Sin embargo, por sus características mineralógicas y por el carácter de la unidad que lo encajona, el cuerpo Campo Seco presenta similitud con el depósito Bathurst, New Brunswick en Canadá.

Se piensa que el yacimiento del distrito Bathurst se depositó en corteza continental convertida en arco de islas durante un episodio volcánico. Se encuentra encajonado en una secuencia compuesta por rocas metasedimentarias con metalavas y metapiroclastos de composición máfica. Presenta cinco períodos de deformación, con los cuerpos altamente deformados y metamorfosados, ricos en pirita, elongados, pseudoconcordantes y bien definidos sus contactos. Presenta además, galena, esfalerita y calcopirita. Metalórgicamente presenta dificultades en el beneficio de la esfalerita, por el tamaño de grano fino de la mena.

Por otra parte, las escasas semejanzas del cuerpo Campo Seco con la mena amarilla típica de los yacimientos Kuroko quizá se deba a la existencia de cuerpos individuales independientes a mayor profundidad (Franklin, Lydon y Sangster, 1981).

También presenta cierta semejanza con las características que a continuación se describen para el cuerpo Tehuehueta.

IV.2.2 CUERPO TEHUEHUETLA.

En muestra de mano, este cuerpo presenta una mena masiva de color negro a verde oscuro, con manchones de color amarillo limón y con textura de grano fino homogéneo.

Minerográficamente, los minerales identificados fueron: Pirita, esfalerita, galena y freibergita (Apéndice IV).

La pirita en estas muestras se presenta con formas anedrales a eudrales, textura de islas, esqueletal y coliforme. También se encuentra reemplazando a la esfalerita y a la galena en pseudomorfos. No se observa la típica asociación de pirita eudral a anedral y calcopirita intersticial, típica de la mena amarilla de los depósitos Kuroko.

La galena y la esfalerita de forma anedral, se encuentran alojadas en fracturas e intersticios de la pirita, formando la esfalerita intercrecimientos gráficos y dendroides. Se observa que la esfalerita no muestra "calcopiritización" tal como se observa en muchos de los depósitos vulcanogénicos. Esto posiblemente se debe al hecho de tratarse de una esfalerita muy tardía y a la escasez generalizada de Cu. Tampoco se observó recristalización de la galena por efectos del metamorfismo.

La freibergita para este cuerpo mineral se presenta entre los puntos de unión de la pirita, galena y esfalerita, en forma anedral.

La paragénesis para este cuerpo es la siguiente: Pirita - esfalerita - galena - freibergita.

La mena de este cuerpo es esencialmente piritosa, por lo que nuevamente el primer mineral en depositarse fue la pirita, debido al enfriamiento rápido de los fluidos hidrotermales al vertirse en el fondo marino.

La cristalización de esfalerita-galena se dio en segundo término, sin que tampoco se pueda establecer cuál fue el primero en formarse.

Finalmente, la emisión de fluidos ricos en Sb, Ag y Cu, dio origen a la freibergita.

No existen, en el cuerpo Tehuehueta, características que definan a la mena amarilla clásica de los yacimientos Kuroko (ni a ninguna otra), lo que puede deberse a la presencia de fluidos mineralizantes originalmente deficientes en Cu y a la existencia de cuerpos independientes a mayor profundidad (Franklin, Lydon y Sangster, op. cit.).

Sin embargo, por las características litológicas de la unidad que lo encajona y de los minerales que lo conforman, este cuerpo es muy similar a los depósitos Stekenjokk en la región caledoniana de Escandinavia en Noruega y Besshi, Japón.

El depósito de Stekenjokk ocurre en una secuencia predominantemente sedimentaria con asociación de unidades volcánicas delgadas con una mena masiva rica en pirita (similar al cuerpo Tehuehueta) y en zinc, en comparación con el Cu; se piensa que este depósito es de tipo distal, es decir, que se encuentra lejos del centro emanativo que dio origen a la mena.

El depósito Besshi se encuentra en una serie de rocas clásticas y basaltos, con una mena que típicamente contiene calcopirita (lo cual lo distingue del cuerpo en cuestión), pirita con poca esfalerita en forma de lentes sin "stringer" ("vellos") de dimensiones pequeñas, entre otras cosas. Este yacimiento, se encuentra asociado a un ambiente de límite tectónico, tal como piso oceánico - arco inular, piso oceánico - cratón, piso oceánico - corteza continental (Franklin, Lydon y Sangster; op. cit.), lo que es semejante con el ambiente geológico presente en el área de Campo Seco, Guerrero.

El cuerpo Tehuehueta, a excepción de su falta de contenido de calcopirita y otros minerales de Cu, presenta ciertas semejanzas con el depósito Bathurst, New Brunswick, Canadá, descrito para el cuerpo Campo Seco.

IV.3 LEYES DE LOS CUERPOS MINERALIZADOS.

El C.R.M. realizó en enero de 1991 análisis químicos de diversas muestras del área de Campo Seco, Guerrero, tanto del cuerpo Campo Seco como del cuerpo Tehuehueta, por medio de la microsonda electrónica para determinar las fases minerales de Au y Ag. Esta reportó, que por medio de barridos aplicados a estas muestras, se indicaba la presencia de esos metales en forma de inclusiones atómicas en estrecha relación con la galena (Pb), las sulfosales y la esfalerita. Antes de la campaña de barrenación en el cuerpo Tehuehueta, el C.R.M., obtuvo, por absorción atómica para Pb, Zn y Cu, y por copelación para Au y Ag, los resultados mostrados en las tablas siguientes:

**TABLA 1: RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO DEL MUESTREO EN EL CUERPO TEHUEHUETLA.
(ORTEGA Y PIEDAD, TESIS PROFESIONAL, FAC. DE ING., UNAM, 1993)**

MUESTRA	ESPEJOR	Au (Grs/ton)	Ag (Grs/ton)	Exp. x Au	Exp. x Ag
1	0.90	2.42	84.38	2.18	75.94
2	0.90	0.82	24.78	0.74	22.30
3	1.00	1.05	30.55	1.05	30.55
4	0.80	7.21	284.19	5.77	227.35
5	0.80	6.60	70.20	5.28	56.16
6	0.80	4.56	568.24	3.65	454.60
7	0.50	0.74	24.06	0.37	12.03
8	1.30	2.15	232.85	2.80	302.70
9	1.00	4.00	244.40	4.00	244.40
10	1.30	4.16	427.44	5.41	555.67
11	1.00	3.40	19.80	3.40	19.80
12	0.90	9.96	243.34	8.97	219.00
13	0.80	8.70	472.50	6.96	378.00
14	0.80	4.80	455.60	3.84	364.48
TOTAL	12.80			54.42	2962.98
			LEY MEDIA		
Au (Grs/ ton)			4.25		
Ag (Grs/ton)			231.00		

TABLA 2: RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO DEL MUESTREO EN EL CUERPO TEHUEHUETLA.
(ORTEGA Y PIEDAD, TESIS PROFESIONAL, FAC. DE ING., UNAM, 1993)

MUESTRA	ESPESOR	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Exp. x Pb	Exp. x Zn	Exp. x Cu
1	0.90	0.8960	1.4100	0.0600	0.801	1.449	0.054
2	0.90	0.3500	0.8800	0.0300	0.315	0.792	0.027
3	1.00	1.4110	3.3500	0.1900	1.410	3.350	0.190
4	0.80	4.1600	6.8000	0.2800	3.312	5.440	0.224
5	0.80	4.1700	7.9000	0.2900	3.336	6.320	0.232
6	0.80	6.8400	5.4000	0.2600	5.472	4.320	0.208
7	0.50	1.9000	0.2900	0.0400	0.055	0.145	0.020
8	1.30	3.6800	1.3800	0.0900	4.784	1.794	0.117
9	1.00	3.1000	3.3800	0.2200	3.100	3.380	0.220
10	1.30	5.5600	2.2800	0.1600	7.228	2.964	0.208
11	1.00	0.9500	0.8000	0.0500	0.950	0.800	0.050
12	0.80	1.8800	0.7800	0.0900	1.492	0.702	0.081
13	0.80	5.9200	5.7000	0.3600	4.736	4.560	0.288
14	0.80	0.810	1.5600	0.4300	0.648	1.248	0.344
TOTAL	12.80	39.810	42.110	2.5800	37.639	37.254	2.183
				LEY MEDIA			
Pb (%)				2.96			
Zn (%)				2.91			
Cu (%)				0.17			
Combinado Pb/Zn (%)				5.86			

Por otra parte, en agosto de 1992, en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, se realizó un análisis químico con base en un remuestreo en la asignación Campo Seco. La muestra D1 pertenece al domo metadacítico, la V1 a vetillas de cuarzo presentes en dicho domo, la CS al cuerpo Campo Seco, y la TH al cuerpo Tehuehueta, teniendo como objetivo principal, el determinar si existía relación entre el domo metadacítico y los cuerpos mineralizados. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 3: RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO POR ABSORCION ATOMICA EN LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNAM (ORTEGA Y PIEDAD, TESIS PROFESIONAL, FAC. DE ING., UNAM, 1993)

	Au	Ag	Cu	Fe	Pb	Zn
MUESTRA	Gra/ton	Gra/ton	%	%	%	%
D1	0.0	0.0	0.0042	2.7824	0.0	0.0119
V1	0.0	0.0	0.0051	1.0902	0.0	0.0124
CS	3.95	33.58	0.7312	31.3183	4.30	4.0695
TH	3.72	3.72	0.2395	32.0427	8.31	20.9080

De los anteriores análisis, al observar el escaso o nulo contenido de Au, Ag, Pb y Zn, se destaca la esterilidad del domo dacítico (Unidad metafénica intrusiva Campo Seco), por lo que se descarta la idea de que este domo haya sido la fuente original de los fluidos mineralizantes que dieron origen a los cuerpos presentes en el área. Sus vetillas de cuarzo, responden a una actividad hidrotermal de la zona que no tiene relación con la actividad que dio origen a los cuerpos minerales en estudio.

El C.R.M., anteriormente había muestreado y analizado la localidad en forma exhaustiva. En cuanto se dió la barrenación en el cuerpo Tehuehueta, se analizaron fragmentos de los núcleos recuperados así como de lodos de perforación (muestras ML...). Los resultados de los análisis químicos de todas estas muestras, se presentan a continuación con sus respectivas gráficas, con el fin de comparar los contenidos de elementos tales como Pb, Zn, Au y Ag, lo que ayuda a formar criterios que se pueden adoptar para la conformación de un modelo geológico que ayude en la exploración de los sulfuros presentes en el lugar, basándose en el zonamiento mineralógico presente en los yacimientos descritos en otros países.

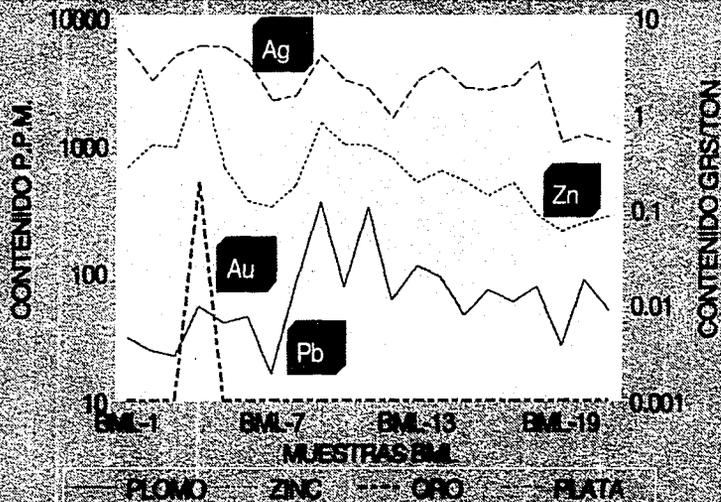
TABLA 4: MUESTRAS DE LODO (BARRANCA TEHUEHUETLA)
(ORTEGA Y PIEDAD, FAC. DE ING., UNAM, 1993)

MUESTRA	Pb (P.P.M.)	Zn (P.P.M.)	As ₅ (GRS/TON)	Ag (GRS/TON)
BML-1	31	600	0.001	4.7
BML-2	23	990	0.001	2.1
BML-3	22	960	0.001	3.9
BML-4	54	3760	0.19	5.11
BML-5	40	670	0.001	4.8
BML-6	44	360	0.001	3.3
BML-7	16	320	0.001	1.3
BML-8	79	478	0.001	1.5
BML-9	348	1510	0.001	4
BML-10	78	1010	0.001	2.1
BML-11	324	990	0.001	1.8
BML-12	60	790	0.001	0.9
BML-13	113	510	0.001	2.1
BML-14	91	640	0.001	2.9
BML-15	46	520	0.001	1.8
BML-16	73	401	0.001	1.7
BML-17	59	507	0.001	1.9
BML-18	76	276	0.001	3.4
BML-19	27	207	0.001	0.5
BML-20	89	245	0.001	0.6
BML-21	50	272	0.001	0.5

0.001 = NO SE DIFTECTO.
As₅: Ag POR EL METODO DE CORRELACION
Pb, Zn POR EL METODO DE ABSORCION ATOMICA

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO

BARRENACION AREA CUERPO TENUEHUETLA



LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE GUATEMALA

TABLA 5: MUESTRAS DE NÚCLEOS (BARRANCA TEHUEHUETLA)
(ORTEGA Y PIEDAD, TESIS PROFESIONAL, FAC. DE ING., UNAM, 1993)

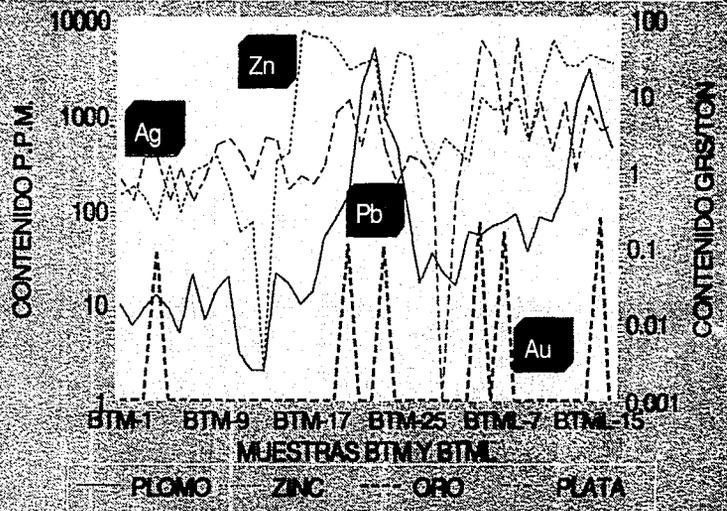
MUESTRA	Pb (P.P.M)	Zn (P.P.M)	Au (GRS/TON)	Ag (GRS/TON)
BTM-1	10	143	0.001	0.8
BTM-2	6	173	0.001	0.4
BTM-3	9	130	0.001	1.5
BTM-4	12	77	0.04	1.61
BTM-5	9	287	0.001	0.4
BTM-6	5	93	0.001	1.1
BTM-7	20	256	0.001	0.4
BTM-8	7	295	0.001	0.9
BTM-9	13	370	0.001	2.2
BTM-10	19	171	0.001	2.6
BTM-11	3	57	0.001	1.7
BTM-12	2	75	0.001	0.8
BTM-13	2	19	0.001	2.7
BTM-14	21	331	0.001	2.5
BTM-15	16	390	0.001	0.6
BTM-16	10	7600	0.001	0.9
BTM-17	13	6500	0.001	0.7
BTM-18	51	6500	0.001	1.2
BTM-19	79	4800	0.11	5.9
BTM-20	140	2810	0.001	8.29
BTM-21	1952	3370	0.001	2.1
BTM-22	5054	3800	0.1	10.9

TABLA 5: MUESTRAS DE NUCLEOS (BARRANCA TEHUEHUETLA)
(ORTEGA Y FIDELIA, TESIS PROFESIONAL, FAC. DE ING., UNAM, 1993)

MUESTRA	Pb (P.P.M.)	Zn (P.P.M.)	Au (GRS/TON)	Ag (GRS/TON)
BTM-23	890	830	0.001	2
BTM-24	435	4480	0.001	0.7
BTM-25	80	4080	0.001	1.8
BTM-26	16	590	0.001	1.4
MUESTRAS DE LODO (BARRANCA TEHUEHUETLA)				
BTML-1	13	295	0.001	0.8
BTML-2	21	570	0.001	0.001
BTML-3	13	410	0.001	0.6
BTML-4	58	318	0.001	4
BTML-5	53	1520	0.22	53.68
BTML-6	68	1120	0.001	28.9
BTML-7	74	1120	0.16	3.04
BTML-8	89	1458	0.001	56.1
BTML-9	34	520	0.001	2.6
BTML-10	82	2010	0.001	7.9
BTML-11	76	6000	0.001	1.8
BTML-12	133	3360	0.001	8
BTML-13	1230	3130	0.001	1
BTML-14	2895	4310	0.001	7.1
BTML-15	960	3800	0.25	3.33
BTML-16	442	3400	0.001	4
0.001 = NO DETECTADO. Au, Ag POR EL METODO DE COEFELACION. Pb, Zn POR EL METODO DE ABSORCION ATOMICA.				

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO

BARRENACION AREA CUERPO TENUEHUETLA



CONTENIDO Y FORMA DE LOS ELEMENTOS EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS

TABLE 6: MUESTRAS DE NUCLEOS (BARRANCA TEHUEHUETLA)
(ORTEGA Y PIEDAD, TESIS PROFESIONAL, FAC. DE ING., UNAM, 1993)

MUESTRA	Pb (P.P.M.)	Zn (P.P.M.)	Au (GRS/TON)	Ag (GRS/TON)
B2M-1	12	930	0.001	0.001
B2M-2	14	502	0.001	0.4
B2M-3	18	140	0.001	0.001
B2M-4	30	154	0.001	2.1
B2M-5	53	110	0.001	1
B2M-6	36	131	0.001	0.4
B2M-7	115	610	0.001	4.6
B2M-8	399	6000	0.001	1.8
B2M-9	106	1150	0.001	3.2
B2M-10	202	3170	0.4	3.9
B2M-11	521	5600	0.001	2.1
B2M-12	2411	3400	0.001	1.1
B2M-13	734	110	0.001	3.2
B2M-14	312	490	0.001	1.4
B2M-15	345	1010	0.001	2.5
B2M-16	69	740	0.001	1
B2M-17	75	223	0.001	3.2
B2M-18	59	201	0.001	4.8
B2M-19	91	209	1.22	0.58
B2M-20	95	136	0.95	1.05
B2M-21	73	77	0.59	0.51
B2M-23	40	54	0.001	0.6

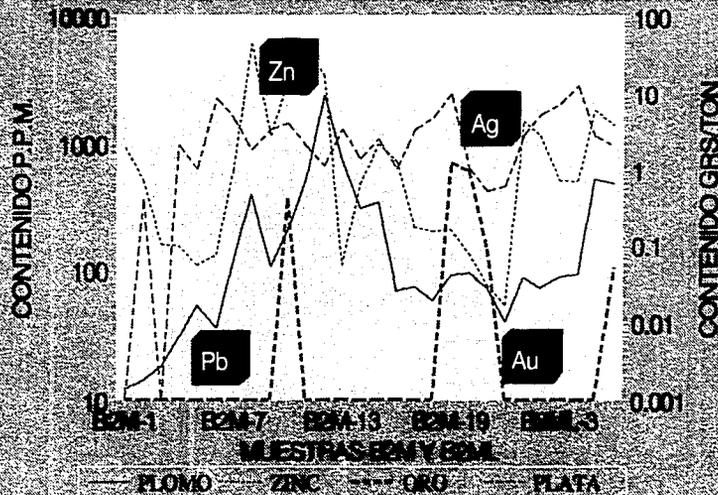
**TABLA 6: MUESTRAS DE LODO (BARRANCA TEHUEHUETLA)
(ORTEGA Y PIEDAD, TESIS PROFESIONAL, FAC. DE ING., UNAM, 1993)**

MUESTRA	Pb (P.P.M.)	Zn (P.P.M.)	Au (GRS/TON)	Ag (GRS/TON)
B2ML-1	87	1520	0.001	2.7
B2ML-2	72	1160	0.001	5.2
B2ML-3	88	510	0.001	6.9
B2ML-4	93	510	0.001	12.7
B2ML-5	526	1800	0.001	2.8
B2ML-6	489	1370	0.05	2.05

0.001 = NO DETECTADO.
Au, Ag POR EL METODO DE COPELACION.
Pb, Zn POR EL METODO DE ABSORCION ATOMICA.

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO

BARRENACION AREA CUERPO TEHUEHUETLA



INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS (INEC) - MÉXICO, D.F.

TABLA 7: MUESTRAS DE NUCLEOS (BARRANCA TEHUEHUETLA)
(ORTEGA Y PIEDAD, TESIS PROFESIONAL, FAC. DE ING., UNAM, 1993)

MUESTRA	Pb (P.P.M.)	ZN (P.P.M.)	Au (GRS/TON)	Ag (P.P.M.)
BM-1	3	41	0.001	1010
BM-2	7	54	0.001	1.5
BM-3	3	710	0.001	2.2
BM-4	5	206	0.001	0.8
BM-5	59	223	0.001	0.6
BM-6	136	129	0.001	2.3
BM-7	15	264	0.001	1.2
BM-8	12	172	0.001	1
BM-9	8	274	0.001	2.8
BM-10	22	2260	0.001	3.1
BM-11	8	211	0.001	1.2
BM-12	5	1810	0.001	1
BM-13	28	174	0.001	2.8
BM-14	29	296	0.001	3.1
BM-15	43	225	0.001	1.2
BM-16	203	1070	0.001	4.2
BM-17	148	7600	0.001	4

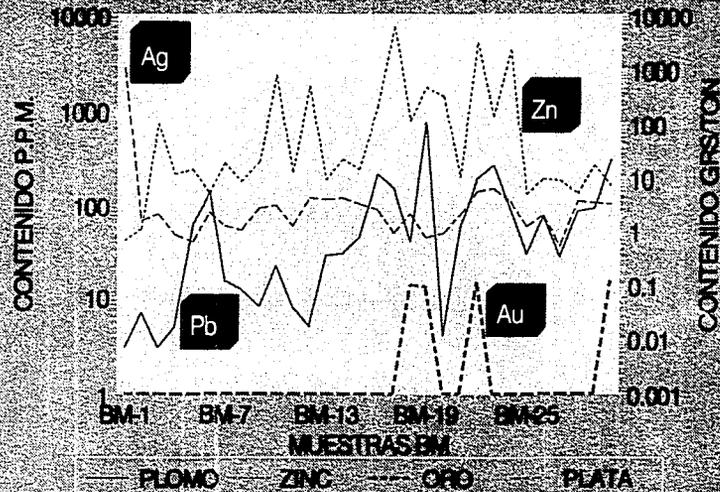
**TABLA 7: MUESTRAS DE NUCLEOS (BARRANCA TEHUEHUETLA)
(ORTEGA Y PIEDAD, TESIS PROFESIONAL, FAC. DE ING., UNAM, 1993)**

MUESTRA	Pb (P.P.M.)	Zn (P.P.M.)	Au (GRS/TON)	Ag (GRS/TON)
BM-18	39	760	0.1	2.1
BM-19	750	1740	0.09	0.71
BM-20	4	1380	0.001	0.9
BM-21	56	187	0.001	2
BM-22	181	5100	0.11	5.49
BM-23	253	860	0.001	6
BM-24	92	4190	0.001	3.6
BM-25	29	133	0.001	1.2
BM-26	75	181	0.001	2
BM-27	27	174	0.001	0.5
BM-28	86	130	0.001	3.7
BM-29	93	248	0.001	3.5
BM-30	290	154	0.13	3.17

0.001 = NO DETECTADO.
Au, Ag POR EL METODO DE COPELACION.
Pb, Zn POR EL METODO DE ABSORCION ATOMICA.

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO

BARRENACION AREA CUERPO TEHUACUETA



LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO, INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

De los resultados anteriores, según la clasificación más reciente que se ha hecho para los depósitos de sulfuros masivos vulcanogénicos (Lydon, 1990), el cuerpo Campo Seco se puede clasificar como un depósito vulcanogénico de tipo Zn-Pb-Cu, lo cual también es válido para el cuerpo Tehuehueta, sólo que éste, no presenta Cu. Ambos cuerpos, por su poco contenido de Cu (en especial el cuerpo Tehuehueta) y sus características litológicas, no pueden clasificarse como depósitos vulcanogénicos de tipo Zn-Cu.

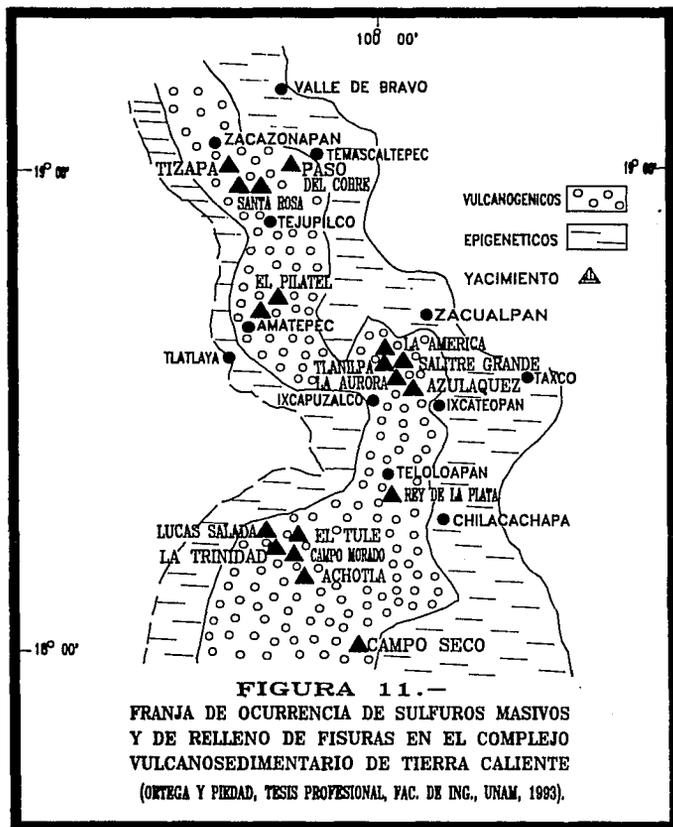
Por otra parte, si se revisa la bibliografía referente a los depósitos minerales mexicanos con el mismo origen (Figura 11), tales como Paso de Cobre, La Esmeralda, Santa Rosa, Tizapa, en el estado de México; Reforma, Arcelia, Rey de la Plata, La Suriana, Campo Morado, en el estado de Guerrero; Cuale, en el estado de Jalisco; La Minita, en el estado de Michoacán; San Ignacio, en el estado de Guanajuato; entre otros (Heredia y García Fons, 1989; Macías et al., 1991; Lorinzi y Miranda, 1978; Ortiz Hernández, 1992; Torres y Nuñez, 1984), se observa que todos son depósitos vulcanogénicos de tipo Zn-Pb-Cu con tonelaje apreciable, presentando entre sí muchas semejanzas (litológicas, mineralógicas y de alteración) con los depósitos típicamente descritos para este grupo (que casi siempre son de un ambiente con predominio volcánico o sedimentario de tipo proximal); sin embargo, se observa que existen depósitos minerales como El Pilatel, en el estado de México; La América, Azulaquez, Tlanilpa, en el estado de Guerrero, entre otros, que no muestran contenidos de Cu (descritos como de ambiente transicional), difíciles de clasificar en los grupos anteriormente señalados, siendo lentes relativamente pequeños con poca importancia económica. Estos últimos son muy semejantes a los depósitos de Campo Seco, Guerrero, sólo que éste muestra a veces altos contenido de Au y Ag, lo que hizo atractiva su exploración para tratar de aumentar el tonelaje. Por tanto, los cuerpos mineralizados presentes en el área Campo Seco, corresponden a depósitos distales, por no mostrar las características químicas propias de los yacimientos proximales, representando un ambiente de tipo transicional netamente evidenciado por la litología presente en la zona de estudio.

En las tablas de resultados de los análisis químicos de los cuerpos mineralizados del área de trabajo anteriormente listadas, nítidamente se muestra que el cuerpo Campo Seco, presenta una relación más alta de Cu/(Cu + Zn) que el cuerpo Tehuehueta, por ende, una relación más alta de Calcopirita/(Esfalerita + Galena), lo cual muestra que el cuerpo Campo Seco representa un nivel de mineralización inferior al cuerpo Tehuehueta, esto mismo se comprueba observando que éste último es más rico en Zn y Pb, que el cuerpo Campo Seco, lo cual ocurre en casi todos los típicos yacimientos vulcanogénicos descritos (Lydon, 1990), confirmando además su carácter distal. Esto favorece potencialmente al cuerpo Tehuehueta, ya que a profundidad se puede esperar encontrar un nivel de mineralización inferior semejante al representado por el cuerpo Campo Seco. En cuanto a éste, su potencial económico es mínimo, ya que al representar un nivel de mineralización profundo existen fuertes posibilidades de que cuerpos contemporáneos pero estratigráficamente más altos ya hayan sido erosionados.

Se recuerda que la precipitación del Au se da por cambios en potencial redox, descomposición de complejos debidos a cambios en el pH, sublimación, principalmente en los procesos volcánicos y diseminación en concentraciones de H_2S , S^{+2} , o Cl^- donde el Au es llevado como complejo de cloruros o sulfuros. Generalmente el contenido de Au en la calcopirita es de 20 ppm, en la pirita 560 ppm, en la esfalerita 500 ppm y en la tetraedrita 100 ppm, no habiéndose encontrado el dato para la galena (lo que químicamente es poco probable por el radio iónico del Au). Esto contradice al análisis hecho por microsonda a muestras de los cuerpos en estudio en el laboratorio del C.R.M., ya que es en la galena donde reportan la concentración del Au.

A pesar de que la presencia del Au en los yacimientos de sulfuros masivos vulcanosedimentarios aún no es explicada satisfactoriamente, se puede señalar para este caso que:

- 1) El Au en estos cuerpos se presenta en microinclusiones, ya que en el microscopio mineralógico no se pudo observar en ningún mineral (sobretodo en la pirita y la esfalerita).
- 2) Es recomendable hacer los análisis de Au por Activación de Neutrones (NAA) ya que los contaminantes como el Se, Fe, As, Zr, Mo, Sb, Ag, Hg, W, tierras raras, entre otros, no interfieren en el análisis, lo cual pudo suceder en estas muestras. Además este método detecta hasta ppb. Esto se debe a que el Au presenta una vida media relativamente larga (2.7 días), una adecuada radiación e intensidad de energía gamma, así como una sección transversal térmica grande (large thermal neutron cross-section) (98b) (Das et al, 1991; Ward, 1991).



En cuanto a la Plata (Ag) (Gasparrini, 1984), se observa que su comportamiento es muy semejante a otros yacimientos vulcanogénicos.

IV.4 MODELO DE MINERALIZACION.

IV.4.1 GENERALIDADES SOBRE EL ORIGEN DE LOS YACIMIENTOS DE SULFUROS MASIVOS VULCANOGENICOS.

Vistos desde el punto de vista económico, los sulfuros masivos vulcanogénicos (en muchos países como Japón y Canadá) son la mayor fuente de cobre, zinc, plomo, plata y oro, así como un rango de subproductos tales como el estaño, el bismuto, el cadmio, el antimonio, el selenio, entre otros (Gustafson y Williams, 1981; Sangster, 1972; Spence, 1975; Urabe y Sato, 1978; Payne et al., 1980; Lydon, 1990).

Los depósitos de sulfuros masivos vulcanogénicos son acumulaciones formadas en el piso marino, generalmente estratiformes síngenéticas a un episodio volcánico con fluidos hidrotermales que precipitan minerales pertenecientes a la clase química de los sulfuros. Estos ocurren en dominios geológicos caracterizados por rocas volcánicas submarinas, que pueden presentar asociación con rocas sedimentarias marinas.

Estos depósitos están compuestos de sulfuros de hierro, principalmente (hasta 55% de pirita), con cantidades subordinadas de esfalerita, galena y calcopirita y en mucho menor cantidad, sulfosales de Pb-Zn-Ag-Cu-Sb-As (tetraedrilita, tennantita), óxidos de Sn-Fe (casiterita, hematita, magnetita) y otros minerales como barita, anhídrida, bornita, cuarzo, clorita.

Este tipo de depósitos no están confinados a un solo ambiente tectónico, ni a un tipo petroquímico en particular de vulcanismo, ni mucho menos a un intervalo de tiempo geológico en especial.

Tampoco son esencialmente el producto del vulcanismo submarino, sino que son el resultado de condiciones especiales hidrologías, geotérmicas y topográficas del piso marino.

Típicamente, los depósitos económicos de esta clase, consisten en una serie de lentes o zonas de stockwork. Los grandes depósitos tienden a ocurrir en grupos que llegan a formar distritos de hasta aproximadamente 32 km de diámetro, tales como el distrito de Noranda, el de Matagami o el de Bathurst en Canadá.

La mejor clasificación de los sulfuros masivos vulcanogénicos se hace en dos grupos principales, llamados el tipo Cu-Zn y el tipo Zn-Pb-Cu, la cual refleja las asociaciones de los metales principales de mena.

Una de las características es que los depósitos tipo Cu-Zn se presentan donde la litología regionalmente dominante de las rocas encajonantes está representada por rocas volcánicas máficas o sus derivadas sedimentarias directas; en tanto, que los depósitos tipo Zn-Pb-Cu ocurren donde la sucesión regional de las rocas encajonantes esta compuesta predominantemente por rocas volcánicas félsicas o por rocas sedimentarias con la presencia de minerales arcillosos o minerales micáceos.

Sato (1977) postuló que una solución hidrotermal descargada en el fondo marino puede ser de alguno de los siguientes tipos, dependiendo de su temperatura inicial, densidad y grado de mezcla con el agua de mar, a saber:

a) **Tipo I:** Solución hidrotermal altamente salina cuya densidad es mucho mayor al del agua fría del mar en todos los grados de mezcla. Puede dar origen a depósitos de morfología tabular.

b) **Tipo II:** Solución que inicialmente es menos densa que el agua de mar, en algunas etapas del proceso de mezcla adquiere mayor densidad que el agua fría del mar. Puede dar lugar a depósitos de forma cónica, típico de los depósitos proximales.

c) **Tipo III:** Solución que es inicialmente menos densa que el agua fría del mar, la cual permanece así durante todas las períodos de mezcla. Esta puede dispersarse en forma de un "penacho" y formar una capa sedimentaria con una extensión lateral muy grande.

Existe un gran número de literatura acerca de los depósitos de sulfuros masivos, sin embargo, son muy pocos los dirigidos al problema del mecanismo de acumulación de los sulfuros. Antes del descubrimiento de los depósitos de sulfuros en la cordillera del Pacífico Este (Como la Cuenca de Guaymas en el Golfo de California) (Francheteau et al., 1979; Hekinian et al., 1980)²¹ los mecanismos por los cuales son depositados los sulfuros fueron frecuentemente visualizados como análogos a los sedimentos metalíferos de salmueras en el Mar Rojo (Miller et al., 1966)²²; Degens y Ross, (1969)²³, o basados en los modelos de Sato (1977) por medio del cual los sulfuros son precipitados de los fluidos hidrotermales después de la descarga de salida y acumulados como lodos altamente gelatinosos (Sangster, op. cit.).

En contraste, los estudios de los depósitos modernos enfatizan que los sulfuros en los depósitos proximales se acumulan como rígidos edificios. El depósito activo de sulfuros en el piso marino actual está confinado a salidas a altas temperaturas (200° C, o más comúnmente, 300° C). Los fluidos hidrotermales tienen salinidades dos veces mayor que la del agua de mar actual (3.2 wt.% NaCl) y como predijo Sato (op. cit.) en su modelo de solución Tipo III, forma "penachos" de descarga. En el Mar Rojo, con salinidades siete veces mayores que el agua marina promedio y con temperaturas que rebasan los 200° C, se tienen soluciones Tipo I (Schoell, 1976)²⁴. De las observaciones en el Pacífico Este y de datos de inclusiones fluidas (Delaney y Cosens, 1982; Stakes y Vanko, 1986)²⁵ se sugiere que los fluidos con salinidades bastante altas forman "penachos" invertidos semejantes a las de la solución Tipo II de Sato, que en efecto existe en la moderna corteza oceánica.

Los sulfuros del piso marino son químicamente muy inestables en el agua marina moderna y rápidamente se oxidan al cesar la actividad hidrotermal para formar depósitos ocreos dominados por óxidos de hierro hidratado (Hekinian et al., 1980; Haymon y Kastner, 1981; Alt et al., 1987)²⁶. A menos que los depósitos de sulfuros sean rápidamente cubiertos por un flujo volcánico, estos no se llegarán a preservar como sulfuros dentro de la columna estratigráfica. La acumulación de los sulfuros actuales en los modernos humaderos negros es un proceso extremadamente ineficiente. Se estima que más del 99% de metal llevado por el fluido hidrotermal es dispersado en la columna de agua a través de "penachos" de humaderos negros y eventualmente, llegan a incorporarse dentro de los sedimentos marinos distales (Boström, 1983; Rona, 1984)²⁷.

Existen similitudes fuertes entre los depósitos vulcanogénicos antiguos y la moderna deposición de sulfuros, aunque en los depósitos modernos es prerequisite el establecimiento de una "barrera porosa" (barrier porous) sobre la salida hidrotermal, la cual causa una descarga difusa de los fluidos hidrotermales, iniciando la acumulación de sulfuros. En este caso, se reconocen las propiedades de la anhidrita en las modernas chimeneas proximales de sulfuros, por lo que muchos autores sugieren que en los depósitos antiguos, la anhidrita también se presentó como iniciadora del proceso de acumulación de sulfuros, sólo que fue disuelta por digestión en los fluidos

21 Cit. por Lydon, 1994, op. cit.

22 Idem.

23 Idem.

24 Idem.

25 Idem.

26 Idem.

27 Idem.

de mena tardíos, o por adición al agua fría de mar sobre el piso marino, tal como sucede con los modernos depósitos marinos.

De las mismas observaciones, se establece para los depósitos antiguos vulcanogénicos proximales el siguiente modelo (Lydon, op.cit.):

- 1) Descarga enfocada de fluidos hidrotermales dentro de un conjunto de roca fragmentada (generalmente, una brecha generada por la explosión inicial del sistema hidrotermal formador del cuerpo mineral, o por la pre-existencia magmática, freática o de una brecha de talud).
- 2) Enfriamiento convectivo, advectivo o adiabático del fluido hidrotermal, fuera de la roca fragmentada, con la precipitación de sulfuros y otros minerales hidrotermales.
- 3) Debido a la precipitación hidrotermal existe una variación en las vías de salida, originando que el flujo hidrotermal sea más difuso, incrementándose así la precipitación de sulfuros.
- 4) Se renueva el episodio de fracturamiento, abriendo nuevas vías de salida formando nuevas chimeneas de sulfuros e incluso dispersando el material dentro de la columna de agua.
- 5) Repetición de las etapas 2 a 4. La forma del depósito es típicamente cónica con una máxima extensión lateral. Diferentes morfologías pueden ser esperadas en los depósitos transportados a causa de deslizamientos de masa o slumps, iniciadas por la inestabilidad gravitacional o la "sustentación hidráulica" (hydraulic lifting).

El origen hidrotermal de los fluidos puede explicarse basándose en tres modelos (Lydon, op. cit.):

a) **Modelo de la celda de convección:** La existencia de celdas de convección hidrotermales en la corteza oceánica actual está bien establecida. Matemáticamente se ha modelado empleando una variedad de técnicas y asumiendo reglas básicas (temperatura, salinidad, porosidad, etc.). Sin embargo, para que se formara un depósito grande de sulfuros masivos vulcanogénicos por descarga de las celdas de convección hidrotermales, los fluidos mineralizantes deberían de contener más de 100 ppm del metal total. Otra dificultad es que si la convección hidrotermal es parte integral de vulcanismo submarino, como lo evidencian las observaciones actuales en el piso oceánico y las predicciones basadas en modelos matemáticos, en todos los centros volcánicos submarinos deberían existir celdas de convección hidrotermal y por ende mineralización, lo cual no se cumple en la distribución de los sulfuros masivos vulcanogénicos.

b) **Modelo hidrotermal magmático:** Esto sugiere que los fluidos mineralizantes de los depósitos de sulfuros masivos vulcanogénicos son derivados de los volátiles de magmas. Actualmente este modelo aún no muestra bases sólidas. Los datos geoquímicos de Perfit y Fonari (1983)²⁸ y Perfit et al. (1983)²⁹, pueden interpretarse como el reflejo de pérdidas de grandes cantidades de sulfuros y metales base durante una alta etapa de H_2O dentro del fraccionamiento magmático.

c) **Modelo del "estrato-acuífero" (strata aquifer):** Aunque este modelo es más aplicable a la génesis de los depósitos de sulfuros exhalativos sedimentarios, que difieren en la litología con los sulfuros masivos vulcanogénicos, visualiza que los fluidos mineralizantes se originan como el agua de poro de una unidad de roca (el "acuífero") los cuales habían sido impedidos de migrar durante el sepultamiento y compactación por una barrera impermeable (el "cap-rock"). El progresivo sepultamiento causa calor en los fluidos del poro a través del gradiente geotérmico y un incremento en la presión del fluido en el poro arriba de la presión hidrostática, la cual puede exceder a la presión

28 Cit. por Lydon, 1996, op. cit.

29 Ídem.

litostática. El eventual fracturamiento mecánico o hidrático de la capa impermeable (quizá iniciado por eventos tectónicos), permite la liberación hacia arriba por una sobre-presión de los fluidos de poro a lo largo de las zonas de fractura. Una característica única de este modelo, es que permite la expulsión de grandes cantidades de fluido en un corto tiempo. Otra atracción de este modelo es su bajo requerimiento de energía, así como la mínima relación roca/agua del sistema acuífero, la cual maximiza la capacidad de la solución hidrotermal para lograr altas concentraciones de metal por el "livido" (leaching) de las rocas acuíferas. También el modelo es muy realista, en términos del volumen del acuífero que se requiere.

Sin embargo, la distribución de los sulfuros vulcanogénicos no puede ser explicado por ninguno de los modelos anteriormente señalados. La tendencia a que los sulfuros masivos vulcanogénicos ocurran en "racimos" o grupos, puede entenderse por el modelo de la celda de convección o el hidrotermal magmático, en los cuales los "racimos" representan la distribución anular de la descarga hidrotermal por encima de un plutón enfriado (Cathles, 1983)³⁰, pero también puede ser explicado por el modelo del acuífero, notando que la estratigrafía de muchos de los grupos de sulfuros masivos vulcanogénicos pueden ser interpretados en términos de una caldera resurgente (Ohmoto y Takahashi, 1983)³¹.

En cuanto a la generación de los fluidos mineralizantes, datos de isótopos de oxígeno e hidrógeno para minerales hidrotermales y para el agua de las inclusiones fluidas en minerales asociados a los depósitos de sulfuros masivos vulcanogénicos permiten interpretar que los fluidos hidrotermales fueron agua de mar con un posible contenido de componentes de agua magmática o metacórica. Es concenso casi general, que los fluidos hidrotermales que emanan de las modernas cordilleras submarinas divergentes son agua de mar que ha reaccionado con rocas basálticas a través de la circulación por la corteza oceánica, a partir de una celda de convección. Las elevadas salinidades de los fluidos mineralizantes generadas dentro de la corteza oceánica pueden ser explicados por varios procesos (Hidratación, aumento de presión y temperatura, así como disolución). Los valores de $\delta^{34}\text{S}$ de los complejos modernos de sulfuros varían en un rango de 1.5 a 4 partes por mil, y se interpretan como sulfuros derivados principalmente del sustrato basáltico, con un pequeño componente derivado de la reducción del agua marina (Lydon, op. cit.).

La más popular explicación para las relaciones de metal contenido en los depósitos de sulfuros masivos es que reflejan la composición de metales traza de las rocas fuente (depósitos de tipo Cu-Zn en rocas de composición máfica, depósitos de tipo Zn-Pb-Cu en rocas de composición félsica con sedimentos arcillosos) (Lydon, op. cit.).

De estudios químicos y evaluaciones termodinámicas, se puede llegar a la conclusión de que los fluidos mineralizantes que dieron origen a los depósitos antiguos de sulfuros masivos vulcanogénicos tipo Cu-Zn transportaban predominantemente a los metales en forma de complejos de bisulfuros y eran más alcalinos que los fluidos de los depósitos tipo Zn-Pb-Cu, donde los metales se transportaron principalmente por medio de complejos de cloruros (Lydon, op. cit.).

La diferencia en el tamaño entre los actuales y los antiguos depósitos de sulfuros masivos vulcanogénicos, sugiere que los fluidos formadores de los antiguos depósitos contenían mayores concentraciones de metales de mena que los fluidos que emanan actualmente de los modernos respiraderos. Esto también implica, que los antiguos fluidos mineralizantes eran mucho más salinos que los fluidos que se observan en el Pacífico Este, ya que estos últimos están cerrados a la saturación al menos con respecto a los sulfuros de Cu y Fe (Lydon, op. cit.).

30 Cit. por Lydon, 1990, op.cit.

31 Idem.

IV.4.2 GENESIS DE LA MINERALIZACION EN EL AREA CAMPO SECO, GUERRERO.

De la anterior discusión, para el área de trabajo, se considera la formación de los cuerpos minerales como resultado de la actividad de un arco de islas durante el Cretácico Inferior, el cual, muestra asociación a un mar marginal (Campa y Ramírez, 1979; Morán Zenteno, 1986).

De acuerdo con Campa y Ramírez (op. cit.), la presencia del arco insular propicio la actividad volcánica submarina, el cual es el medio ideal para el emplazamiento de sistemas de respiradores o humaderos negros.

Estos humaderos negros, expulsaron fluidos mineralizantes de composición calcoalcalina en forma de complejos de cloruros, los cuales provinieron de una cámara magmática previamente emplazada obedeciendo en gran medida al modelo hidrotermal magmático, el cual involucró a una celda de convección.

Con base en el anterior apartado, se puede suponer que el fluido mineralizante que dio origen a los sulfuros vulcanogénicos presentes en la localidad Campo Seco, debió tener una temperatura promedio de 380° C, una alta salinidad y una sobre-presión que fue la causante de la liberación de los mismos a través de las fracturas, además de tener un alto pH y fugasidades de oxígeno bajas, ya que de lo contrario, con un pH alcalino y fugasidades de oxígeno altas, se hubieran precipitado óxidos metálicos.

Con el cambio de presión, se tuvo un cambio de temperatura, que afectó la salinidad, reactividad y viscosidad de los fluidos y por ende su movilidad, estableciéndose así el sistema hidrotermal, debido a que los fluidos con bajas densidades y altas temperaturas migran hacia niveles superiores, lixiviando a su paso las rocas del fondo marino que se encuentra por encima de la cámara magmática, mientras que los fluidos más fríos y más densos fluyen hacia niveles inferiores a lo largo del perímetro del cuerpo magmático, reemplazando así a los fluidos más calientes y menos densos que fluyeron hacia niveles superiores (Proceso del modelo de la celda de convección). Los complejos de cloruros transportaban elementos tales como el Pb, Zn, con algo de Ag y Au, y con muy poco Cu.

El arco insular, durante su actividad llevada a cabo en "pulsaciones", migró hacia el este, provocando el depósito de yacimientos tales como el Rey de la Plata; para después migrar hacia el oeste y es en esta etapa, cuando se depositan los cuerpos presentes en área de Campo Seco, Guerrero. Esto está claramente evidenciado por las rocas calcoalcalinas de la zona y por los datos geoquímicos señalados anteriormente, así como los delgados paquetes de rocas volcánicas en comparación con otras zonas.

Una vez expulsados los fluidos por los humaderos negros, al entrar en contacto con el agua oceánica generaron el medio propicio para la proliferación de bacterias que disociaron los sulfatos disueltos en el agua marina y desecharon ácido sulfúrico, que al combinarse con los cloruros metálicos, los disoció y facilitó la precipitación de sulfuros metálicos en forma de coloides (como se puede ver en las relaciones texturales de las superficies pulidas).

El área de trabajo representaba una zona transicional entre el arco insular y el mar marginal, lo que está evidenciado por el grueso paquete de rocas metasedimentarias que se presenta. Así, los cuerpos minerales presentes en ella, son el resultado del depósito de soluciones acuosas submarinas (Guilbert y Park, 1986). Su textura de grano muy fino, evidencia que son cuerpos resultantes de una salmuera que viajó mucho debido a que fue expulsada con una muy alta temperatura y por consiguiente formó cuerpos de dimensiones no muy grandes y de forma ovoide en planta, tal como teóricamente, respondería el modelo de solución mineralizante Tipo III propuesta por Sato (1977), por lo que se trata de cuerpos de sulfuros masivos vulcanogénicos de carácter distal.

La presencia en los depósitos vulcanosedimentarios de rocas con un alto porcentaje de líticos de carácter no ígneo (como lo muestran algunas metatobas descritas para el área de trabajo) corrobora que los cuerpos corresponden a depósitos distales, como resultado de una transmisión lateral, a partir de la fuente de emanación a través del agua oceánica. Por otra parte, es claro que los cuerpos presentes en la zona no cumplen con las descripciones anteriormente señaladas para los cuerpos proximales.

Las características mineralógicas particulares de los cuerpos (Stanton, 1976), evidencian su posición estratigráfica diferente, siendo el cuerpo Campo Seco más reciente que el cuerpo Tehuchuetla (lo que se confirma con las

características litológicas y las relaciones estructurales de las rocas encajonantes), no obstante, el primero representa un depósito mineralizado más profundo.

Se puede deducir, tomando en cuenta el trabajo de Lydon (1990), que los cuerpos minerales presentes en el área de trabajo son de los más jóvenes en el sur de Guerrero, por su alto contenido de Zn-Pb y su bajo contenido de Cu.

Los cuerpos Campo Seco y Tehueta probablemente formaron parte de "racimos" o grupos de lentes independientes, que a partir de su formación sufrieron variados procesos como metamorfismo regional, intrusión del domo dacítico y gran deformación estructural. Así se puede pensar, debido al contenido de Cu presente en el cuerpo Campo Seco, que el grupo al que perteneció se encuentra erosionado, presentándose únicamente su parte basal. En cambio, el grupo al que pertenece el cuerpo Tehueta, puede encontrarse aún completo, esperándose un zonamiento de lentes con más alto contenido de Cu a profundidad, sin embargo, este grupo puede estar formado por lentes pequeños o tan dislocado que su explotación económica puede ser poco factible.

V.- ANALISIS ESTRUCTURAL

El análisis estructural que a continuación se presenta está basado en los datos obtenidos a partir de los levantamientos tanto a semidetalle como a detalle realizados en el área de estudio. Dicho análisis se realizó mediante el uso de la red estereográfica, con ayuda del programa de software SPLOT. Este programa permite la introducción de datos estructurales para su procesamiento -ya sea como planos o bien como líneas-, ubicando los polos correspondientes y configurando por medio de la red de Schmidt los polos estadísticamente importantes, permitiendo así la ubicación de los planos preferenciales que sirven como base para realizar una interpretación.

Durante el procesamiento de los datos se dividió la asignación en cuatro sectores: norte, sur, este y oeste, a partir de una división aproximada y arbitraria de la zona (Figura 12).

V.1 GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

En general, los rumbos de la foliación en la zona tienen una orientación NNE-SSW, con buzamientos tanto al oriente como al poniente.

En el sector norte se presenta una orientación preferencial de la foliación en dirección N-S, con buzamientos muy ténues de aproximadamente 5° hacia el poniente.

El sector sur presenta mayor complejidad estructural, ya que la foliación está orientada principalmente, por una parte en dirección N-S con buzamientos al oeste de aproximadamente 55° y por otra parte en dirección NE 8° SW con buzamientos al SE de alrededor de 56°.

Estadísticamente la dirección preferencial de los rumbos de la foliación en el sector este es NW 85° SE con buzamientos de 67° hacia el SW. Sin embargo, otras direcciones de importancia en dicho sector son las NE-SW entre los 12° y 17°, con buzamientos al SE de entre 34° y 57° y otros con dirección NE 16° SW buzando hacia el NW 70° aproximadamente.

Por otra parte, en el sector oeste los rumbos preferenciales están orientados sobretudo en dirección N-S con buzamientos ténues de 6° en dirección oeste, siendo en este sector donde la variación de las orientaciones de los rumbos es menor.

El análisis de 262 datos de rumbo y echado de la foliación indican que en el área Tehuehuella existe un predominio de los planos con rumbo NW 10° SE buzando 66° al NE. Por otra parte, el área Campo Seco, a partir del análisis realizado con la red estereográfica de 222 datos de foliación, presenta una dirección preferencial NE 8° SW con inclinaciones promedio de 65° al NW.

A partir de dichos resultados se propone la existencia de un anticlinal que corre con un rumbo aproximado NE 10° SW, afectado por una serie de fallas normales con la misma tendencia (paralelas a la foliación) que dislocan su eje hacia el oriente. Esto permite suponer que el área Tehuehuella se aloja en el flanco oriente de dicho anticlinal, en tanto que la barranca Campo Seco se localiza en el flanco poniente de la misma estructura. El eje de esta estructura no siempre es identificable en el campo, esto es debido a la complejidad que resulta del fallamiento normal en la localidad y en la porción norte de la zona al emplazamiento de una falla inversa que corre paralelamente al eje del anticlinal (NNE-SSW).

Dicho anticlinal es reconocible en la zona centro de la asignación a lo largo de la barranca El Gringo en la que existe, sobre la Unidad metavolcánica El Gringo (que representa la unidad más antigua aflorante en la localidad), un cambio en las direcciones de los echados que permite inferir el eje de dicha estructura. Por otra parte, dicho eje puede ser observado en un afloramiento al norte de la zona de estudio, fuera de la asignación.

El fallamiento normal que tiene en general el rumbo de la foliación y que corresponde al último evento de deformación regional que afectó la zona, se expresa en ambos flancos evidenciándose sobretudo en el flanco

poniente, en donde existe un escalonamiento que provoca la "Depresión del Ayotochi" con un desnivel aproximado de 500 metros.

V.2 FASES DE DEFORMACION.

La localidad Campo Seco presenta una deformación polifásica lo que se expresa en la complejidad estructural latente en la zona. Son identificables cinco fases de deformación que a continuación se explican.

La deformación en el lugar comienza a partir del desarrollo de la foliación de las rocas que se depositaron en el dominio de arco insular-mar marginal, constituidas principalmente por material volcánico (derrames y tobas) y sedimentos arcillosos (Figura 13a y 13b), desarrollándose un metamorfismo incipiente que afectó a toda la secuencia. Es en este momento en el cual se emplaza el domo dacítico (Unidad metagnea intrusiva Campo Seco) presente en el sitio de trabajo, el cual afecta la zona sur de la asignación y cuyo emplazamiento representa la etapa de madurez del arco magmático que propició la formación de la secuencia vulcanosedimentaria (Ortiz Hernández, 1992) (Figura 13c).

Sucesivamente mientras los esfuerzos compresivos afectaron la región, dicha foliación se plegó, formándose, dependiendo de la competencia de las distintas rocas, estructuras como pliegues de rodilla en las rocas más competentes. En dichos pliegues los planos axiales son paralelos a la foliación (Figura 13d). Muy probablemente esta fase de deformación es la responsable de la formación de micropliegues observables en la gran mayoría de las unidades presentes en la zona de estudio (Figura 13e).

Posteriormente se desarrolló una fase de deformación compresiva superpuesta a las anteriores que originó la formación de un gran anticlinal que atraviesa la asignación con una dirección preferencial NNE-SSW, así como, probablemente, el emplazamiento de fallas inversas como la que afecta a una parte de la barranca Campo Seco, la cual presenta poco desarrollo (Figura 13f). Asimismo, este evento podría ser el causante del microfallamiento de los pliegues observables en lámina delgada (Figura 13g).

A partir de este momento la localidad se vio afectada por una fase distensiva evidenciada por la formación de fallas de tipo normal y diaclasas, que se desarrollaron principalmente sobre los planos de foliación (Figura 13h) y que además son las responsables de la dislocación del eje del anticlinal que predomina en la zona.

En la actualidad la zona, como en general toda la Sierra Madre del Sur, se encuentra tectónicamente inestable, teniendo evidencia de algunas intrusiones riolíticas en forma de diques (Unidad intrusiva riolítica), las que se emplazaron a lo largo de fallas y fracturas preexistentes. Fuera de la asignación, hacia el norte de ésta, en las inmediaciones del poblado de Cacalotepec se presenta, además, el emplazamiento de un gran intrusivo.

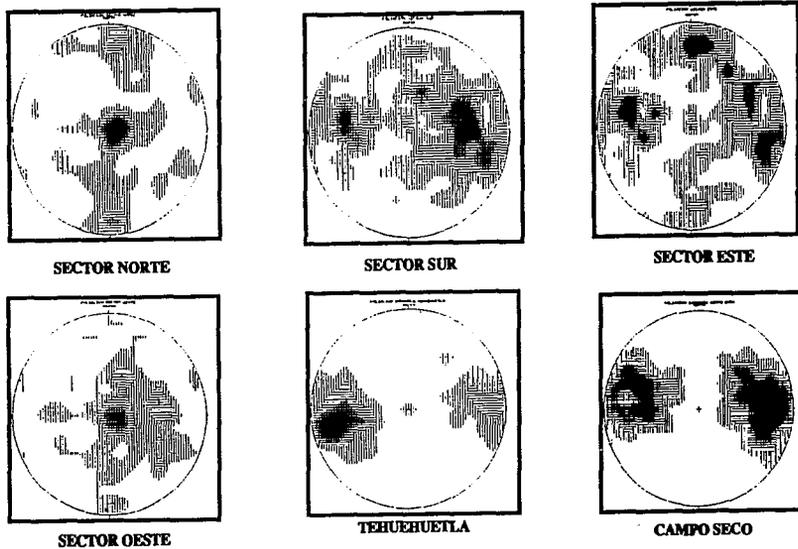
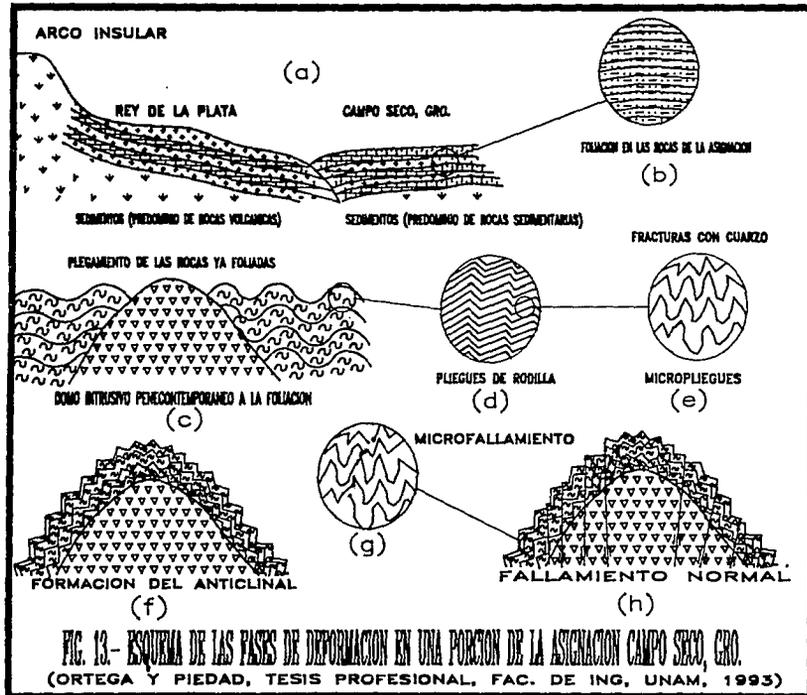


FIG. 12.- ESTEREOGRAMAS DE LOS DATOS DE FOLIACION DE LA ASIGNACION CAMPO SECO EN LA RED DE SCHMIDT. (ORTEGA Y PIEDAD, TESIS PROFESIONAL, FAC. DE ING., UNAM, 1993).



VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.1 CONCLUSIONES.

En la localidad Campo Seco aflora un paquete de rocas de origen vulcanosedimentario que presenta un metamorfismo regional de facies esquistos verde evidenciado por la presencia, en algunas rocas, de Sericita-clorita-epidota-micas blancas. En este paquete se pueden definir tres unidades principales con base en características litológicas, las que en orden cronológico son: Unidad metavolcánica El Gringo, Unidad metapelítica-volcánica Tehuehuella y Unidad metapelítica calcárea-volcánica Campo Seco.

En el área Tehuehuella se tiene la presencia de un afloramiento de sulfuros masivos vulcanogénicos, con un espesor de 4 a 8 metros y una longitud de 13 metros. Descansando sobre el contacto de rocas metavolcánicas y pizarras negras carbonosas, con un rumbo NW 5-10° SE e inclinación de 65-85° al oriente.

Por otra parte, el área Campo Seco presenta también un lente de sulfuros masivos vulcanogénicos concordante a la foliación de calcoesquistos, con un rumbo NE 5-10° SW e inclinación de 70-80° al poniente; un espesor de 0.80 a 2 metros y corrimiento lateral de 3 a 4 metros. A partir de este afloramiento, cincuenta metros barranca arriba se observan diseminaciones de sulfuros como pirita, galena y esfalerita.

La paragénesis del cuerpo Tehuehuella es: pirita-esfalerita-galena-freibergita. Por su parte el cuerpo Campo Seco presenta una paragénesis representada por pirita-esfalerita-galena-calcopirita-tetraedrita-freibergita-covelita-calcosita. Por lo que se puede concluir que la principal diferencia química entre ambos cuerpos es el mayor contenido de cobre en el cuerpo Campo Seco. Hecho que se corrobora con los resultados de los análisis químicos de los cuerpos mineralizados. Ambos cuerpos se clasificaron como tipo Zn-Pb-Cu, de acuerdo a la clasificación de Lydon (1990), tomando como base sus características químicas.

Las alteraciones que se identifican en la zona de estudio corresponden a silificación, oxidación, carbonatación, pirritización y sericitización, las cuales presentan patrones irregulares que no permiten considerarlas como guías importantes de mineralización.

Se identificó en el terreno, la existencia de al menos cinco fases de deformación, que se expresan en la complejidad estructural de la zona de estudio. A partir del análisis de los rasgos estructurales se propone la existencia de un anticlinal que atraviesa la asignación con un rumbo aproximado NNE-SSW, afectado por una serie de fallas normales con la misma tendencia que dislocan al eje del pliegue hacia el este. Esto permite pensar que el área de Tehuehuella se aloja en el flanco oriente de dicho anticlinal, con una tendencia de la foliación en dirección NW 10° SE con inclinaciones entre 65° y 85° al E; en tanto que la barranca Campo Seco se localiza en el flanco poniente de la misma estructura, siendo la dirección preferencial de la foliación NE 8° SW con inclinaciones promedio de 65° al NW. El eje de este anticlinal puede ser claramente identificable en la zona centro de la asignación sobre la barranca El Gringo.

Finalmente, por las características tanto estructurales como litológicas, de las rocas encajonantes de los lentes mineralizados, se propone que los horizontes favorables en las barrancas Tehuehuella y Campo Seco corresponden a dos niveles de mineralización diferentes alojados en dos unidades litotectónicas, la primera y la más antigua (por posición estructural) corresponde a las pizarras carbonosas del área Tehuehuella que se interstratifican con rocas metavolcánicas; el segundo paquete corresponde a los calcoesquistos aflorantes en la barranca Campo Seco en el cual la presencia de rocas metavolcánicas es muy escasa.

Los cuerpos Campo Seco y Tehuehuella probablemente formaron parte de "racimos" o grupos de lentes de carácter distal. Así se puede pensar, debido al contenido de cobre presente en el cuerpo Campo Seco, que el grupo al que perteneció se encuentra erosionado, presentándose únicamente la parte basal del mismo. En cambio, el grupo al que pertenece el cuerpo Tehuehuella puede encontrarse aún completo, esperándose un zoncamiento de lentes con más alto contenido de cobre a profundidad, sin embargo este grupo puede estar tan dislocado o bien formado por lentes tan pequeños que su explotación económica puede ser poco factible.

VI.2 RECOMENDACIONES.

La asignación Campo Seco representa un potencial geológico minero importante debido a la proximidad de yacimientos de sulfuros masivos vulcanogénicos con características similares y a la presencia de significativas gúfas de mineralización. Sin embargo, esta importancia puede verse disminuida por la complejidad estructural presente en la asignación.

El área Tehuehuella es la de mayor relevancia para su exploración debido a las dimensiones del cuerpo mineralizado que aflora en dicha barranca. En esta zona es posible que se encuentre un grupo o "racimo" de lentes de sulfuros masivos vulcanogénicos, en el que el cuerpo Tehuehuella represente por su contenido de Pb-Zn la parte superior de dicho grupo, pudiéndose encontrar debido al zonamiento característico de este tipo de yacimientos, otros lentes a profundidad en los que el contenido de cobre sea mayor. Cabe mencionar que durante la campaña de barrenación corta llevada a cabo por el C.R.M., se cortaron dentro de los 70 metros perforados varios lentes mineralizados cuyo contenido principal es la pirita con valores de Ag, Pb y Zn. Las exploraciones directas con barrenación en esta barranca, deben considerar el fallamiento normal que la afecta, buscando bloques estructurales relativamente estables en los que se involucre al horizonte favorable.

Por otra parte, debido a que el cuerpo localizado en la barranca Campo Seco corresponde a la parte basal de un grupo o "racimo" de lentes de sulfuros masivos vulcanogénicos, el cual se encuentra ya erosionado, su potencial económico se considera limitado. El fuerte fallamiento normal que afecta dicho lugar limita la posibilidad de barrenación, con el objetivo de explorar los niveles estratigráficamente superiores en los que se localizan los horizontes que fueron favorables para el emplazamiento del grupo de lentes del cual formó parte el cuerpo Campo Seco.

Una zona de gran interés prospectivo corresponde a la barranca El Gringo, localizada en la porción centro de la asignación. Este lugar presenta importantes gúfas de mineralización, por una parte la diseminación de sulfuros en dicha barranca proporciona una gúfa mineralógica de consideración, por otra, los múltiples horizontes favorables para el emplazamiento de lentes de sulfuros masivos vulcanogénicos, representados por los contactos entre las rocas metavolcánicas y las pizarras negras carbonosas constituyen una gúfa litológica de gran trascendencia para la exploración. Es importante notar que la mayoría de los yacimientos cercanos similares, se consideran alojados en un ambiente predominantemente volcánico (Heredía y García Fons, 1989). Así la Unidad metavolcánica El Gringo, constituida principalmente por rocas de ese origen representa un potencial importante.

Finalmente, una alternativa de exploración a nivel regional en la zona, es extender los trabajos principalmente hacia el poniente del área, con el objetivo de encontrar zonas estructuralmente más estables en las que se puedan identificar las unidades litoestratigráficas que se han definido en la localidad Campo Seco y así localizar los horizontes que se consideran favorables para la detección de cuerpos de sulfuros masivos vulcanogénicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Alvarez M. Jr.; 1961: Provincias fisiográficas de la República Mexicana. Bol. Soc. Geol. Mex., Vol. 24, No. 2, pp. 5-20.
- Atkinson B.K.; 1975: Experimental deformation of polycrystalline pyrite: effects of temperature, confining pressure, strain rate and porosity. Econ. Geol., Vol. 70, pp. 473-487.
- Ben-Avraham Z., Nur A., Jones D., Cox A.; 1981: Continental accretion: From oceanic plateaus to allochthonous terranes. Science, Vol. 213, No. 3, pp. 47-54.
- Brooker D.D., Craig J. R., Rimstidt J.D.; 1987: Ore metamorphism and pyrite porphyroblast development at the Cherokee Mine, Ducktown, Tennessee. Econ. Geol., Vol. 82, pp. 72-86.
- Campa U.M.F.; 1978: La evolución tectónica de Tierra Caliente, Guerrero. Bol. Soc. Geol. Mex., Vol. 39, No. 2, pp. 52-64.
- Campa U.M.F.; 1988: Regionalización tectónica y potencial petrolero de México. Rev. Ing. Petrolera, Asoc. Ing. Petrol. de Méx., Vol. 28, No. 6, pp. 28-37.
- Campa U.M.F., Campos M., Flores R., Oviedo R.; 1974: La secuencia mesozoica volcánico-sedimentaria metamorfozada de Ixtapan de la Sal, México - Tloloapan, Guerrero. Bol. Soc. Geol. Mex., Vol. 35, pp. 7-28.
- Campa U.M.F., Coney P. J.; 1983: Tectono stratigraphic terranes and mineral resource distribution in Mexico. Canada Journal of Earth Sciences, Vol. 20, pp. 1040-1045.
- Campa U.M.F., Flores R., Guerrero P., Limón M., Ramírez B.R., Ramírez J., Vazquez M.; 1977: La evolución tectónica y la mineralización de la región de Valle de Bravo, México e Iguala, Guerrero. A.I.M.M.G.M., Mem. Tec. XII, pp. 143-169.
- Campa U.M.F., Ramírez J.; 1979: La evolución geológica y la metalogénesis del Noroccidente de Guerrero. Serie Técnico-científica, Univ. Autónoma de Gro., 102 p.
- Campa U.M.F., Ramírez J., Blome D. Ch.; 1982: La secuencia volcánico sedimentaria metamorfozada del Triásico (Ladiano - Cárnico) de la región de Tumbiscatío, Michoacán. VI Conv. Geol. Nal., Resúmenes, Soc. Geol. Mex., pp. 28.
- Campa U.M.F., Ramírez E.J., Coney P.J.; 1981: Conjuntos estratotectónicos de la Sierra Madre del Sur, región comprendida entre los estados de Guerrero, Michoacán, México y Morelos. Serie técnico-científica, Univ. Autónoma de Gro., 101 p.
- Campa U.M.F., Ramírez J., Flores R., Coney P.; 1980: Terrenos tectonoestratigráficos de la Sierra Madre del Sur, región comprendida entre los estados de Guerrero, Michoacán, México y Morelos. V Conv. Geol. Nal., Resúmenes, Soc. Geol. Mex.
- Centeno Garfía E., Ruiz J., Coney P., Patchet J.P., Ortega Gutiérrez F.; 1992: El complejo metamórfico de Tumbiscatío - Arteaga, Michoacán: Una secuencia oceánica marginal accionada. XI Conv. Geol. Nal., Resúmenes, Soc. Geol. Mex., pp. 55-57.

- Coney P.; 1983: Un modelo tectónico de México y sus relaciones con América del Norte, América del Sur y el Caribe. Rev. Instituto Mexicano del Petróleo, Vol. 15, No. 1, pp. 6-15.
- Contreras-Barrera A.D., Gfo-Argáez R.; 1985: Consideraciones paleobiológicas de los icnofósiles de la Formación Chicotepec en el estado de Puebla. Rev. Inst. Geol., UNAM, Vol. 6, No. 1, pp. 73-85.
- Craig R.J., Vaughan D.J.; 1981: Ore microscopy and ore petrography. John Wiley and Sons, E.U.A., 406 p.
- De Cserna Z.; 1978: Notas sobre la geología de la región comprendida entre Iguala, Ciudad Altamirano y Temascaltepec, estados de Guerrero y México. Soc. Geol. Mex., Libro-guía, Excursión a Tierra Caliente, pp. 1-25.
- De Cserna Z., Palacios N.M., Pantoja A.J.; 1978: Relaciones de facies de las rocas cretácicas en el Noroeste de Guerrero y en áreas colindantes de México y Michoacán. Soc. Geol. Mex., Libro-guía, Excursión a Tierra Caliente, pp. 33-43.
- Das N.R., Baidya T.K., Chakraborty P.S., Bhattacharyya S.N.; 1991: Nuclear activation studies on the distribution of gold in some metasomatic zones of Jaburba-Belamu area in the District of Puralia, West Bengal, India. Nucl. Geophys., Vol. 5, No. 3, pp. 297-302.
- Dávila Alcocer V.M., Guerrero Súastegui M.; 1990: Una edad basada en radiolarios para la secuencia volcánicosedimentaria al oriente de Arcelia, Edo. de Guerrero. Conv. Geol. Nac., Resúmenes, Soc. Geol. Mex., pp. 83.
- Elías H.M.; 1989: Geología metamórfica del área de San Lucas del Maíz, estado de México. Inst. Geol., UNAM, Boletín 105, 79 p.
- Elías H.M., Lozano Santa Cruz R.; 1990: Evidencias de "décollement" en niveles inferiores del Complejo Metamórfico Tierra Caliente. Conv. Geol. Nac., Resúmenes, Soc. Geol. Mex., pp. 35-36.
- Elías H.M., Sánchez Z.J.L.; 1990 (1992): Tectonic implications of a mylonitic granite in the lower structural levels of the Tierra Caliente Complex (Guerrero terrane), southern Mexico. Rev. Inst. Geol., UNAM, Vol. 9, No. 2, pp. 113-125.
- Elías H.M., Sánchez Z.J.L.; 1992: Relaciones tectonoestratigráficas del Terreno Guerrero en la porción suroccidental del estado de México y su interpretación geodinámica. XI Conv. Geol. Nal., Resúmenes, Soc. Geol. Mex., pp. 70-71.
- Franklin J.M., Lydon J.W., Sangster D.F.; 1981: Volcanic-associated massive sulfide deposits. Econ. Geol., Vol. 75 Anniversary, pp. 485-627.
- Fries C. Jr.; 1960: Geología del estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México. Inst. Geol., UNAM, Boletín 60, 236 p.
- Fries C. Jr., Bohnenberger T.O., De Cserna Z.; 1957: Geología a lo largo de la carretera entre México, D.F. y Acapulco, Gro., vía Taxco y Chilpancingo. Cong. Geol. Internacional 20, Libro-guía de excursiones A9 y C12, 154 p.
- García-Fons J., Novelo L.F., Perez I.J.M.; 1981: Geología del yacimiento de sulfuros masivos El Rey de la Plata, Teloloapan, Guerrero. A.I.M.M.G.M., Mem. Tec. XIV, pp. 141-179.

- Gasparrini C.; 1984: The mineralogy of silver and its significances in metal extraction. CIM Bull., Vol. 77, No. 866, pp. 99-110.
- Govet G.J.S., Nichol I.; 1979: Litogeochemistry in Mineral Exploration. (in Geophysics and Geochemistry in the Search of Metallic Ores; Peter J. Hood, editor). Geol. Survey of Canadá, Econ. Geol. report 31, pp. 339-362.
- Guerrero S.M., Ramfrez E.J., Talavera M.O.; 1990: Estudio estratigráfico del Arco Volcánico del Cretácico Inferior de Teloioapan, Guerrero. X Conv. Geol. Mex., Soc. Geol. Mex., (Resúmenes).
- Guerrero S.M., Ramfrez E.J., Talavera M.O., Campa U.M.F.; 1991: El desarrollo carbonatado del Cretácico Inferior asociado al arco de Teloioapan, Noroccidente del estado de Guerrero. Mem. Conv. sobre la Evolución Geológica de México, Inst. Geol., UNAM, pp. 67-70.
- Guilbert J.M., Park C.F.Jr.; 1986: The geology of ore deposits. W.H. Freeman, E.U.A., 985 p.
- Gustafson L.B., Williams N.; 1981: Sediment-hosted stratiform deposits of copper, lead and zinc. Econ. Geol., Vol. 75 Anniversary, pp. 139-178.
- Heredia-Barragán M.A., García-Fons J.; 1989: Distribución de yacimientos vulcanogénicos en la provincia norte de Guerrero-suroccidente del estado de México. A.I.M.M.G.M., Mem. Tec. XVII, pp. 80-99.
- Hutchinson R.W.; 1973: Volcanogenic sulfide deposits and their metallogenic significance. Econ. Geol., Vol. 68, No. 8, pp. 1233-1246.
- Large R.R.; 1977: Chemical evolution and zonation of massive deposits in volcanic terrains. Econ. Geol., Vol. 72, pp. 549-572.
- Lorinczi G.I., Miranda V.J.C.; 1978: Geology of the massive sulfide deposits of Campo Morado, Guerrero, Mexico. Econ. Geol., vol. 73, pp. 180-191.
- Lugo-Hubp J.I.; 1988: Elementos de geomorfología aplicada (Métodos cartográficos). Instituto de Geografía, UNAM, México, 128 p.
- Lugo-Hubp J.I.; 1990: El relieve de la República Mexicana. Rev. Inst. Geol., UNAM, Vol. 9, No. 1, pp. 82-111.
- Lydon J.W.; 1990: Volcanogenic massive sulphide deposits. Part 1: A descriptive model. (in Ore Deposits Models, edited by Roberts R.G. and Sheahan P.A.). Geoscience Canada, Reprint Series 3, pp. 145-153.
- Lydon J.W.; 1990: Volcanogenic massive sulphide deposits. Part 2: Genetic models. (in Ore Deposits Models, edited by Roberts R.G. and Sheahan P.A.). Geoscience Canada, Reprint Series 3, pp. 155-181.
- Macías R.C., Gómez C.J.A., Martiny B.; 1991: Origen vulcanosedimentario del depósito San Ignacio, Sierra de Guanajuato. Mem. Conv. sobre la Evolución Geológica de México, Inst. Geol., UNAM, pp. 91-92.
- Mauvois; 1977: Cabalgamiento miocénico (?) en la parte centromeridional de México. Rev. Inst. de Geol., UNAM, Vol. 1, pp. 48-63.
- Monod O., Fouré M.; 1991: La tectónica Iaramídica del Sudoeste de México: Cierre de una cuenca intra-arco (Arcelia) abierta en el Albiano-Cenomaniano en el Arco Continental Teloioapan-Zihuatanejo, estado de Guerrero. Mem. Conv. sobre la Evolución Geológica de México, Inst. Geol., UNAM, pp. 117-118.

- Morán Z.D.J.; 1984: Geología de la República Mexicana. INEGI-Fac. de Ing. (UNAM), 88 p.
- Morán Z.D.J.; 1986: Breve revisión sobre la evolución tectónica de México. Geof. Int., Vol. 25, No. 1, pp. 9-38.
- Ordoñez E.; 1936: Principal physiographic provinces of México. AAPG Bull., Vol. 20, No. 10, pp. 1277-1307.
- Ortega G. F.; 1981: Metamorphic belts of southern Mexico and their tectonic significance. Geof. Int., Vol. 20, No. 3, pp. 177-202.
- Ortiz Hernández L.E.; 1992: Significado metalogénico de los domos dacíticos-riolíticos de los estados de Jalisco, Michoacán, Guerrero y México. El Explorador, Bol. C.R.M., Año 3, No. 10, pp. 8-9.
- Ortiz Hernández L.E., Chioldi M., Lapierre H., Monod O., Calvet P.; 1990 (1992): El arco intraoceánico alóctono (Cretácico Inferior) de Guanajuato - características petrográficas, geoquímicas, estructurales e isotópicas del complejo filoniano y de las lavas basálticas asociadas; implicaciones geodinámicas. Rev. Inst. Geol., UNAM, Vol. 9, No. 2, pp. 126-145.
- Ortiz Hernández L.E., Lapierre H.; 1991: Field petrological and geochemical evidence for the intraoceanic environment of the Upper Jurassic-Early Cretaceous Palmar Chico-Arcelia Arc Sequence, Southern, México. Mem. Conv. sobre la Evolución Geológica de México, Inst. Geol., UNAM, pp. 144-146.
- Ortiz Hernández L.E., Lapierre H.; 1991: Un contexto de Arco Magmático asociado al desarrollo de estratovolcanes submarinos para el origen de los sulfuros masivos estratiformes polimetálicos (Pb, Zn, Cu, Ag y Au) de la región de Tierra Caliente, Guerrero. A.I.M.M.G.M., Mem. Téc. XIX, pp. 270-296.
- Ortiz Hernández L.E., Lapierre H., Yta M.; 1991: Late Jurassic-Early Cretaceous tholeiitic and calc-alkaline arc series in Mexico; implications for the magmatic evolution of the Mexican Cordillera. Mem. Conv. sobre la Evolución Geológica de México, Inst. Geol., UNAM, pp. 147-149.
- Pantoja Alor J.; 1959: Estudio geológico de reconocimiento de la región de Huétamo, estado de Michoacán. Consejo de Recursos Naturales No Renovables, Bol. 50, 36 p.
- Payne J.G., Bratt J.A., Stone B.G.; 1980: Deformed mesozoic Volcanogenic Cu-Zn Sulfide Deposits in the Britannia District British Columbia. Econ. Geol., Vol. 75, No. 5, pp. 700-721.
- Raisz E.; 1959: Landforms of Mexico. Cambridge, Mass., Edición privada, Mapa con texto, Esc. 1:4 000 000.
- Ramdohr P.; 1980: The ore minerals and their intergrowths. Tomos I y II, 2a. edición, Pergamon Press, International Series in Earth Sciences, E.U.A., Vol. 35.
- Ramírez E.J., Campa U.M.F., Talavera M.O., Guerrero S.M.; 1991: Caracterización de los arcos insulares de la Sierra Madre del Sur y sus implicaciones tectónicas. Mem. Conv. sobre la Evolución Geológica de México, Inst. Geol., UNAM, pp. 163-166.
- Rzedowsky J.; 1986: Vegetación de México. 3a. edición, Limusa, México.
- Rubínovich-Kogan R.; 1989: Mineralogía y paragénesis del depósito de sulfuros vulcanogénicos La Esmeralda, estado de México. Bol. Mineralogía, Asoc. Mex. de Mineralogía, Vol. 4, No. 1, pp. 32-54.

- Ruiz J., Centeno G.E., Coney P., Patchett P.J., Ortega G.F.; 1991: El Terreno Guerrero y su posible correlación con el basamento de la región del Caribe. Mem. Conv. sobre la Evolución Geológica de México, Inst. Geol., UNAM, pp. 192-193.
- Sánchez Zavala J. L., Elfás Herrera M.; 1991: Metamorfismo de facies prehnita-pumpellyita en las rocas volcánicas cretácicas de arco de islas de la porción sudoccidental del estado de México. Mem. Conv. sobre la Evolución Geológica de México, Inst. Geol., UNAM, pp. 201-203.
- Sangster D.F.; 1972: Precambrian volcanogenic massive sulphide deposits in Canada: A review Canada. Geol. Survey, Paper 72-22, 43p.
- Spence C.D.S.; 1975: Volcanogenic features of the Vauze sulfide deposits, Noranda, Quebec. Econ. Geol., Vol. 70, No. , pp. 102-114.
- Stanton R.L.; 1972: Ore Petrology. International Series in the Earth and Planetary Sciences, McGraw-Hill, E.U.A. 713 p.
- Takeo Sato; 1977: Los sulfuros masivos volcanogénicos, su metalogenia y clasificación. Univ. de Sonora, Publicación 1.
- Tardy M.; Lapiere H., Boudier J.L., Yta M., Coulon C.; 1991: The Late Jurassic-Early Cretaceous Arc of Western Mexico (Guerrero Terrane): origin and geodynamic evolution. Mem. Conv. sobre la Evolución Geológica de México, Inst. Geol., UNAM, pp. 213-215.
- Torres Rodríguez V., Nuñez M.A.; 1984: Análisis metalogénico regional de la porción suroccidental de la República Mexicana. Tesis Profesional, Fac. Ingeniería, UNAM, México, 171 p.
- Urabe T., Sato T.; 1978: Kuroko deposits of the Kosaka Mine, Northeast Honshu, Japan, products of submarine Hot Spring on Miocene Sea Floor. Econ. Geol., Vol. 73, No. 2, pp. 161-179.
- Urrutia F.J.; 1981: Palcomagnetism and tectonics of Middle America and adjacent regions, Part 1. Geof. Int., Vol. 20, No. 3, pp. 139-270.
- Vidal S.R.; 1991: Estratigrafía del Terreno Teloloapan en su límite Ixcateopan-Ixtapan de la Sal, estados de Guerrero y México, respectivamente: implicaciones tectónicas. Mem. Conv. sobre la Evolución Geológica de México, Inst. Geol., UNAM, pp. 230-231.
- Vidal S.R., Buitrón S.B.E., Alencáster Y.G.; 1991: Estratigrafía del área de Ixcateopan, estado de Guerrero: implicaciones en la evolución tectónica de la región. Mem. Conv. sobre la Evolución Geológica de México, Inst. Geol., UNAM, pp. 234.
- Ward C.B.; 1991: Assay of gold ores by Neutron Activation. Nucl. Geophys., Vol. 5, No. 3, pp. 291-296.

APENDICE I

**FOTOGRAFIAS DE LA ASIGNACION CAMPO SECO,
MUNICIPIO DE APAXTLA,
ESTADO DE GUERRERO**



Foto 1.- Panorámica de una porción de la asignación Campo Seco, Mpio. de Apaxtla, Gro.



Foto 2.- Ichnofósiles en la barranca La Papaya (Asignación Campo Seco, Gro.)



Foto 3.- Rocas metavolcánicas plegadas mostrando el eje del Anticlinal, en la barranca El Gringo (Asignación Campo Seco, Gro.).



Foto 4.- Afloramiento de pizarras negras en la barranca Tehuahuella que presentan pliegues de rodilla (Asignación Campo Seco, Gro.)

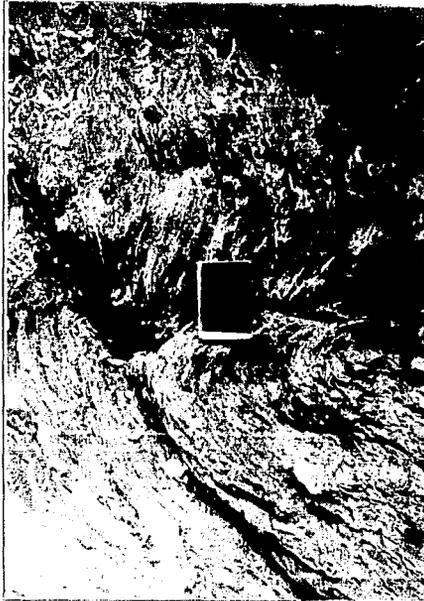


Foto 5.- Calcosquistos negros afectados por el Intemperismo en la barranca Campo Seco (Asignación Campo Seco, Gro.).



Foto 6.- Metatraquita en la barranca Campo Seco (Asignación Campo Seco, Gro.).

Foto 7.- Calcoesquistos follados y fracturados en la barranca Campo Seco (Asignación Campo Seco, Gro.).



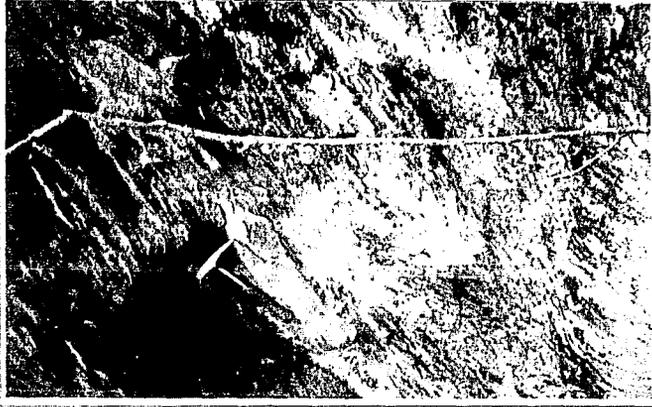


Foto 8.- Calcosquias plegados con intercalación de un lente de metasedita en la barranca Campo Seco (Asignación Campo Seco, Gro.).



Foto 9.- Domo metadacítico en la asignación Campo Seco, Gro.).

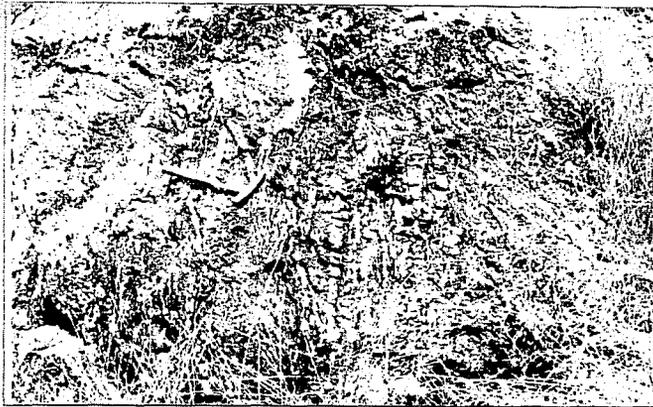


Foto 10.- Foliación y fracturamiento del domo metadiorítico (Asignación Campo Seco, Gro.).

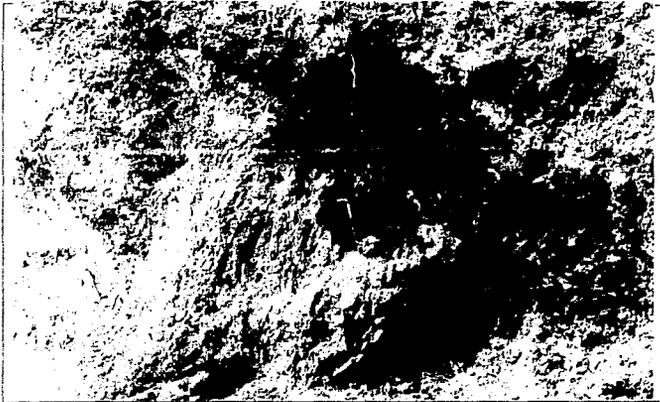


Foto 11.- Aforamiento del cuerpo Campo Seco en la barranca del mismo nombre (Asignación Campo Seco, Gro.).

TESIS NO DEBE
SER DE LA BIBLIOTECA

Foto 12.- Afloramiento del cuerpo Tehuehuetla, en la barranca del mismo nombre (Asignación Campo Seco, Gro.).



APENDICE II

FOTOGRAFIAS PETROGRAFICAS

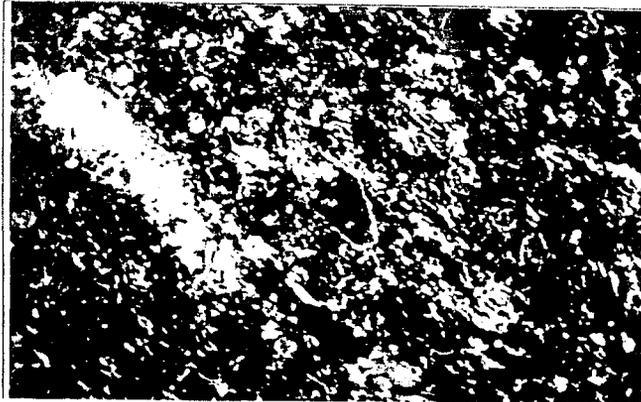


Foto 1.- Metatragulandesita de la barranca El Gringo con epidota y zefena en primer plano (Lámina delgada GR-19).



Foto 2.- Pizarra de la barranca El Gringo con microplegues perpendiculares a la foliación (Lámina delgada GR-30).

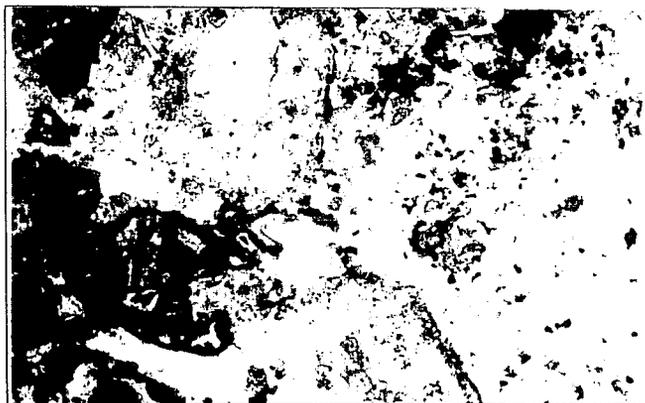


Foto 3.- Metasedita de la barranca El Gringo con anfíboles y micas alteradas (Lámina delgada GR-40).

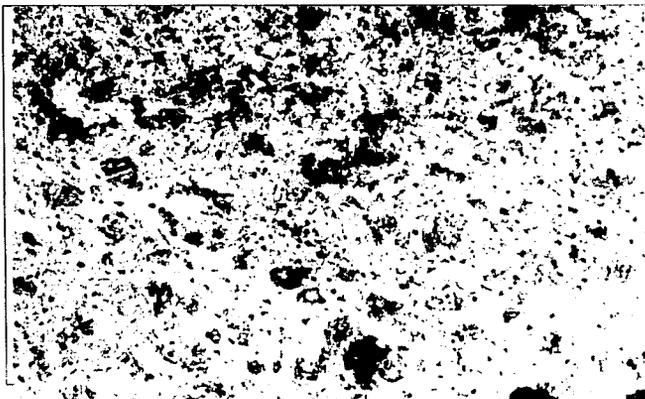


Foto 4.- Metasedita de la barranca El Gringo con apatitos y microclitos (Lámina delgada GR-11).

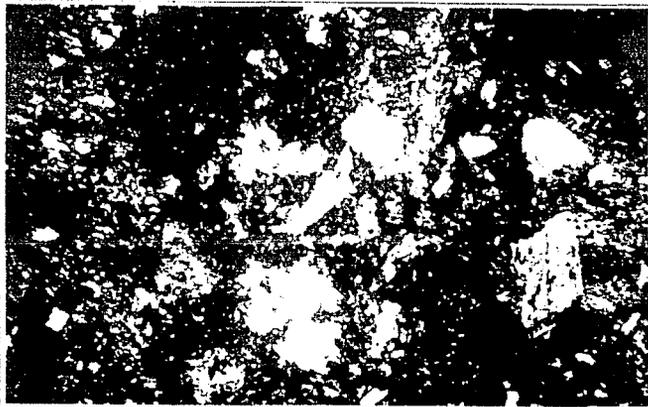


Foto 5.- Metatragandesita de la barranca Tehuahuella con microlitos alterados (Lámina delgada TH-24).



Foto 6.- Pizarra de la barranca Tehuahuella con microplics (Lámina delgada TH-36).

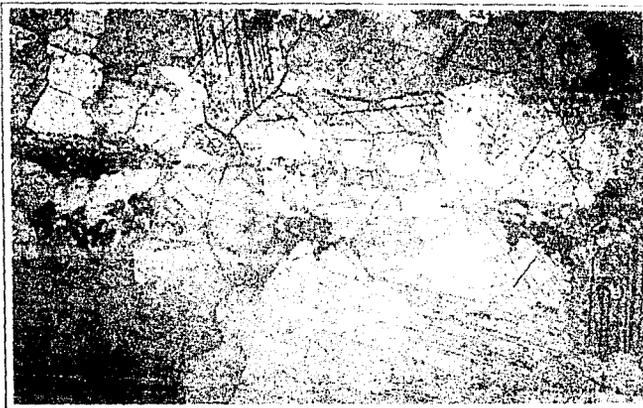


Foto 7.- Calcioesquistos de la barranca Campo Seco con dos períodos de deformación y calcita con sombras de presión (Lámina delgada CS-12).

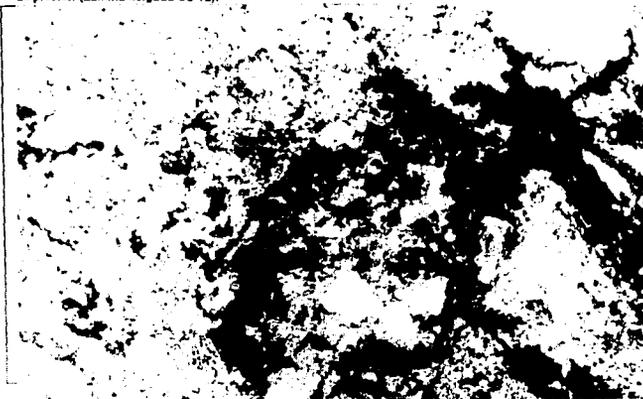


Foto 8.- Metatoba andesítica de la barranca Campo Seco con piroxenos alterados (Lámina delgada AY-2).

APENDICE III

DESCRIPCIONES PETROGRAFICAS

Muestra: NY-2	Localización: Barreros El Ayotachi.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris oscuro al fresco, pardo al intemperismo.		
Textura	Porfídica.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica, microlítica.		
Mineralogía	Plagioclasas.	Frag. de roca. Orto y clinopiroxenos, mín. opacos, calcita.	Hematita+goethita-limonita.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Metatoba andesítica.		
Observaciones	La calcita se presenta en parches. Vetillas con calcita y cuarzo.		
Muestra: NY-3.	Localización: B. El Ayotachi.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris oscuro al fresco, pardo al intemperismo.		
Textura	Piroclástica relicta.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Microcristalina.		
Mineralogía	Frag. de roca.	Cuarzo, mica blancas, fantasmas de piroxenos, calcita, mín. opacos.	Hematita, mín. arcillosos+goethita-limonita.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Metatoba subaturada, arquilitizada y carbonatada.		
Observaciones	Los mín. tabulares son reemplazados por mín. arcillosos, la calcita reemplazando y rodeando a frag. de roca. Vetillas con calcita y cuarzo.		
Muestra: NY-9.	Localización: B. El Ayotachi.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Rojo al fresco y al intemperismo.		
Textura	Brechoide, pobremente clasificada.		
Alteración	Muy oxidada.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Constituyentes	Frag. de roca, cuarzo, plagioclasas.	Mín. opacos.	Hematita, actínita, clorita.
Clasificación	Brecha piroclástica (Folk, 1965).		
Observaciones	Se observan "shards" de vidrio. Hematita como cementante.		

Muestra: CB-1.	Localización: B. Campo Saco.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris oscuro al fresco y al intemperismo.		
Textura	Foliada.		
Mineralogía	Pirita, malaquita, calcopirita.		
Alteración	Oxidación y silicificación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Lapidoblástica.		
Mineralogía	Sericita, mín. opacos (pirita, galena).	Clorita, plagioclasas, cuarzo.	Goethita-limonita.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Pizarra.		
Observaciones	Mín. opacos en escamas, se observa alto contenido de mat. terrígeno.		
Muestra: CB-4.	Localización: B. Campo Saco.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris oscuro al fresco y al intemperismo.		
Textura	Brechoide, pobremente clasificada.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Constituyentes	Frag. de roca, cuarzo, plagioclasas.	Calcita, sericita.	Goethita-limonita, hematita.
Clasificación	Brecha piroclástica.		
Observaciones	Cuarzo con extinción ondulante en frag. de roca, rellenando vetillas y como cementante; calcita en parches, fantasmas de feldspatos diseminados en la matriz; Vetillas de calcita y cuarzo.		
Muestra: CB-7.	Localización: B. Campo Saco.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris oscuro al fresco y al intemperismo.		
Textura	Piroclástica relicta, foliada.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Piroclástica relicta.		
Mineralogía	Cuarzo.	Mín. silíceos criptocristalinos (como matriz).	Clorita, sericita, goethita-limonita, hematita.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Metatoba subaturada.		
Observaciones	Presenta vetillas de cuarzo con "box work" de pirita, la hematita está rellenando fracturas.		

Muestra: CB-12.		Localización: B. Campo Seco.		
DESCRIPCIÓN		MACROSCÓPICA		
Color	Gris claro al fresco, gris rojizo al intemperismo.			
Textura	Pobremente foliada.			
Alteración	Oxidación.			
DESCRIPCIÓN		MICROSCÓPICA		
Textura	Lepidoblástica.			
Mineralogía	Calcita, min. síliceos.	Cuarzo terrígeno.	Coschita-limonita, hematita.	
Composición química y facies	Féltica-calcárea, facies de esquistos verde.			
Clasificación	Calcosquistos.			
Observaciones	Calcita constituyendo 60% de la muestra. Se observan 2 periodos de deformación. Sombras de presión en la calcita. Plegamiento en los minerales síliceos. Vetillas con cuarzo.			
Muestra: CB-13.		Localización: B. Campo Seco.		
DESCRIPCIÓN		MACROSCÓPICA		
Color	Gris claro al fresco y al intemperismo.			
Textura	Volcánica, pobremente foliada.			
Alteración	Oxidación.			
DESCRIPCIÓN		MICROSCÓPICA		
Textura	Volcánica relicta, microlítica.			
Mineralogía	Fantasmas de plagioclasas, cuarzo.	Calcita, min. opacos.	Sericita, clorita, coschita-limonita, hematita.	
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.			
Clasificación	Metasaita.			
Observaciones	Calcita en parches y rellenando fracturas. Matriz de intercrecimiento de plagioclasas con opacos intersticiales. Parches de hematita. Vetillas de cuarzo.			
Muestra: CB-15.		Localización: B. Campo Seco.		
DESCRIPCIÓN		MACROSCÓPICA		
Color	Gris claro al fresco, rojizo al intemperismo.			
Textura	Brechoids, pobremente clasificada.			
Alteración	Oxidación.			
DESCRIPCIÓN		MICROSCÓPICA		
Constituyentes	Frag. de roca, cuarzo, plagioclasas.	Min. opacos, hematita, calcita.	Coschita-limonita+min. arcillosos.	
Clasificación	Brecha piroclástica (Volk, 1965).			
Observaciones	Hematita reemplazando minerales, calcita cementando, min. arcillosos como matriz.			

Muestra CS-16.		Localización: B. Campo Base.		
DESCRIPCIÓN	MACROSCÓPICA			
Color	Gris oscuro al fresco y al intemperismo.			
Textura	Volcánica relicta.			
Alteración	Oxidación.			
DESCRIPCIÓN	MICROSCÓPICA			
Textura	Porfídica, microlítica.			
Mineralogía	Fantasma de plagioclasas, cuarzo.	Fantasma de ferrosaspidinos, min. opacos, calcita.	Goshita-limonita, hesatita.	
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.			
Clasificación	Metadacita.			
Observaciones	Calcita en parches, hesatita reemplazando a cristales y en los bordes de los mismos.			
Muestra CS-17.		Localización: B. Campo Base.		
DESCRIPCIÓN	MACROSCÓPICA			
Color	Gris oscuro al fresco y al intemperismo.			
Textura	Porfídica.			
Alteración	Oxidación.			
DESCRIPCIÓN	MICROSCÓPICA			
Textura	Porfídica, microlítica.			
Mineralogía	Plagioclasas, cuarzo.	Min. opacos.	Sericita, goshita-limonita, hesatita.	
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.			
Clasificación	Metadacita.			
Observaciones	Vetillas con cuarzo y pirita.			
Muestra CS-1.		Localización: Cerro al balneario norte.		
DESCRIPCIÓN	MACROSCÓPICA			
Color	Gris claro al fresco, rojizo al intemperismo.			
Textura	Foliación débil.			
Mineralogía	Sulfatos de cobre.			
Alteración	Oxidación.			
DESCRIPCIÓN	MICROSCÓPICA			
Textura	Lepidoblástica.			
Mineralogía	Sericita, clorita, cuarzo.	Calcita, min. opacos.	Goshita-limonita, hesatita.	
Composición química y facies	Pelitica-calcárea, facies de esquistos verde.			
Clasificación	Pizarra calcárea.			
Observaciones	Calcita en parches y fracturas sin disposición preferencial.			

Muestra: CS-3.	Localización: Cerro del Malipuerto norte.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris claro al fresco, pardo rojizo al intemperado.		
Textura	Foliación débil.		
Mineralogía	Sulfatos de cobre.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Lepidoblástica.		
Mineralogía	Sericita, clorita, cuarzo.	Nicas criptocristalín as. Min. opacos.	Goethita-limonita, hematita.
Composición química y facies	Pelítica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Pizarra.		
Observaciones	La goethita-limonita se presenta en parches. Vestigios con calcita y a veces cuarzo.		
Muestra: CS-4.	Localización: Malipuerto norte.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris claro al fresco y al intemperado.		
Textura	Pobremente foliada.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Lepidoblástica.		
Mineralogía	Calcita, cuarzo, sericita.	Min. opacos.	Hematita, goethita-limonita.
Composición química y facies	Pelítica-calcárea, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Calcoesquisto.		
Observaciones	Calcita en un 50% en la muestra, tanto en forma de parches como rellenando fracturas y en la matriz.		
Muestra: G-1.	Localización: B. El Quemado.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris claro al fresco y al intemperado.		
Textura	Pobremente foliada.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Lepidoblástica.		
Mineralogía	Calcita.	Cuarzo, sericita, clorita.	Goethita-limonita+ min. arcillosos.
Composición química y facies	Pelítica-calcárea, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Calcoesquisto.		
Observaciones	Cuarzo con extinción ondulante, calcita en parches y vestigios.		

Muestra: G-3.		Localización: S. El Guadachil.		
DESCRIPCIÓN	MACROSCÓPICA			
Color	Gris claro al fresco. pardo al intemperismo.			
Textura	Foliada.			
Alteración	Oxidación.			
DESCRIPCIÓN	MICROSCÓPICA			
Textura	Lepidoblástica.			
Mineralogía	Sericita.	Clorita, cuarzo, albita, min. opacos de sección cuadrada y redondeados.	Goethita-limonita, hematita.	
Composición química y facies	Pelítica. facies de esquistos verde.			
Clasificación	Pizarra.			
Observaciones	Hematita reemplazando a min. opacos y rellenando fracturas paralelas y oblicuas a la foliación. Cuarzo terrígeno.			
Muestra: G-4.		Localización: S. El Guadachil.		
DESCRIPCIÓN	MACROSCÓPICA			
Color	Gris oscuro al fresco y al intemperismo.			
Textura	Foliada.			
Alteración	Oxidación.			
DESCRIPCIÓN	MICROSCÓPICA			
Textura	Lepidoblástica.			
Mineralogía	Sericita, cuarzo.	Calcita, min. opacos.	Goethita-limonita.	
Composición química y facies	Pelítica. facies de esquistos verde.			
Clasificación	Pizarra.			
Observaciones	Calcita en fracturas y diseñada. presentando sobras de presión.			
Muestra: G-5.		Localización: S. El Gringo.		
DESCRIPCIÓN	MACROSCÓPICA			
Color	Gris oscuro al fresco. amarillento al intemperismo.			
Textura	Foliada.			
Alteración	Oxidación.			
DESCRIPCIÓN	MICROSCÓPICA			
Textura	Lepidoblástica.			
Mineralogía	Sericita.	Cuarzo, min. opacos de sección cuadrada.	Calcita, Goethita-limonita, hematita.	
Composición química y facies	Pelítica. facies de esquistos verde.			
Clasificación	Pizarra.			
Observaciones	Vetillas oblicuas a la foliación rellenas de calcita con cuarzo en los bordes; hematita en los planos de foliación.			

Muestra: 08-11.	Localización: B. El Gringo.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris-verdoso al fresco, pardo al intemperismo.		
Textura	Porfídica seriada relicta.		
Alteración	Silicificación, oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica, microlítica.		
Mineralogía	Fantasma de plagioclasa (Fenocristales y matriz), cuarzo.	Min. opacos, calcita en parches, zepatito?	Goeschita-limonita.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Metalava saturada.		
Observaciones	Presenta diseminación de sulfuros.		
Muestra: 08-12.	Localización: B. El Gringo.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Rosado al fresco, pardo al intemperismo.		
Textura	Piroclástica relicta.		
Alteración	Silicificación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica, microlítica.		
Mineralogía	Cuarzo.	Min. opacos.	Sericita, calcita en parches y vetillas, hematita.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Metalava saturada.		
Observaciones	Presenta fracturas paralelas rellenas con calcita y hematita. Calcita en parches.		
Muestra: 08-19.	Localización: B. El Gringo.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris claro al fresco, verdoso al intemperismo.		
Textura	Porfídica relicta.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica, microlítica.		
Mineralogía	Plagioclasas.	Epidota, cuarzo, safena, min. opacos.	Clorita, goeschita-limonita, hematita.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Metalava saturada.		
Observaciones	Presenta cuarzo con extinción ondulante, safena reemplazada por min. opacos. Vetillas de cuarzo. Pirita.		

Muestra: 08-21.	Localización: N. El Gringo.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Verde claro al fresco, pardo al intemperismo.		
Textura	Débilmente foliada.		
Alteración	Oxidación, silicificación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Piroclástica relicta.		
Mineralogía	Oligoclase, feldespato potásico, cuarsos.	Mín. opacos, safena.	Sericita, clorita, hematita, mín. arcillosos.
Composición química y facies	Básica, facies de esquisto verde.		
Clasificación	Metatoba traquiandesítica.		
Observaciones	Mín. arcillosos alterando al feldespato potásico, fragmentos de roca en muestra de mano.		

Muestra: 08-30.	Localización: N. El Gringo.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Negro al fresco, rojo al intemperismo.		
Textura	Foliada.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Lepidoblástica.		
Mineralogía	Sericita, cuarzo.	Biotita, epidota, mín. opacos, coloritas?	Hematita.
Composición química y facies	Básica, facies de esquisto verde.		
Clasificación	Pizarra.		
Observaciones	Biotita y mín. opacos formando micropliegues que cortan a la foliación. Cuarzo terrígeno y de segregación metamórfica.		

Muestra: OR-36.		Localización: S. El Gringo.	
DESCRIPCION		MACROSCOPICA	
Color	Gris al frasco, rojizo al intemperismo.		
Textura	Foliada.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION		MICROSCOPICA	
Textura	Lepidoblástica.		
Mineralogía	Cuarzo.	Sericita, fengita-muscovita, min. opacos, cuarzo grano fino intercreciendo con micas en la matriz.	Hematita, calcita.
Composición química y facies	Cuarzo-feldespática, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Metarenisca.		
Observaciones	Hematita como cementante o matriz del protolito, fengita-muscovita formando la matriz, hematita rellenando fracturas.		

Muestra: OR-40.		Localización: S. El Gringo.	
DESCRIPCION		MACROSCOPICA	
Color	Gris claro al frasco y al intemperismo.		
Textura	Fobresmente foliada, volcánica relicta.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION		MICROSCOPICA	
Textura	Porfídica, microlítica.		
Mineralogía	Plagioclasas (anocristales y microlitos), cuarzo, feldespato potásico.	Min. opacos intracristales, micas, anfíbol.	Clorita, calcita, hematita, goethita-limonita.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Metandésita.		
Observaciones	Clorita reemplazando a la matriz, calcita reemplazando inocristales de plagioclasas, anfíbol reemplazado por opacos y goethita-limonita.		

Muestra: GM-43.		Localización: S. El Gringo.	
DESCRIPCION MACROSCOPICA			
Color	Gris oscuro al fresco, pardo al intemperismo.		
Textura	Foliada.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION MICROSCOPICA			
Textura	Lepidoblástica.		
Mineralogía	Sericita, cuarzo, plagioclasas.	Frag. de roca pelítica con sacanas de min. opacos, ices. min. opacos.	Goethita-limonita.
Composición química y facies	Pelítica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Pizarra.		
Observaciones	Nicas muy limonizadas, hematita rellenando fracturas, existe pirita.		

Muestra: GV-3.		Localización: S. Gringo Verde.	
DESCRIPCION MACROSCOPICA			
Color	Gris oscuro al fresco, pardo al intemperismo.		
Textura	Porfídica relicta.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION MICROSCOPICA			
Textura	Porfídica.		
Mineralogía	Fantasma de piroxenos, andesina.	Calcita, min. opacos, cuarzo.	Clorita, sericita, goethita-limonita, hematita.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Metandésita.		
Observaciones	Los piroxenos se aprecian total o parcialmente reemplazados por clorita y/o calcita.		

Muestra: GW-17.		Localización: S. Gringo Verde.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA			
Color	Gris oscuro al fresco y al intemperismo.			
Textura	Porfídica relicta.			
Alteración	Oxidación.			
DESCRIPCION	MICROSCOPICA			
Textura	Porfídica, microlítica.			
Mineralogía	Plagioclasas (albitos), clorita, calcita.	Fantasmas de piroxenos, min. opacos, cuarzo.	Goethita-limonita, hematita.	
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.			
Clasificación	Metandesita.			
Observaciones	Fantasmas de piroxenos reaparados parcial o totalmente por clorita y/o calcita y/o min. opacos.			
Muestra: GW-24.		Localización: S. Gringo Verde.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA			
Color	Gris oscuro al fresco y al intemperismo.			
Textura	Foliada.			
Alteración	Oxidación.			
DESCRIPCION	MICROSCOPICA			
Textura	Lepidoblástica.			
Mineralogía	Sericita, clorita, cuarzo, plagioclasas.	Min. opacos diseminados.	Goethita-limonita.	
Composición química y facies	Féltica, facies de esquistos verde.			
Clasificación	Pizarra.			
Observaciones	Segregaciones de cuarzo perpendiculares a la foliación, en ocasiones plegadas. También cuarzo en fracturas.			
Muestra: GW-25.		Localización: S. Gringo Verde.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA			
Color	Gris claro al fresco, pardo al intemperismo.			
Textura	Piroclástica relicta.			
Alteración	Oxidación.			
DESCRIPCION	MICROSCOPICA			
Textura	Porfídica, microlítica.			
Mineralogía	Oligoclasas, cuarzo, feldespato potásico.	Min. opacos diseminados (pirita).	Sericita, clorita, goethita-limonita, hematita.	
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.			
Clasificación	Metatoba cuarzo-feldespática.			
Observaciones	Cuarzo rellenando vetillas, al igual que la goethita-limonita.			

Muestra: OV-28.	Localización: E. Gringo Verde.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris oscuro al fresco, pardo al intemperismo.		
Textura	Foliada.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Lepidoblástica.		
Mineralogía	Sericita, cuarzo.	Min. opacos diseñados formando escamas.	Goshita-limonita, hematita.
Composición química y facies	Pálida, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Fisarga.		
Observaciones	Segregaciones de cuarzo con dos periodos de deformación.		
Muestra: OV-32.	Localización: E. Gringo Verde.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris claro al fresco, pardo al intemperismo.		
Textura	Foliada, piroclástica relicta.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica, microlítica.		
Mineralogía	Sericita, cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico.	Min. opacos, calcita.	Goshita-limonita, sin arcillosos.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Metatoba cuarzo-feldespática.		
Observaciones	Cuarzos con extinción ondulante. Calcita en fracturas.		
Muestra: L-3.	Localización: E. La Larga.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris oscuro al fresco, pardo al intemperismo.		
Textura	Porfídica.		
Alteración	Oxidación, silicificación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica.		
Mineralogía	Cuarzo, plagioclasas.	Clorita.	Calcita, goshita-limonita, hematita.
Clasificación	Brecha hidrotermal.		
Observaciones	Cuarzo con extinción ondulante, en mosaico y brechado. Calcita en fracturas.		

Muestra: L-3.	Localización: S. La Larga.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris oscuro al fresco, pardo al intemperismo.		
Textura	Porfídica.		
Alteración	Oxidación, silicificación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica.		
Mineralogía	Cuarzo, plagioclasas, calcita.	Min. opacos cloritados.	Ooquita-limonita, hematita.
Composición química y facies	Féltica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Pizarra calcárea.		
Observaciones	Cuarzo en fracturas. Calcita con "huellas de presión".		
Muestra: L-8.	Localización: S. La Larga.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris oscuro al fresco, rojizo al intemperismo.		
Textura	Piroclástica con buena clasificación.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Partículas del tamaño de arenas finas a medias.		
Mineralogía	Cuarzo, oligoclasas.	Min. opacos.	Calcita, hematita, min. arcillosos.
Composición química y facies	Cuarzo-feldespática, facies esquistos verde.		
Clasificación	Metarenisca volcánica.		
Observaciones	Calcita en parches y vetillas. Cuarzos con bordes suturados y estriación ondulante formando la matriz. Cuarzo en vetillas.		
Muestra: L-10.	Localización: S. La Larga.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris claro al fresco, rojizo al intemperismo.		
Textura	Pobremente foliada.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Lepidoblástica.		
Mineralogía	Frag. de roca, cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico, calcita, sericita.	Min. opacos.	Ooquita-limonita, hematita.
Composición química y facies	Calcopelítica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Calcosquistos.		
Observaciones	Calcita en parches y fracturas (60%) constituyendo la matriz de la roca, contiene pocos filossilicatos y abundantes terrígenos.		

Muestra: L-27.		Localización: B. La Larga.		
DESCRIPCIÓN		MACROSCOPICA		
Color		Rojo al fresco y al intemperismo.		
Textura		Esmigranular, bien clasificada.		
Alteración		Oxidación.		
DESCRIPCIÓN		MICROSCOPICA		
Mineralogía		Cuarzo terrígeno, plagioclasas terrígenas.	Biotita terrígena, min. opacos.	Frag. de roca, sericita y clorita como matriz, hematita como cementante.
Clasificación		Subarkosa (Folk, 1965).		
Observaciones		Los cuarcos en general están redondeados.		
Muestra: LC-1.		Localización: B. Las Cuevas.		
DESCRIPCIÓN		MACROSCOPICA		
Color		Rojo al fresco y al intemperismo.		
Textura		Piroclástica.		
Alteración		Oxidación.		
DESCRIPCIÓN		MICROSCOPICA		
Textura		Porfídica.		
Mineralogía		Cuarzo, fantasmas de plagioclasas y feldespato potásico.	Frag. de roca.	Clorita, goethita-limonita, min. arcillosos.
Clasificación		Toba saturada, argilitizada y en parte silicificada.		
Observaciones		Clorita reemplando a ferrocristales, así como la goethita-limonita.		
Muestra: LC-3.		Localización: B. Las Cuevas.		
DESCRIPCIÓN		MACROSCOPICA		
Color		Gris claro al fresco, gris verdoso al intemperismo.		
Textura		Brachoidal.		
Alteración		Oxidación, silicificación.		
DESCRIPCIÓN		MICROSCOPICA		
Textura		Porfídica.		
Mineralogía		Cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico.	Min. opacos diseminados.	Sericita, goethita-limonita, min. arcillosos, hematita.
Clasificación		Brecha silicificada y argilitizada.		
Observaciones		Hematita en parches y fracturas. Cuarzo con extinción ondulante.		

Muestra: IC-5.	Localización: B. Las Cuevas.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Crisa claro al fresco y pardo al intemperismo.		
Textura	Foliada.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Lepidoblástica.		
Mineralogía	Sericita, cuarzo, plagioclasas, mica.	Min. opacos.	Cuarzo en segregaciones.
Composición química y facies	Pelítica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Pizarra.		
Observaciones	Los min. opacos en fracturas (pirita). Cuarzo en fracturas.		
Muestra: MT-1.	Localización: Flanco del domo.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Pardo claro al fresco y al intemperismo.		
Textura	Porfídica relicta.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica.		
Mineralogía	Cuarzo, plagioclasas.	Min. opacos.	Cuarzo cementando, goethita-limonita.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Pófido metastadítico.		
Observaciones	Cuarzo con extinción ondulante.		
Muestra: MT-2.	Localización: Flanco del domo.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Pardo al intemperismo y rosado al fresco.		
Textura	Porfídica relicta. Foliada.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica.		
Mineralogía	Cuarzo, sericita.	Min. opacos, calcita.	Goethita-limonita, hematita.
Composición química y facies	Pelítica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Pófido saturado.		
Observaciones	Micropliegues que muestran dos periodos de deformación.		

Muestra: PB-1.	Localización: D. La Papaya.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris claro al fresco y al intemperarse.		
Textura	Porfídica relicta.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica.		
Mineralogía	Fantasmas de piroxenos y anfíboles. Fantasmas de plagioclasas.	Mín. opacos. calcita.	Sericita, goethita-limonita.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Metabasito.		
Observaciones	Calcita en parches. Anfíboles y piroxenos reemplazados por hematita.		

Muestra: PB-3.	Localización: D. La Papaya.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris claro al fresco y intemperarse.		
Textura	Porfídica relicta.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica, microlítica.		
Mineralogía	Fantasmas y microlitos de plagioclasas, cuarzo, feldespato potásico.	Mín. opacos. calcita.	Goethita-limonita, hematita.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Metagraquita.		
Observaciones	Los mín. opacos hematizados, calcita en parches y vetillas, cuarzo con extinción ondulante.		

Muestra: PT-NY-1.	Localización: N. El Ayotachi.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris oscuro al fresco y al intemperismo.		
Textura	Piroclástica relicta.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica, microlítica.		
Mineralogía	Cuarzo, oligoclasa.	Micas alteradas, fantasmas de piroxenos, esfena alterada, calcita, min. opacos.	Sericita, goethita-limonita, hesatita, min. arcillosos.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Metatoba dacítica.		
Observaciones	Calcita en parches y fracturas. Cuarzo con extinción ondulante. Fracturas con cuarzo.		

Muestra: PT-NY-2.	Localización: N. El Ayotachi.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris claro al fresco y al intemperismo.		
Textura	Piroclástica relicta.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica, microlítica.		
Mineralogía	Plagioclasas, cuarzo.	Micas alteradas, calcita, min. opacos.	Sericita, goethita-limonita, hesatita.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Metatoba saturada.		
Observaciones	Cuarzo con extinción ondulante, calcita en parches y fracturas.		

Muestra: PT-CB-1.	Localización: B. Campo Seco.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris oscuro al fresco y al intemperismo.		
Textura	Volcánica relicta.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica, microlítica.		
Mineralogía	Plagioclasas (en fenocristales y microlitos), feldespato potásico.	Mín. opacos, epidoto, calcita.	Sericita, goethita-limonita, hematita.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Nataandesita.		
Observaciones	Cuarzo con extinción ondulante, calcita en parches y fracturas.		

Muestra: PT-PB-1.	Localización: B. La Papaya.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris verdoso al fresco y al intemperismo.		
Textura	Piroclástica relicta.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica, microlítica.		
Mineralogía	Plagioclasas (en fenocristales y microlitos), cuarzo.	Mín. opacos, calcita, mín. arcillosos.	Sericita, goethita-limonita, hematita.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Nataobs andesítica.		
Observaciones	Calcita en parches y fracturas, goethita-limonita reemplazando plagioclasas, gran contenido de mín. arcillosos.		

Muestra: PT-PS-1	Localización: B. La Papsa.		
DESCRIPCIÓN	MACROSCOPICA		
Color	Gris verdoso al fresco y al intemperismo.		
Textura	Porfídica relicta.		
Alteración	Sericitización.		
DESCRIPCIÓN	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica, microlítica.		
Mineralogía	Plagioclasas, mica, cuarsos.	Min. opacos, calcita.	Sericita, clorita, goethita-limonita, hematita.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Metandesita.		
Observaciones	Calcita en parches y fracturas, sericita goethita-limonita reemplazando plagioclasas.		
Muestra: PT-YB-1	Localización: B. Tababuebla.		
DESCRIPCIÓN	MACROSCOPICA		
Color	Gris claro al fresco y al intemperismo.		
Textura	Volcánica relicta.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCIÓN	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica.		
Mineralogía	Plagioclasas, cuarzo, micas alteradas, feldespato potásico.	Min. opacos, calcita.	Sericita, goethita- limonita, hematita.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Metandesita.		
Observaciones	Calcita en parches y fracturas, hematita en los bordes de los granos.		
Muestra: PT-1.	Localización: Obra minera sobre el flanco E del domo.		
DESCRIPCIÓN	MACROSCOPICA		
Color	Gris oscuro al fresco y al intemperismo.		
Textura	Foliada.		
Alteración	Oxidación y silicificación.		
DESCRIPCIÓN	MICROSCOPICA		
Textura	Lepidoblástica.		
Mineralogía	Sericita, cuarzo.	Min. opacos.	Goethita-limonita, hematita.
Composición química y facies	Felsítica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Pisera silicificada.		
Observaciones	Presenta muchas vetillas rellenas de cuarzo.		

Muestra: ST-2.	Muestra: Obra minera sobre el fianco E del domo.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris claro al fresco, pardo al intemperismo.		
Textura	Porfídica.		
Alteración	Oxidación y silicificación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica, microclítica.		
Mineralogía	Cuarzo, fantasmas de plagioclasas.	Min. opacos.	Clorita, sericita, goethita-limonita, hematita.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Pórfido sobresaturado.		
Observaciones	Cuarzo en fenocristales.		
Muestra: ST-3.	Localización: Obra minera sobre el fianco E del domo.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris oscuro al fresco y al intemperismo.		
Textura	Foliada.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Lepidoblástica.		
Mineralogía	Sericita, clorita, cuarzo.	Min. opacos.	Goethita-limonita, hematita.
Composición química y facies	Pélitica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Pisarra.		
Observaciones	Hematita reemplazando a min. opacos.		
Muestra: TE-8.	Localización: E. Tabuabastía.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris oscuro al fresco y al intemperismo.		
Textura	Foliada.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Lepidoblástica.		
Mineralogía	Sericita, calcita, plagioclasas, cuarzo.	Min. opacos.	Hematita.
Composición química y facies	Pélitica-calcárea (aerog.), facies de esquistos verde.		
Clasificación	Pisarra calcárea.		
Observaciones	La calcita se presenta en parches y en fracturas. Pirita entre los min. opacos. Se distinguen dos etapas de deformación. Muestra con cierta laminación alternada: carbonato-sin carbonato-carbonato.		

Muestra: 78-24.	Localización: S. Tabasqueña.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris oscuro al fresco y al intemperismo.		
Textura	Fanerítica.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica, microlítica.		
Mineralogía	Plagioclasas, cuarzo, feldespato potásico.	Min. opacos, mica alterada.	Sericita, goethita-limonita, hematita.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Metatraqui-andesita.		
Observaciones	Pirita entre los min. opacos.		
Muestra: 78-24'.	Localización: S. Tabasqueña.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris claro al fresco y al intemperismo.		
Textura	Porfídica.		
Mineralogía	Pirita y otros sulfuros.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica, microlítica.		
Mineralogía	Cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico.	Min. opacos.	Goethita-limonita, hematita, calcita.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Pórfido saturado.		
Observaciones	Calcita como cementante.		
Muestra: 78-26.	Localización: S. Tabasqueña.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris oscuro al fresco y al intemperismo.		
Textura	Foliada.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Lepidoblástica.		
Mineralogía	Sericita, cuarzo.	Min. opacos en escamas y redondeados, epidote.	Goethita-limonita, hematita.
Composición química y facies	Felsítica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Pírrax.		
Observaciones	Micropliegues que evidencian dos periodos de deformación.		

Muestra: T-43.	Localización: B. Tabubuetia.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris oscuro al fresco, pardo al intemperismo.		
Textura	Brechoide.		
Alteración	Silicificación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica, microlítica.		
Mineralogía	Cuarzo.	Min. opacos.	Sericita, goethita-limonita, cuarzo, hematita.
Clasificación	Roca silicificada y brechada.		
Observaciones	Muestra dos etapas de silicificación. Cuarzo secundario en fracturas.		
Muestra: W-9.	Localización: B. Verde.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Blanca al fresco y pardo al intemperismo.		
Textura	Piroclástica.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica, microlítica.		
Mineralogía	Cuarzo, oligoclasa, feldespato potásico.	Min. opacos hematizados.	Calcita, mín. arcillosos.
Clasificación	Toba riolítica.		
Observaciones	Fantasmas de fenocristales de feldespatos reemplazados por mín. arcillosos. Cuarzo en fracturas. Calcita en parches y vetillas. En ocasiones, cuarzo con extinción ondulante.		
Muestra: W-17.	Localización: B. Verde.		
DESCRIPCION	MACROSCOPICA		
Color	Gris claro al fresco y al intemperismo.		
Textura	Porfídica.		
Alteración	Oxidación.		
DESCRIPCION	MICROSCOPICA		
Textura	Porfídica.		
Mineralogía	Plagioclasas, cuarzo.	Min. opacos, apatito dentro de cristales de cuarzo, calcita.	Sericita, goethita-limonita, hematita, mín. arcillosos.
Composición química y facies	Básica, facies de esquistos verde.		
Clasificación	Metandesita.		
Observaciones	Calcita en parches. Fantasmas de ferromagnesianos reemplazados por opacos-goethita-limonita+mín. arcillosos, ocasionalmente, por calcita. Fantasmas de feldespatos alterados a mín. arcillosos.		

Muestra: W-28.	Localización: S. Verde.		
DESCRIPCIÓN	MACROSCÓPICA		
Color	Blanco al fresco y pardo al intemperismo.		
Textura	Porfídica.		
Alteración	Silicificación.		
DESCRIPCIÓN	MICROSCÓPICA		
Textura	Porfídica, microclítica.		
Mineralogía	Cuarzo, plagioclasas.	Sericita, zircón, sin opacos en parte hematizados.	Calcita, goethita- limonita.
Clasificación	Porfido silicificado y sericitizado.		
Observaciones	Calcita en parchas y vetillas. Existen "box work" de pirita.		

APENDICE IV

FOTOGRAFIAS MINERAGRAFICAS

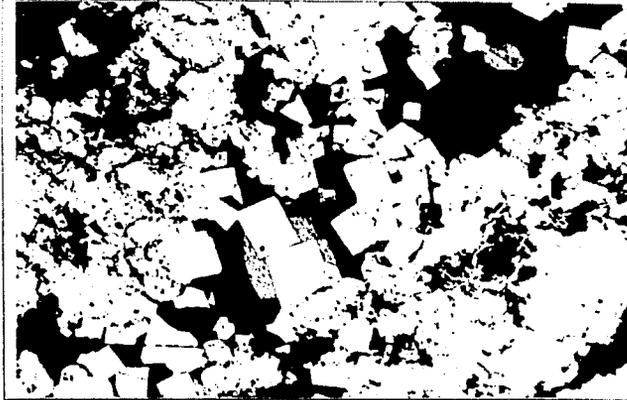


Foto 1.- Pirita eudral del cuerpo Tehuehuella (TH-A).



Foto 2.- Pirita brechada y colofome del cuerpo Tehuehuella (TH-3).

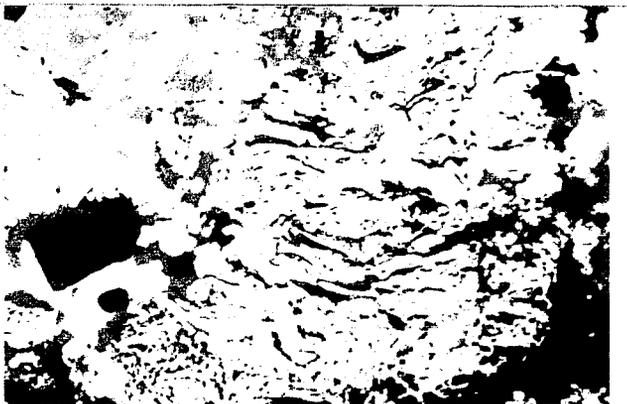


Foto 3.- Pirita deformada con galena en el cuerpo Tehuehuella (TH-3).

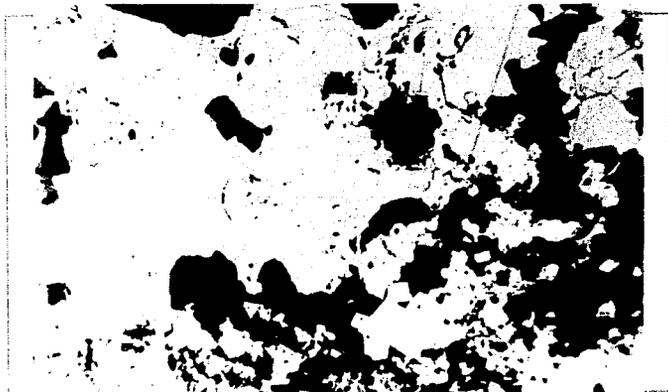


Foto 4.- Pirita, calcopirita y galena en primer plano, freibergita en el lado derecho (Cuerpo Campo Seco, CS-B).

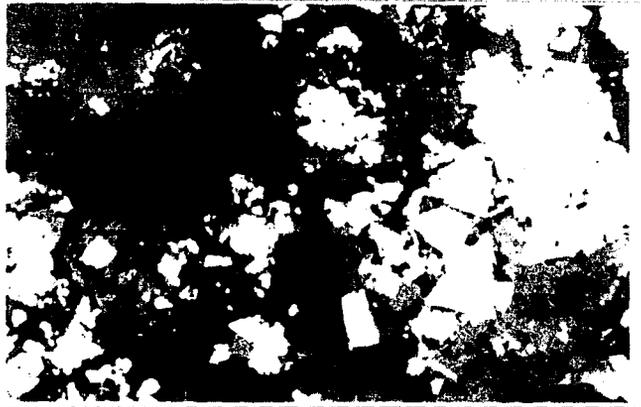


Foto 5.- Pirita y covellita del cuerpo Campo Seco (CS-1).

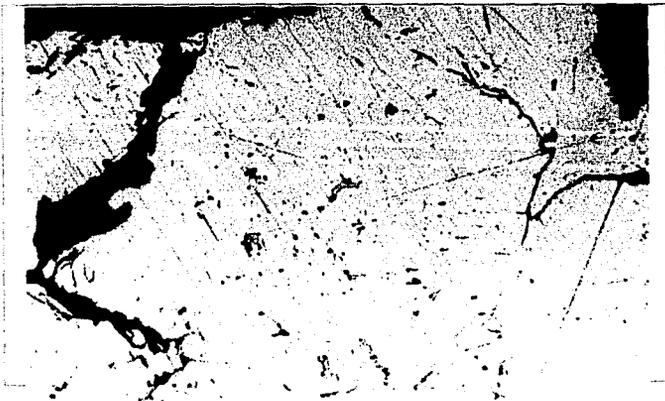


Foto 6.- "Calcopiritización" del cuerpo Campo Seco (CS-2).

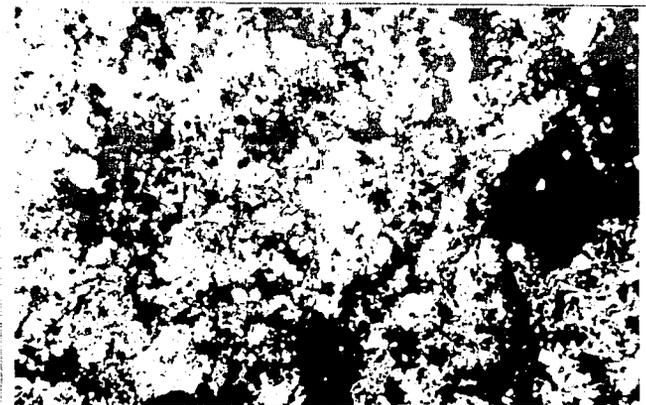


Foto 7.- Pirita, calcopirita, galena, esfalerita y freibergita en el cuerpo Campo Seco (CS-3).

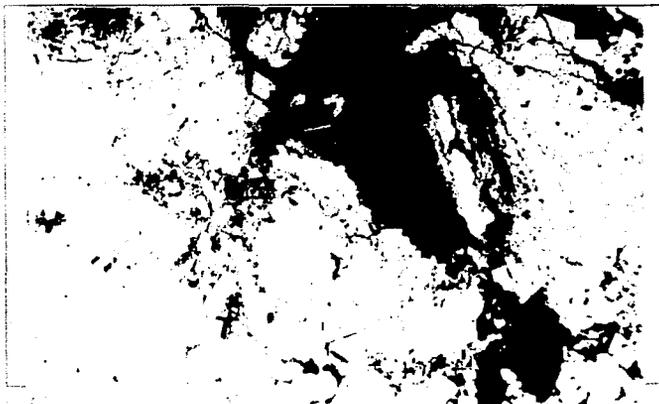
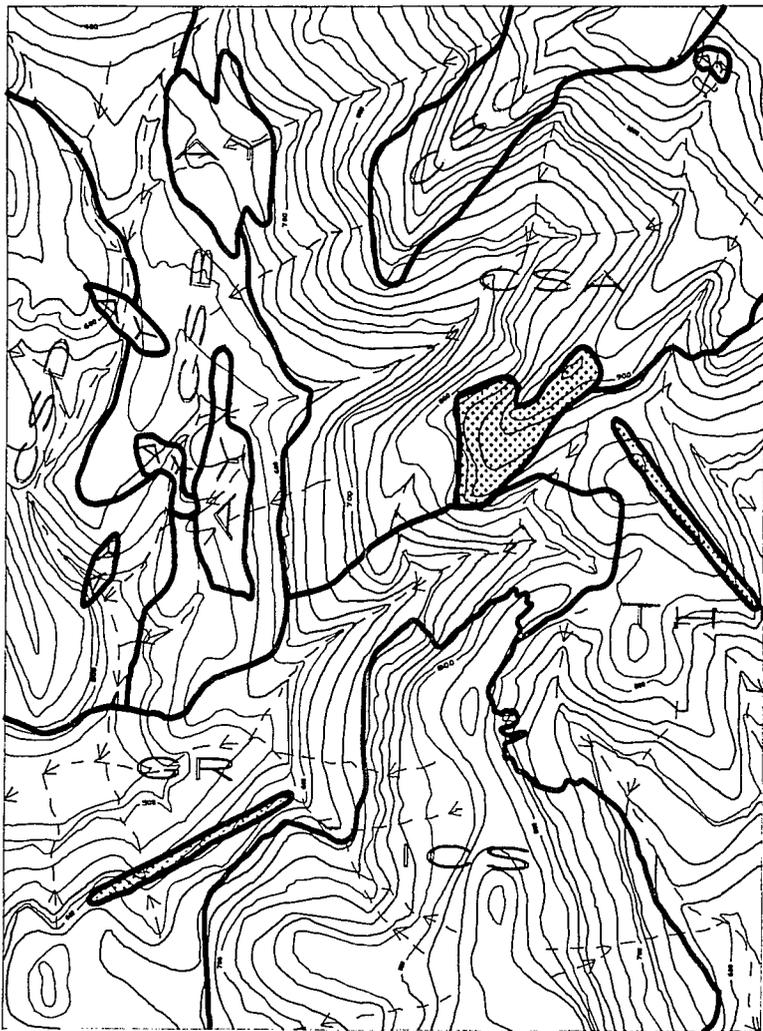


Foto 8.- Pirita, calcopirita, galena, esfalerita, freibergita y calcosita.

APENDICE V

**PLANOS DE LA ASIGNACION CAMPO SECO,
MUNICIPIO DE APAXTLA,
ESTADO DE GUERRERO**



SIMBOLOS GEOLOGICOS

ROCAS SEDIMENTARIAS, VOLCANICAS O METAMORFICAS

- ◆ UNIDAD SEDIMENTARIA EL AYOTCHI (AY)
- ◆ UNIDAD METAPELITICA CALCAREA VOLCANICA CAMPO SECO (CS)
- MIEMBRO D (CSD)
- MIEMBRO C (CSC)
- MIEMBRO B (CSB)
- MIEMBRO A (CSA)

UNIDAD METAPELITICA VOLCANICA TETUKHUETLA (TV)

◆ UNIDAD METAVOLCANICA EL GRISO (GR)

ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS

- ◆ UNIDAD INTRUSIVA RIOLITICA ⁺, ⁺
- ◆ UNIDAD METAIGNEA INTRUSIVA CAMPO SECO (IGS)

SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

— 500 — CURVA DE NIVEL

— · · · —> ARROYO

EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL. 50 m.



E S C A L A 1 : 5,000

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

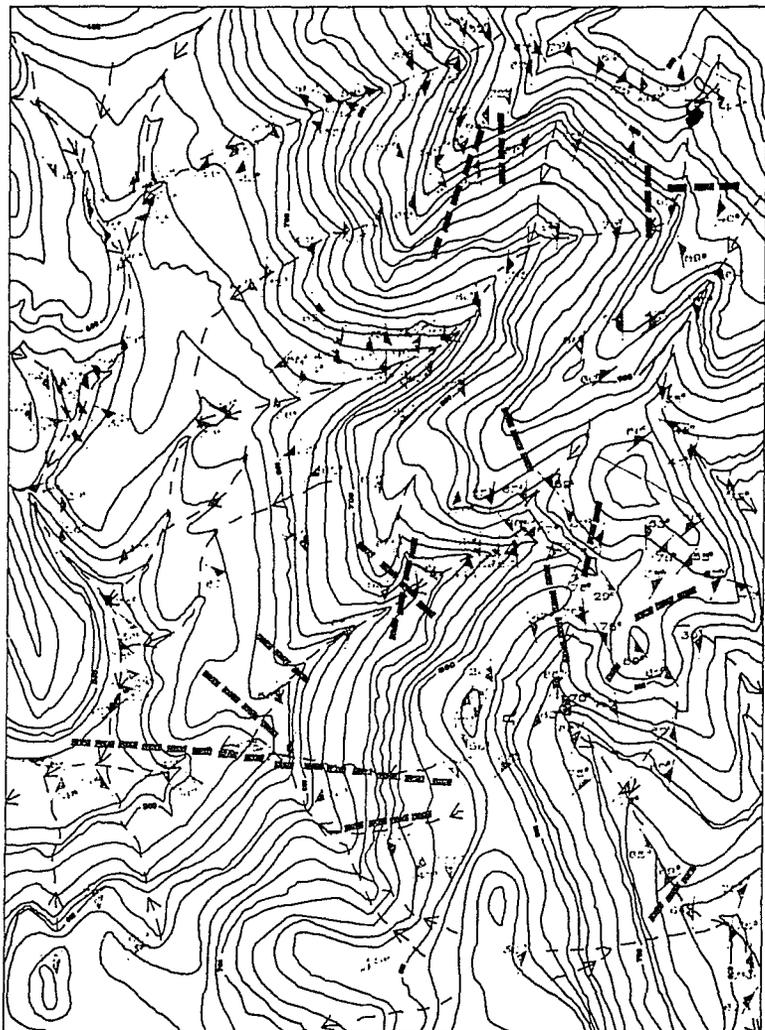
DIVISION DE CIENCIAS DE LA TIERRA

PLANO LITOLOGICO DE LA ASIGNACION CAMPO SECO
MUNICIPIO DE APAXTLA, ESTADO DE GUERRERO

TESIS PROFESIONAL

ELABORACION
JORGE ORTEGA PINEDA
NOE PIEDAD SANCHEZ

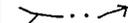
SEM. 93-1
PLANO NO. 1



SIMBOLOS GEOLOGICOS

-  FOLIACION
-  FRACTURAS
-  VETAS DE CUARZO
-  SULFUROS MASIVOS

SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

-  600 CURVA DE NIVEL
-  ARROYO

EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL, 20 M.



ESCALA 1 : 5,000

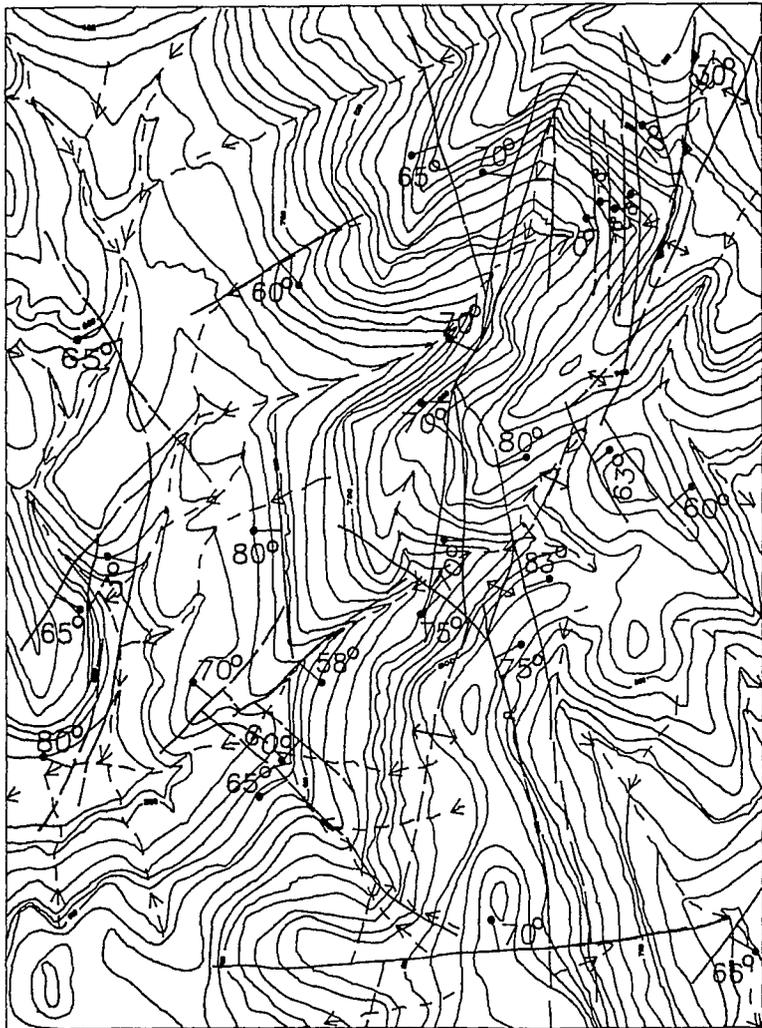
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 DIVISION DE CIENCIAS DE LA TIERRA

PLANO DE DATOS ESTRUCTURALES DE LA ASIGNACION CAMPO SECO
 MUNICIPIO DE APAXTLA, ESTADO DE GUERRERO

TESIS PROFESIONAL

ELABORADO POR
 JORGE ORTEGA PINEDA
 NOE PIEDAD SANCHEZ

SEM. 03-I
 PLANO NO. 2



SIMBOLOS GEOLOGICOS

 FALLA NORMAL

 FALLA INVERSA

 ANTICLINAL

SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

 200 CURVA DE NIVEL

 ARROYO

EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL, 20 m.



ESCALA 1 : 5,000

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

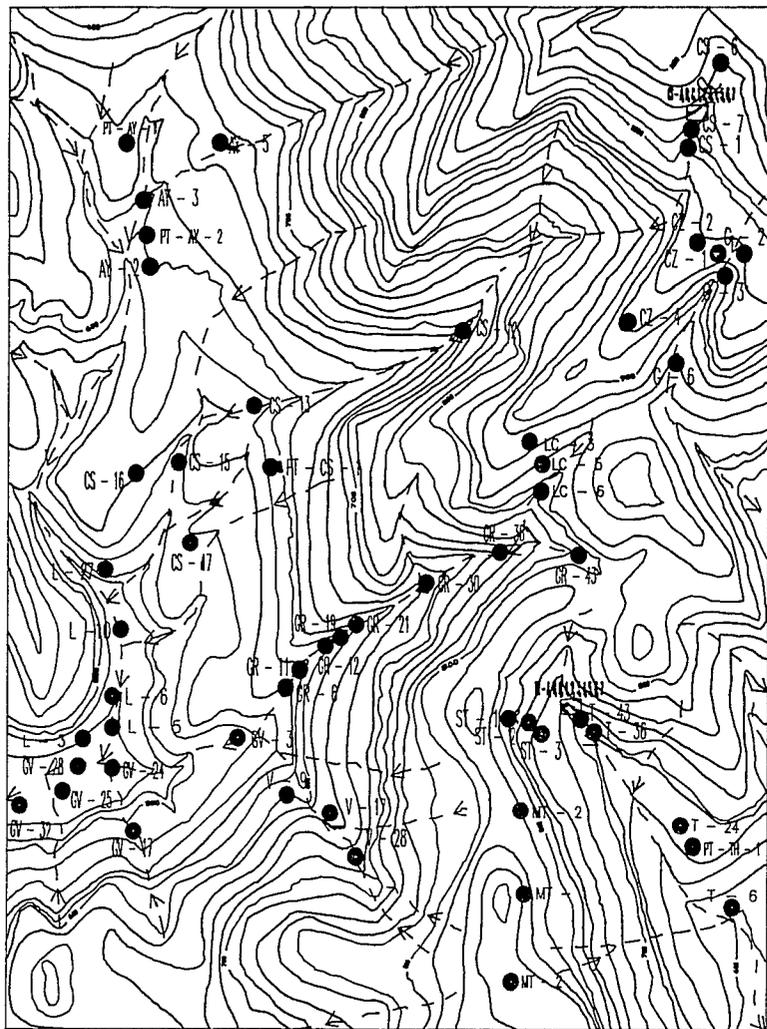
DIVISION DE CIENCIAS DE LA TIERRA

PLANO ESTRUCTURAL DE LA ASIGNACION CAMPO SECO
MUNICIPIO DE APAXTLA, ESTADO DE GUERRERO

TESIS PROFESIONAL

ELABORACION:
JORGE ORTEGA PINEDA
NOR FIEDAD BANCHEZ

SEM. 93-1
PLANO NO. 3



SIMBOLOS GEOLOGICOS

- T-24 LAMINA DELGADA
- CS-A SUPERFICIE PULIDA
- AY BARRANCA EL AYOTCHI
- CS BARRANCA CAMPO SECO
- G BARRANCA EL GUAMUCHIL
- GR BARRANCA EL GRINGO
- GV BARRANCA GRINGO VERDE
- L BARRANCA LA LARGA
- LA BARRANCA LAS CUEVAS
- MT FLANCO DEL DOMO
- ST SOCAVON TEHUEHUETLA
- TH BARRANCA TEHUEHUETLA
- V BARRANCA VERDE
- T-X CUERPO TEHUEHUETLA
- CS-X CUERPO CAMPO SECO

SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

- 600 — CURVA DE NIVEL
- Y...Y ARROYO

EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL, 80 M.



E S C A L A 1 : 5,000

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE CIENCIAS DE LA TIERRA

PLANO DE MUESTREO LITOLOGICO Y MINERAGRAFICO EN LA ASIGNACION
CAMPO SECO, MUNICIPIO DE APATLA, ESTADO DE GUERRERO

TESIS PROFESIONAL

ELABORACION:
JORGE ORTEGA FINEIDA
NOE PIEDAD SANCHEZ

SEM. 93-I
PLANO NO. 3