

**SUBDIRECCIÓN DE GEOLOGÍA
GERENCIA DE GEOLOGÍA Y GEOQUÍMICA
GERENCIA REGIONAL SUR.**

*Texto Explicativo
de la Carta Geológico-Minera y Geoquímica
San José Chacalapa D14-B18
Escala 1:50,000
Estado de Oaxaca.*

Por:

*Ing. José Manuel García Ruiz (Jefe de Carta)
Ing. José Adrián García Neria (Geólogo de Apoyo)
Pas. Paulina Saavedra Muñoz (Geólogo Adicional)
Ing. Pedro Munguía Rojas (Asesor de Yacimientos Minerales)
Ing. Juan José Canizal Sosa (Coordinador)*

Oaxaca Oax., Diciembre del 2012

ÍNDICE

RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	5
I.1. OBJETIVO DEL ESTUDIO	5
I.2. TRABAJOS PREVIOS	5
I.3. MÉTODO DE TRABAJO	7
II. GEOGRAFÍA	8
II.1. LOCALIZACIÓN Y EXTENSIÓN	8
II.2. ACCESO Y VÍAS DE COMUNICACIÓN	8
II.3. FISIOGRAFÍA	10
III. GEOLOGÍA	12
III.1. MARCO GEOLÓGICO	12
III.2. ESTRATIGRAFÍA	15
III.2.1. Terreno Oaxaca	15
III.2.1.1. Anortosita (pTm An)	16
III.2.1.2. Complejo Metamórfico (pTm CM) Complejo Oaxaqueño	16
III.2.2. Vulcanosedimentario (JtKbe (?) VS) Secuencia Piedras Negras	20
III.2.3. Formación Teposcolula (Kace Cz-Do)	22
III.2.4. Magmatismo de la Sierra Madre del Sur	25
III.2.4.1. Granito-Granodiorita (Tm Gr-Gd) Tronco de Pochutla	25
III.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	26
III.3.1. Descripción de Estructuras	26
III.3.1.1. Deformación dúctil	29
III.3.1.2. Deformación dúctil-frágil	30
III.3.1.3. Deformación frágil	30
III.4. TECTÓNICA	34
IV. YACIMIENTOS MINERALES	41
IV.1. METÁLICOS	41
IV.1.1. Introducción	41
IV.1.2. Antecedentes	41
IV.1.3. Minas en Explotación	44
IV.1.4. Infraestructura minera	44
IV.1.5. Distrito Minero Pluma Hidalgo	45
IV.1.6. Área mineralizada San Francisco	49
IV.1.7. Área mineralizada Copalita	53
IV.2. NO METÁLICOS	57
IV.2.1. Introducción	57
IV.2.2. Antecedentes	58
IV.2.3. Minas en explotación	58
IV.2.4. Infraestructura Minera	58
IV.2.5. Prospectos de Carbonato de Calcio	58
IV.2.5.1. Zona Copalita	58
IV.2.6. Prospectos de Roca Dimensionable	59
IV.2.7. Bancos de materiales y Agregados Pétreos	60

IV.2.7.1. Inactivos.....	60
V. MODELO DE YACIMIENTOS	62
VI. GEOQUÍMICA.....	66
VI.1. INTRODUCCIÓN.....	66
VI.2. CONDICIONES AMBIENTALES	66
VI.2.1. <i>Clima y vegetación</i>	66
VI.2.2. <i>Hidrografía</i>	66
VI.3. PARÁMETROS GEOQUÍMICOS	66
VI.3.1. <i>Muestreo</i>	66
VI.3.2. <i>Análisis</i>	68
VI.4. INTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA	68
VI.4.1. <i>Estudio de orientación</i>	68
VI.4.2. <i>Componentes principales</i>	68
VI.4.3. <i>Interpretación de los elementos metálicos</i>	69
VI.4.3.1. Descripción de asociaciones	69
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
CONCLUSIONES	76
RECOMENDACIONES.....	76
VIII. PROBLEMAS NO RESUELTOS	77
BIBLIOGRAFÍA.....	77

ANEXOS

Tabla de análisis químicos
 Tabla de dataciones isotópicas
 Tabla de datos estructurales (puntos)
 Tabla de muestreo general
 Tabla de plantas de beneficio
 Tabla de resultados geoquímicos
 Tabla de resultados petrográficos
 Tabla de rocas dimensionables y bancos de material
 Tabla de yacimientos minerales

ESTUDIOS

Caracterización química (esquirlas)
 Caracterización física (rocas dimensionables)
 Petrográficos

RESUMEN

La carta San José Chacalapa cubre una superficie de 994 km² y se ubica en la porción sur del estado de Oaxaca, delimitada por las coordenadas geográficas 15° 45' a 16° 00' de latitud norte y 96° 20' a 96° 40' de longitud oeste en la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur, subprovincia Planicie Costera, y en el Terreno Oaxaca de acuerdo a la clasificación de terrenos tectonoestratigráficos.

Conforman la columna estratigráfica cinco unidades de rocas metamórficas, vulcanosedimentarias, sedimentarias e ígneas intrusivas, con edades comprendidas del Proterozoico medio al Mioceno.

La base de la columna la conforman las rocas del Complejo Oaxaqueño, considerado el más antiguo en el sur de México. La litología incluye anortosita y un complejo metamórfico dividido en unidades con características litológicas distintivas. La Anortosita (pTm An) es considerada la parte basal del Complejo; aflora en el límite oriente, con orientación este-oeste y deflexión al noroeste; y también en la porción noroeste. La litología está representada por anortosita masiva con textura porfidoblástica y estructura foliada. Se le han determinado edades entre 1,100 y 1,000 Ma en base a estudios isotópicos de U-Pb en circones y K-Ar en micas; es de interés geológico-minero porque aloja mineralización de titanio en el distrito minero de Pluma Hidalgo. El Complejo Metamórfico (pTm CM) cuya edad es Proterozoico medio, está conformado por rocas con diferentes grados de metamorfismo incluido ortogneis bandeado, granulita, ortogneis con granate, anfibolita, paragneis de hornblenda y grafito. El espesor del Complejo Oaxaqueño es incierto debido a la intensidad de deformación que presenta, sin embargo, se ha reconocido una potencia máxima de 17 km. Subyace discordantemente a la Secuencia Piedras Negras, y está afectado por granito-granodiorita del Tronco de Pochutla. Se estima que se depositó a lo largo de una margen continental pasiva. Es importante para la exploración de yacimientos del tipo de segregación magmática porque existen manifestaciones con mineralización de titanio en forma de cuerpos irregulares, lentes y vetas tipo oro orogénico.

Para el Paleozoico y el Jurásico inferior y medio no hay registros de sedimentación o actividad volcánica. La colisión del Bloque Chortis contra el Terreno Xolapa produce un desplazamiento del bloque al sureste y favorece el desarrollo de un cinturón de rocas metamórficas que constituyen la Secuencia Piedras Negras (JtKbe (?) Vs) de edad Tithoniano-Berriasiano, representada por una alternancia vulcanosedimentaria milonitizada, paralela a la falla Chacalapa, y que consta de esquisto, gneis, metaarenisca y metacaliza, expuestas en la porción sur de la carta. La edad se asignó en base a la similitud que presenta con la secuencia vulcanosedimentaria del Arco Chontal.

Durante el Albiano-Cenomaniano predomina el depósito sobre extensas plataformas como el de la Formación Teposcolula (Kace Cz-Do), que cubre discordantemente al Complejo Oaxaqueño y está conformada por caliza, dolomía, caliza arcillosa y horizontes delgados de lutita. Sus principales afloramientos se encuentran en el sector noreste y, aisladamente, cubriendo a la Secuencia Piedras Negras, en el límite oriental de la carta. Asociado al magmatismo y vulcanismo de la Sierra Madre del Sur, aflora granito-granodiorita (Tom Gr-

Gd) de edad Oligoceno-Mioceno, expuesto en aproximadamente el 50% de la superficie de la carta y afectando a las unidades que le anteceden.

Las estructuras observadas pertenecen a regímenes de deformación dúctil, dúctil-frágil y frágil. El primero como foliación penetrativa con dirección N53°E, e inclinación de 28° al NW en rocas del Complejo Oaxaqueño y la Secuencia Piedras Negras. Bajo este régimen es que se generó la extensa zona de milonita asociada al emplazamiento de la falla Chacalapa. El segundo, representado por el sinclinal Cerro León en la Formación Teposcolula cuyo eje tiene rumbo N10°W y longitud de 3 km. Bajo el régimen frágil se generan dos sistemas de fallas, uno de tipo normal y el segundo lateral, ambas con orientaciones NE y NW. La falla Guadalupe pertenece al de fallas normales con rumbo NE, mientras que en el de rumbo NW se documentaron trece fallas entre las que destacan las de El Faisán, Limón, Independencia y Campana. Las fallas laterales derechas más importantes de rumbo NE son: Loxicha, El Perdiz, San Martín y Cuajinicuil. Se reconocieron cuatro fallas laterales izquierdas con rumbo NE, dos son las más representativas Río Grande y San Agustín. Las de desplazamiento lateral izquierdo con orientación NW son trece y destacan Copalita, y Camaronada como las más representativas. Los lineamientos interpretados son: Granada, Chilapa, Magdalena, Tierra Blanca, Platanal, San Francisco, Petaca, Palo y Tololote.

La evolución tectónica de la región ocurre a partir del Precámbrico, cuando las rocas del Complejo Oaxaqueño formaban parte de una corteza juvenil que se desarrolló en un arco magmático (1,300-1,200 Ma). Posteriormente el Complejo Oaxaqueño fue sepultado a una profundidad de entre 25 y 30 km como producto de la colisión y cabalgamiento del arco Avalonia, y posiblemente también acompañado por el choque del bloque Amazonia-Báltica hace 1,000-980 Ma. Las sucesivas colisiones dieron origen al supercontinente Rodinia. El Complejo Oaxaqueño sufrió deformación y metamorfismo de facies granulítica debido a que fue sometido a altas presiones (7-8 kb) y temperaturas de 700 a 825°C. Pasado el evento metamórfico, tiene lugar la intrusión de pegmatitas que marcan el final de la consolidación de la faja estructural Oaxaqueña. Por otra parte, la exhumación del Complejo Oaxaqueño (750 o 545 Ma) indica el enfriamiento lento y el rompimiento de Rodinia. Más tarde, durante el periodo prePensilvánico-Pérmico, el terreno Mixteco se acreciona al terreno Oaxaca a lo largo de una línea de sutura que ahora se conoce como la falla Caltepec, en donde comparten rasgos del origen y evolución del Orógeno Apalachiano, así como la clausura del Océano Lapetus. Algunos investigadores postulan que el terreno Mixteco se separó del terreno Oaxaca durante el Triásico-Jurásico y que colisionaron nuevamente en el Cretácico temprano. En el Cretácico inferior-superior, los terrenos Maya, Juárez, Oaxaca y Mixteco conformaron un terreno superpuesto, y al finalizar el Berriasiano, se depositaron las primeras facies continentales y mixtas de la transgresión proveniente del golfo de México que cubrió por completo a todos los terrenos durante el Albiano-Cenomaniano, formándose extensas plataformas de caliza y dolomía de la Formación Teposcolula, persistiendo algunas hasta el Cretácico superior, previas a la deformación laramídica que tendría lugar a fines del Cretácico superior y el Terciario inferior.

El Terreno Xolapa, ubicado al sur y fuera de la carta, se ha interpretado como un arco continental alóctono del Jurásico-Cretácico que fue colisionado por el Bloque Chortis (~133 Ma edad de migmatización) y que posteriormente se acrecionó al sur de México (~110 Ma).

Dicha acreción trajo como consecuencia fases de deformación y dio origen a las fallas Chacalapa (29 y 23 Ma) y Juchatengo con desplazamiento lateral izquierdo, asociadas a zonas de cizalla expuestas en rocas de la corteza media-inferior. La milonita se formó progresivamente desde un régimen dúctil a quebradizo, lo que sugiere una exhumación progresiva del Terreno Xolapa por influencia de la convergencia oblicua de subducción entre las placas Farallón y Norteamérica. Asociado a este evento el Bloque Chortis se desplazaba hacia el sureste, en el borde continental. Durante este proceso también aparece la Secuencia Piedras Negras, de facies esquistos verdes, que se correlaciona con rocas de las formaciones Chapolapa y del Arco Chontal.

La deformación y magmatismo cerca de la margen continental han sido ligados al desplazamiento del bloque de Chortis durante el Cenozoico temprano. Algunos autores argumentan que dicho bloque se separó de su posición original de la placa de Norteamérica a lo largo de un límite transformante continental. En este modelo, la migración de trinchera-trinchera-transformante de la triple unión se asocia a la migración de extinción magmática documentada con las etapas de intrusión de los plutones de granito-granodiorita a lo largo de la costa, desde el Eoceno hasta el Mioceno.

En la carta se ubica el distrito minero *Pluma Hidalgo* y se delimitaron las áreas mineralizadas *San Francisco* y *Copalita*.

El distrito Pluma Hidalgo se localiza en la porción nororiental en donde están expuestas vetas, cuerpos irregulares y diseminados que contienen rutilo, ilmenita, magnetita y hematita emplazada en anortosita. Las obras e historia minera le confieren interés geológico-minero por los yacimientos de segregación magmática de rutilo e ilmenita.

Son tres las minas inactivas: *Titanio*, que fue explotada en 2000-2002 mediante minado subterráneo y a cielo abierto por la compañía minera José Campos Herrera, filial de Rutilo Mexicano S.A. de C.V. Las obras actualmente están colapsadas; una muestra de esquirla con ancho de 5 m, en vetilleo irregular de cuarzo de 2 a 6 cm de espesor, dio valores de 2.85% Ti. *La Montaña I*, trabajada en la misma época con valores de titanio de 5% a 50%, actualmente está derrumbada; se colectaron, dos muestras y la ley promedio de titanio es 1.89%. En *Tizur* los valores promedio de titanio obtenidos en tres muestras son del orden de 2.30%. En la manifestación *La Venta* una muestra dio valores de 0.21% de Ti y 0.02% Cu. *Margaritas I* en tres muestras el promedio de ley es de 0.402% Ti. En *Margaritas II*, se obtuvo 0.15% Ti en una muestra.

El área mineralizada San Francisco se ubica en la porción nor-noroeste, en donde se identificaron siete manifestaciones de mineral en tres cuerpos vetiformes y cuatro irregulares. La mineralogía predominante es hematita, limonita, trazas de rutilo, calcopirita y esfalerita, encajonadas en el Complejo Metamórfico. Las manifestaciones de mineral son: *Cerro Perico*, *Portillo del Rayo*, *Lindavista*, *Tierra Blanca*, *San Francisco II*, *San Francisco I* y *El Azulillo*. En Cerro Perico, los valores en 16 muestras fueron 0.32% Ti, 0.026% Cu y 0.011% Zn. Portillo del Rayo, en una muestra tiene valores de 1.22% Ti, 8.38% Fe y 0.014% Zn. En Lindavista los valores son de 0.66% Ti, 6.10% Fe y 0.012% Zn en una muestra colectada. Para Tierra Blanca los valores promedio de seis muestras son de 0.45% Ti y 0.010% Zn. Para San

Francisco II, San Francisco I y El Azulillo, se colectaron cuatro, dieciséis y cuatro muestras, respectivamente, cuyos valores de titanio van de 0.13 a 0.30%.

El área Copalita se ubica en la porción centro-noreste de la carta en donde se definió un prospecto y diez manifestaciones de mineral irregulares y en vetas alojadas en el Complejo Metamórfico del Proterozoico medio. En el prospecto El Vergel existe una veta de 25 m de longitud y 8 m de espesor que contiene trazas de esfalerita, rutilo, hematita, limonita, pirita y cuarzo, en terreno oxidado. En una muestra colectada se obtuvieron valores de 2.53% Ti y 0.032% Zn.

En *San Mateo Piñas I* el cuerpo es irregular; una muestra dio 0.29% Ti y 0.048% Zn. Para *San Mateo Piñas II* solo se tomó una muestra que dio leyes de 0.95% Ti y 0.023% Zn. La veta *Río Temblor*, de 1.8 m de espesor, reportó 0.31% Ti, 8.98% Fe y 0.012% Zn. En el cuerpo lenticular de *Chuchupastle*, las leyes promedio de dos muestras fueron 0.35% Ti, 3.13% Fe y 0.010% Zn. En la veta *La Violeta*, con espesor de 1.2 m, los valores obtenidos de un total de trece muestras es de 0.30% Ti, 4.30% Fe y 0.014% Zn. En *Cerro León*, un cuerpo irregular que continua por lo menos unos 200 m, los valores de cinco muestras son de 0.09% Ti, 7.86% Fe y 0.013% Zn. En *Los Naranjos*, la veta se puede seguir a lo largo de 100 m con espesor de 8 m, en cuatro muestras las leyes reportadas fueron de 0.18% Ti, 15.86% Fe y 0.024% Zn y 0.010 g/t Au. En *San Miguel* se tomaron cuatro muestras cuyas leyes son de 0.18% Ti, 6.79% Fe y 0.016% Cu. En *Copalita*, la estructura corresponde a un dique de 0.50 m de espesor con bajos valores, al igual que en *El Perdiz*.

Se ubicaron en la caliza-dolomía de la Formación Teposcolula cinco localidades, *Cerro Palma*, *Llano Flor*, *El Vergel I*, *Cerro Hacha I*, y *Cerro Hacha II*, como prospectos para obtener carbonato de calcio y magnesio.

Se localizó un prospecto de roca dimensionable en la unidad granito-granodiorita del Tronco Pochutla, con un potencial importante porque tiene buena respuesta al corte y pulido, y una tonalidad moteada en tonos blancos y negros. Cumple con las pruebas físicas de las normas ASTM-C-503-03 y ASTM-C-568-03.

Se ubicaron ocho bancos de material inactivos, desarrollados en las diferentes unidades litoestratigráficas, de donde se obtenía grava y arena, utilizadas para el revestimiento de caminos de terracería de la región.

Con la interpretación de los resultados del muestreo de sedimento de arroyo, se determinaron como elementos indicadores de la mineralización al Cu, Ca, Co, Ba, Be, y Ti. Las anomalías obtenidas del análisis multielemental se asocian con las áreas mineralizadas de San Francisco y Copalita.

El análisis del Au indica que sólo se asocia a la zona milonítica de la falla Chacalapa, posiblemente relacionado a yacimientos tipo oro orogénico.

El mapa de distribución del titanio se asocia directamente con la mineralización del distrito minero Pluma Hidalgo, con anomalías al oriente de dicha zona y en la esquina suroeste de la carta.

I. INTRODUCCIÓN

I.1. OBJETIVO DEL ESTUDIO

Con el propósito de proporcionar al sector minero y al usuario en general, de manera más completa y eficiente el servicio de información geológico-minera de nuestro país, el Servicio Geológico Mexicano instituyó un programa de infraestructura básica geológica-minera con el fin de generar toda la información de campo necesaria para la elaboración de cartas geológico-mineras, geoquímicas (31 elementos) y magnéticas, en formato cartográfico 1:50,000 y 1:250,000; con el objetivo de realizar el cubrimiento del territorio nacional.

El caso del presente estudio, consistió en realizar la cartografía geológico-minera y geoquímica de la carta San José Chacalapa, escala 1:50,000, clave D14-B18, realizando estudios de interpretación de imágenes de satélite, mapeo de unidades litoestratigráficas, zonas de alteración; paralelamente se realizó un estudio geoquímico de sedimentos activos de arroyo; así como la prospección minera con su respectivo inventario e interpretación correspondiente, además de un estudio de magnetometría aérea, el cual no es parte de este informe.

I.2. TRABAJOS PREVIOS

Durante la primera etapa de trabajo se realizó la consulta y compilación de información geológica-minera de la región, entre los que destacan estudios específicos y regionales realizados por el Servicio Geológico Mexicano y otros elaborados por instituciones de investigación y empresas particulares; se describen brevemente los más relevantes en orden cronológico (**Figura 1**).

Fries C. J., 1962, determinó la edad Grenvilliana calculada para las rocas metamórficas del Complejo Oaxaqueño, con lo cual se sugirió la continuación hacia el sur del cratón Norteamericano del Precámbrico tardío.

Paulson E. G., 1962, estableció que el depósito de Pluma Hidalgo es uno de los pocos de

Norteamérica que contiene rutilo y propone un modelo para explicar el origen del titanio y apatito.

Fries C. J. *et al.*, 1965, obtuvieron nuevos datos geocronológicos del Complejo Oaxaqueño.

Ortega G. F., 1977, elaboró el estudio de los mármoles cipolinos y su carácter intrusivo en el Complejo Oaxaqueño.

Ortega G. F., 1981, estableció que la inestabilidad tectónica es el signo más significativo de la evolución geológica del sur de México durante el Pre-Mississippi y en el Carbonífero.

Ortega G. F. *et al.*, 1986, estudiaron la falla Chacalapa describiéndola y denotando que los basamentos del terreno Zapoteco y Chatino se funden en un solo cinturón milonítico, le dan una edad tentativa de Cretácico tardío.

Tolson J. G. *et al.*, 1993, llevaron a cabo un estudio de la región entre Puerto Ángel y Río Ayutla, reconociendo las características petrológicas de los complejos Oaxaqueño y Xolapa, así como una zona de milonita que los separa a lo largo de la falla Chacalapa.

Morán Z. D. J. *et al.*, 1996, realizaron en el Complejo Xolapa, un estudio de la geobarometría de hornblenda de rocas ígneas, geocronología y datos de campo para inferir un episodio de levantamiento y erosión tectónica entre el Oligoceno tardío y el Mioceno medio, en el margen continental del suroeste de México.

Tolson J. G., 1998, en su tesis doctoral hizo un análisis estructural, enfocándose en la falla Chacalapa y su prolongación tanto al oriente como al poniente con una distorsión interna de sus rocas y deformación frágil generada por fallas laterales.

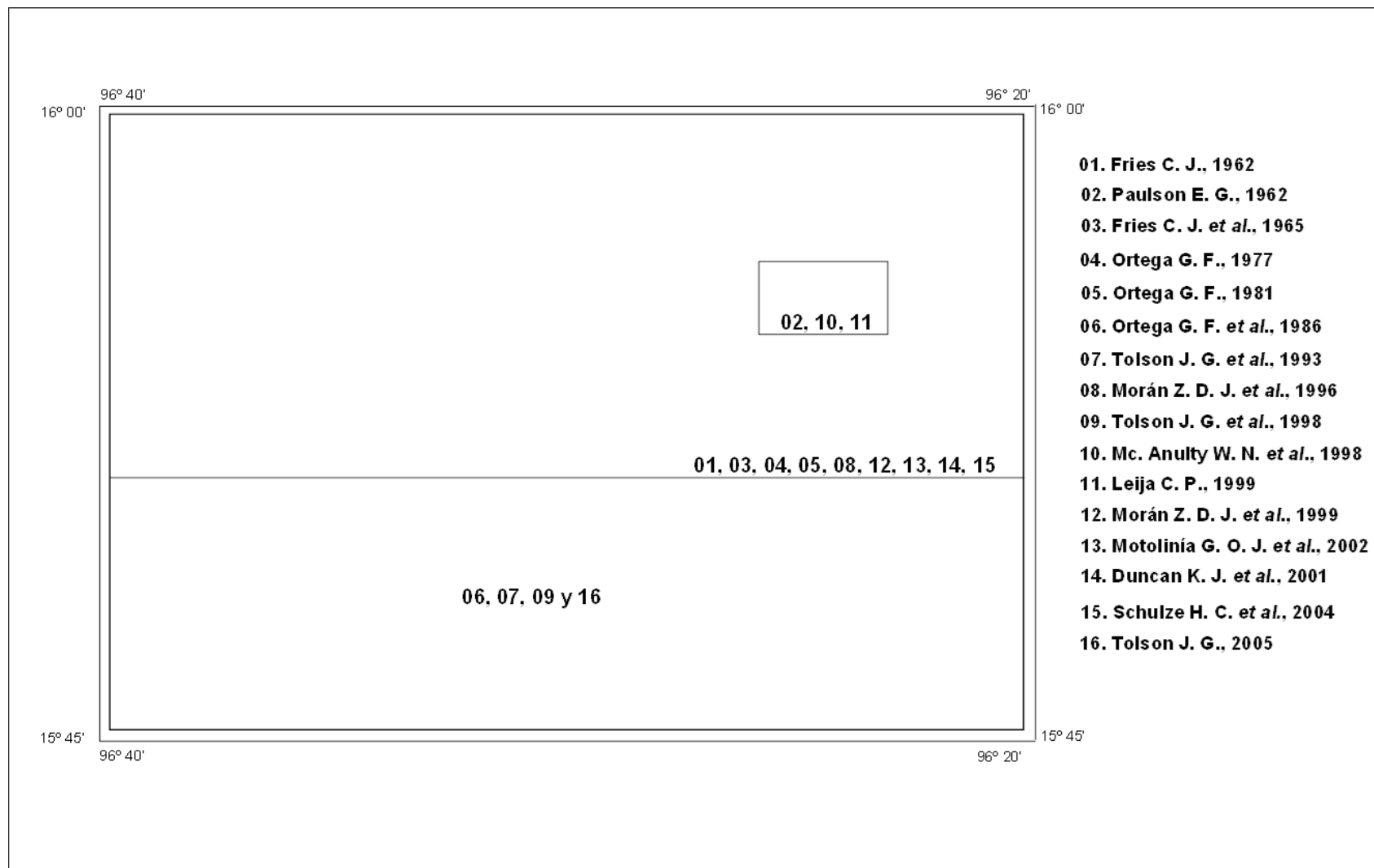


Figura 1. Trabajos previos

Mc. Anulty W. N. *et al.*, 1998, realizaron exploración geológica, geoquímica y barrenación en la mina Tizur, en donde determinaron las zonas anómalas Titanio norte y Titanio sur, actualmente abandonada.

Leija C. P., 1999, realizó estudio geológico evaluativo del lote Tizur en Pluma Hidalgo, Oax., donde menciona que la mineralización de rutilo e ilmenita está contenida en la foliación de las rocas metamórficas y que el mineral se concentra en cuerpos masivos irregulares.

Morán Z. D. J. *et al.*, 1999, interpretaron al terreno Xolapa como un arco magmático deformado en el límite convergente de los terrenos cristalinos más antiguos del sur de México.

Duncan K. J. *et al.*, 2001, realizaron un estudio en el Complejo Oaxaqueño, el cual es el resultado de un metamorfismo de facies granulita de un arco de edad Grenvilliana (980 Ma).

Motolinía G. O. J. *et al.*, 2002, elaboraron el informe geológico-minero de la carta Puerto Escondido clave D14-3, escala 1:250,000, estado de Oaxaca, estableciendo la columna estratigráfica y la definición de área mineralizadas.

Schulze H. C. *et al.*, 2004, llevaron a cabo el estudio sobre dataciones en rocas precámbricas del Complejo Oaxaqueño, mencionando que en el Terciario medio hubo una exhumación, asimismo estudio el límite tectónico entre los complejos Oaxaqueño y Xolapa.

Tolson J. G., 2005, llevó a cabo un estudio al sur de Oaxaca, donde las rocas del Complejo Xolapa se encuentran intrusionadas por granitos de edad Paleógeno al Mioceno y en contacto tectónico con las rocas del Complejo Oaxaqueño, a lo largo de la falla Chacalapa, de cinemática lateral izquierda.

1.3. MÉTODO DE TRABAJO

En la primera etapa se realiza la compilación de información bibliocartográfica publicada e inédita con el propósito de recabar, ordenar y clasificar la información especializada de la carta a realizar.

Paralelamente se procede a la interpretación de la imagen de satélite (Landsat TM) y modelo digital de elevación.

Posteriormente con el análisis y síntesis de la información y las interpretaciones se establece el marco geológico-minero y la problemática a resolver.

Al inicio de los trabajos de campo, se realiza el reconocimiento general del área con la finalidad de observar y reconocer, en campo, la información de trabajos realizados previamente por otros autores; definir los criterios cartográficos en función del marco geológico y escala de la carta; el agrupamiento o separación de las unidades geológicas a cartografiar, considerando prioritariamente los criterios utilizados en cartas elaboradas previamente por el SGM; así como elaborar el programa de muestreo geológico-minero con base en necesidades específicas de la carta a elaborar.

En un tiempo estimado de 10 meses como máximo, se realiza el mapeo geológico, el cual consiste básicamente de:

a).- Descripción las unidades litológicas.

b).- Medición de datos estructurales (estratificaciones, fracturas, foliaciones, fallas, pliegues, etc.).

c).- Determinación de las relaciones estratigráficas y/o tectónicas.

d).- Obtención de muestras enfocadas a resolver problemas específicos:

- Petrográficas, para resolver problemas litológicos y estructurales.

- De roca, para análisis de elementos mayores (roca total) para determinar evolución magmática y ambiente geodinámico.

- Paleontológicas y/o isotópicas, para resolver problemas estratigráficos.

Paralelamente se realiza la ubicación y toma de datos de los yacimientos minerales, que consiste en lo siguiente:

- Yacimientos metálicos (estatus, obras mineras, sustancia, clave, roca encajonante, mineralogía, dimensiones y forma, etc.).

- Yacimientos no metálicos (estatus, mineral, obras mineras, clave, roca encajonante, unidad estratigráfica, forma y dimensiones, potencial, etc.).

- Bancos de materiales (estatus, roca, unidad estratigráfica y producto).

- Plantas de beneficio (ubicación con GPS, razón social, tipo de beneficio, producto final y capacidad).

2).- Medición de las estructuras mineralizadas.

3).- Definición del contexto geológico de los yacimientos.

4).- Definición de las alteraciones hidrotermales.

5).- Obtención de muestras, considerando la información previa de cada una de las localidades, para estudios de difracción o fluorescencia de rayos X, minerográficos, esquirlas, paragenéticos, caracterización física, inclusiones fluidas, etc.

6).- Toma de fotografías representativas de las principales características de las unidades y estructuras, así como de yacimientos minerales e infraestructura minera.

Los datos puntuales como son datos estructurales, localidades de muestreo, ubicación de entidades mineralizadas, puntos de control, etc., se ubican con posicionador (GPS), registrando en una bitácora las características de cada punto.

Las actividades de gabinete consisten en:

- Transformar los datos obtenidos del GPS a archivos PCX5, depurarlos y posteriormente convertirlos en EXCEL a base de datos.

- Plasmar los datos obtenidos en los planos correspondientes.

- Construcción de la columna estratigráfica en función de las observaciones de campo y datos de laboratorio (edades paleontológicas y/o isotópicas).

- Elaboración e interpretación de secciones geológicas representativas del área.

- La última etapa consiste en realizar la síntesis e integración de la información gráfica y el texto explicativo de la misma.

II. GEOGRAFÍA

II.1. LOCALIZACIÓN Y EXTENSIÓN

Se ubica en la porción sureste de la República Mexicana, en la parte sur del estado de Oaxaca, limitada por las coordenadas geográficas 15° 45' a 16° 00' de latitud norte y 96° 20' a 96° 40' de longitud oeste, cubre una superficie de 994 km².

II.2. ACCESO Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

La principal vía de acceso al área de estudio se realiza por la carretera federal No. 175 que comunica a la ciudad de Oaxaca con San Pedro Pochutla, atraviesa burdamente la carta de norte a sur por la parte central (**Figura 2**).

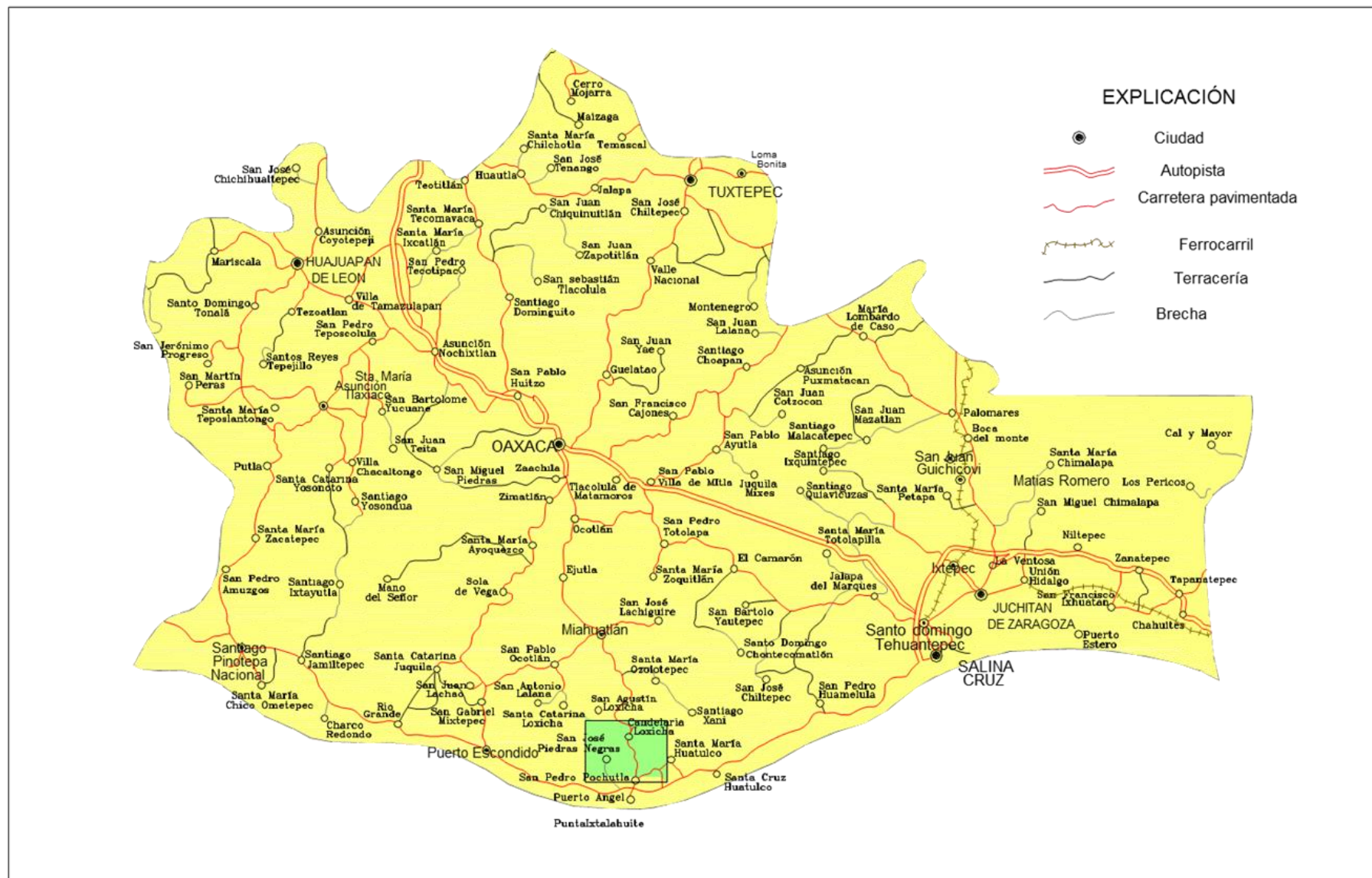


Figura 2.- Acceso y vías de comunicación

La porción noreste de la carta, se comunica por caminos de terracería en buen estado que se derivan de la carretera federal No. 175, de la localidad de Copalita se tiene un camino de terracería que conduce a San Mateo Piñas, de este sitio se desprende la carretera pavimentada que comunica con los poblados de Pluma Hidalgo y San Pedro Cafetitlán; hacia el oriente y suroriente, existen caminos de terracerías que conducen a La Herradura, San Isidro Apango, Santa María Limón y San Miguel Figueroa; la parte norte y norponiente, se comunica por caminos de terracería que conducen a las localidades de San Isidro del Camino, Lindavista, Portillo del Rayo, Buenavista Loxicha, Tierra Blanca y San José de La Unión. De la carretera federal No. 200 Puerto Escondido-Salina Cruz, en el tramo de La Escobilla al Crucero, se desprenden caminos que comunican a las porciones poniente y suroeste que unen a la cabecera municipal de Santa María Tonameca y Santo Domingo de Morelos con las comunidades de Los Horcones, San José Piedras Negras y San Francisco Loxicha.

II.3. FISIOGRAFÍA

El área de la carta, queda comprendida dentro de la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur y en la subprovincia Planicie Costera del Sur (Raisz E., 1964) (**Figura 3**).

La morfología, está representada por llanos y llanuras con lomeríos bajos de suave pendiente que incrementan su pendiente hacia el norte para formar montañas medias, masivas, escalonadas y trezadas de fuerte pendiente.

Dentro de la provincia Sierra Madre del Sur quedan comprendidas las cabeceras municipales de: San Pedro Pochutla, Santa María Tonameca, Santo Domingo de Morelos, Pluma Hidalgo, Candelaria Loxicha y San Mateo Piñas; siendo las principales prominencias topográficas los cerros: León, Espino, Cantor Tepehuaje y Huatulco (1,000 a 2,400 msnm).

Los ríos más importantes en el área de estudio son: San Miguel, Copalita, Magdalena, Río Grande, San Francisco y Santo Domingo.

Las corrientes principales junto con sus tributarios, marcan tres patrones de drenaje: sub-paralelo, rectangular y radial.

El drenaje sub-paralelo está distribuido en las zonas más elevadas del área, principalmente en los sectores noreste y noroeste.

En los controles estructurales se desarrolla el drenaje rectangular, tal es el caso de la traza de la falla Chacalapa, en los sectores oeste y centro por donde a través de ella siguen su curso los arroyos y ríos principales como Toltepec, Sancudo y San Juan.

La red radial presenta dos tipos: centrífugo y centrípeto. El primero se localiza en los sectores noreste y suroeste; en los cerros Bandera y Las Pavas.

Mientras el centrípeto, se sitúa en los sectores noreste, oriente y norte, en donde varios afluentes se unen para formar los ríos Magdalena y San Juan.

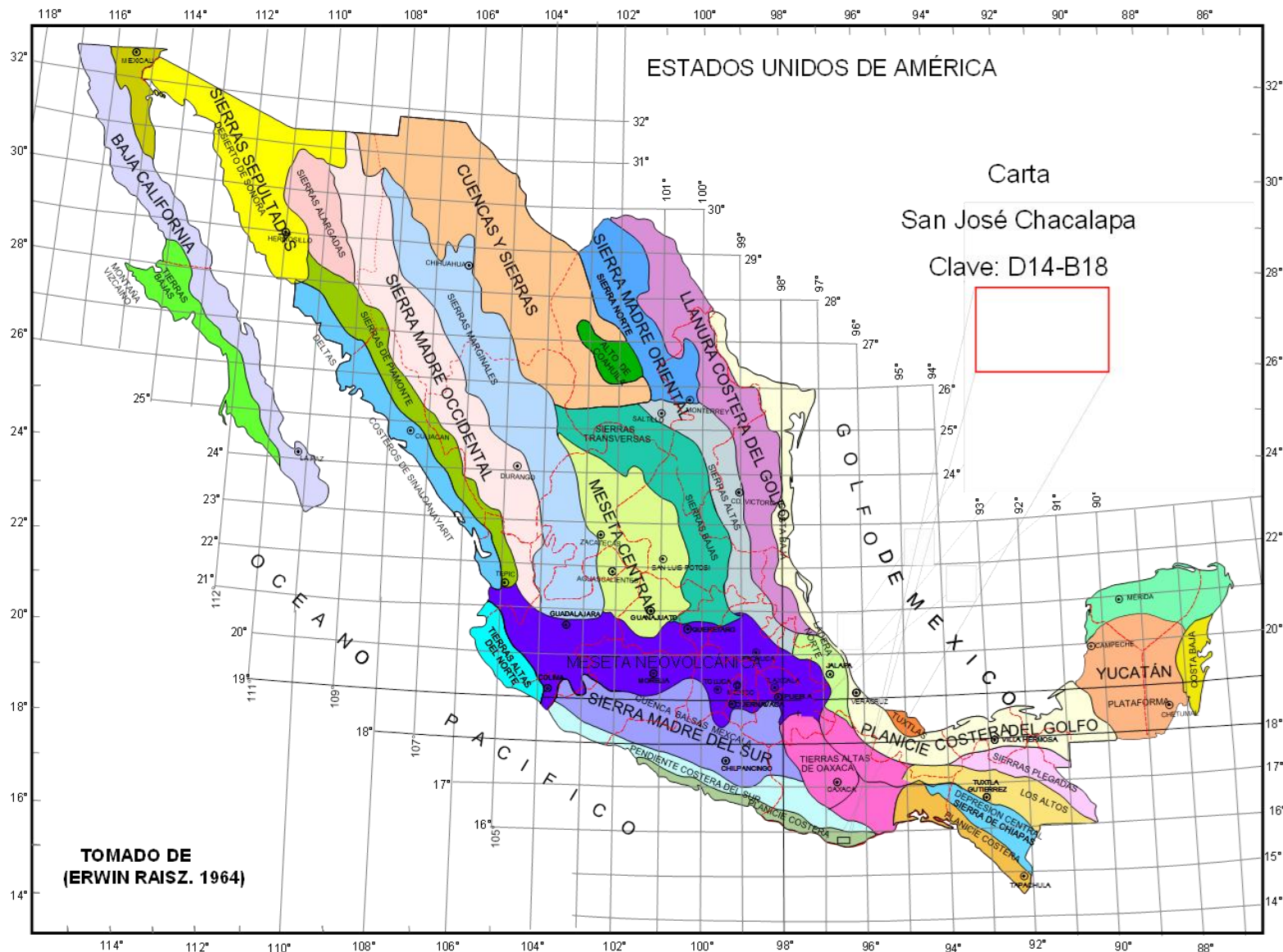


Figura 3. Provincias Fisiográficas de Raisz

III. GEOLOGÍA

III.1. MARCO GEOLÓGICO

En el área estudiada se tiene el terreno Oaxaca ampliamente distribuido, las rocas metamórficas que lo conforman son parte del basamento denominado Complejo Oaxaqueño, constituido por rocas granulíticas de edad Grenvilliana y una cobertura estratigráfica bien diferenciada con límites tectónicos reconocidos. Fue descrito por Campa U. M. F. *et al.* (1982), posteriormente es denominado terreno Zapoteco por Sedlock R. L. *et al.* (1993) (en Morán Z. D. J. *et al.*, 2005).

Fries C. J., 1962, propuso el nombre de Complejo Oaxaqueño para designar a una secuencia de rocas metamórficas gnéisicas, conformada por ortogneis cuarzo-feldespático, paragneis con grafito y mármoles cipolino, anfíbolita, charnockita, anortosita y pegmatita, características de un metamorfismo en facies de granulita. Afloran en la porción central y sur del estado de Oaxaca.

En tanto que Ortega G. F. (1981), menciona que este complejo metamórfico está constituido fundamentalmente de paragneis y en menor cantidad ortogneis y cuerpos anortosíticos, con un grado de metamorfismo de facies de granulita.

Fries C. J. (*op cit*), realizó dataciones radiométricas para demostrar que estas rocas son las más antiguas del sur del país, en tanto que con estudios petrográficos se encontró que las rocas de este complejo muestran una extraordinaria similitud con rocas de Adirondacks del noreste de Estados Unidos y de Québec-Ontario en Canadá, considerando a las rocas de esta región de México, e incluyendo a las expuestas en Hidalgo y Tamaulipas como una extensión del Cratón de Norteamérica, con estos datos e información reciente Ortega G. F. (1998) (en Duncan K. J. *et al.*, 2010), considera la existencia de un nuevo continente al que denomina Oaxaquia, considerando hipotéticamente que éste formó parte del supercontinente Rodinia.

Los registros geológicos del Precámbrico señalan que las rocas del Complejo Oaxaqueño formaban

parte de una corteza juvenil que se desarrolló en un arco magmático (1300-1200 Ma) en la cuenca de antearco de esta corteza se depositó un espesor de varios miles de metros de sedimentos miogeosinclinales o parcialmente continentales (Duncan K. J. *et al.*, 2003b; Duncan K. J. *et al.*, 2007 (en Duncan K. J. *et al.*, 2010). Este paquete de sedimentos fue intrusionado por grandes volúmenes de sienita, granito y anortosita con la parte más tardía de la cual es sincrónica con la migmatización (1160-1100 Ma), asimismo existió otro segundo evento de emplazamiento de anortosita, gabro, charnockita, y granito (1035-1010 Ma). Se cree que el Complejo Oaxaqueño en la paleogeografía se localizaba en un margen activa de Amazonia (1300-900 Ma), colisionando con la parte oriental de Laurasia (1200-1000 Ma) (Tohver E. *et al.*, 2002, 2004; Elming S. A. *et al.*, 2009 (en Duncan K. J. *et al.*, 2010).

Sus dataciones isotópicas, aún a pesar de su variabilidad confirman su edad Proterozoico medio, correspondiendo al Precámbrico con edades absolutas entre los 900 a 1100 Ma, es considerado como basamento de un arco Grenvilliano (Duncan K. J. *et al.*, 2001), a su vez Solari L. A. *et al.* (2003) y Duncan K. J. *et al.* (2003) (en Duncan K. J. *et al.*, 2010), de acuerdo a sus características litológicas y cronológicas.

La historia pre-Pensilvánico-Pérmica tanto del terreno Oaxaca como Mixteco, está ligado al origen y evolución del Orógeno Apalachiano, en la que queda registrada la apertura y clausura del Océano Iapetus durante el Paleozoico (Bird J. M. *et al.*, 1970 (en Ortega G. F., 1981)).

El terreno Oaxaca se constituye como una prueba de la apertura del Iapetus, ya que su basamento Grenvilliano cuya posición durante el Precámbrico indiscutiblemente formaba parte de Norteamérica, para el Ordovícico, se constituía ya como un elemento situado en el Continente Meridional de la Gondwana (Whittington H. B. *et al.*, 1974 (en Ortega G. F., 1981)).

Durante el Pensilvánico-Pérmico se puede pensar en que ambos terrenos Oaxaca y Mixteco se encuentran ya amalgamados. De lo anterior se infiere que ambos terrenos por lo tanto, debieron entrar en contacto durante el Devónico como una clausura del Iapetus (Urrutia F. J. H., 1984 (en Ramírez E. J., 1984)).

Sobreyaciendo al basamento Precámbrico de Oaxaca se han reportado pequeños afloramientos de una secuencia sedimentaria formada por calizas que corresponden al Cámbrico-Ordovícico de la Formación Tiñu (Pantoja A. J. *et al.*, 1967 (en Ortega G. F., 1981)). Algunos trilobites reportados en esta formación y que se sitúan en el Tremadociano, según su afinidad paleogeográfica, son característicos de Gondwana (Whittington H. B. *et al.*, 1974 (en Ortega G. F., 1981)).

La ausencia de sedimentos jurásicos sobre el terreno Oaxaca (o quizá no reportados hasta la fecha), lleva a establecer variantes en la interpretación de los momentos de amalgamamiento de los terrenos Mixteco y Oaxaca. La presencia del Jurásico medio únicamente en el terreno Mixteco, se considera que es debido a que ambos terrenos se unieron antes del Pérmico, compartiendo una historia común y posteriormente se separaron, de tal forma que durante el Jurásico evolucionaron de manera independiente para volverse a unir finalmente antes del Cretácico inferior. A través del análisis de la información geológica, paleontológica y geofísica, de los distintos terrenos tectonoestratigráficos que forman la Sierra Madre del Sur, se considera que los terrenos Mixteco y Oaxaca, son elementos fundamentales de ella, se acrecionaron en el Cretácico inferior (Ramírez E. J., 1984).

Los terrenos Maya, Juárez, Oaxaca y Mixteco, se consideran como un terreno superpuesto, con el cual culmina la individualidad de cada uno de ellos, lo que implica su acreción pre-Cretácica inferior. A fines del Barremiano (Abad T., 1975; Sosa M., 1984 (en Ramírez E. J., 1984)), se empiezan a desarrollar las primeras facies continentales y mixtas que nos anuncian la completa transgresión proveniente del golfo, que cubre por completo a todos los terrenos durante el Albiano-Cenomaniano, formando plataformas.

Estudios regionales en Oaxaca, determinaron que en los terrenos Mixteco y Oaxaca, hacia el Cretácico inferior, la etapa distensiva existente cambia a fallamiento transformante (en la cuenca

de Tlaxiaco), donde se depositan sedimentos de plataforma somera y profunda, y más al oriente sobre del Complejo Oaxaqueño se deposita la Formación San Isidro (Ortega G. J. V. *et al.*, 1991 (en Santamaría D. A., 2006)).

La Formación San Isidro, fue estudiada primeramente por López T. D. (1970) (en Santamaría D. A., 2006), describe la secuencia y la denomina como Grupo Sabinal compuesta por cuatro miembros que van desde el Kimmerídgiense al Hauteriviense, posteriormente Cartagena (1981) (en Santamaría D. A., 2006), hace una separación y determina que uno de los miembros (inferior) es de edad jurásica y los restantes pertenecen al Cretácico inferior y los agrupa en la Formación San Isidro, denominándoles como Grupo Tlaxiaco.

El nombre de Caliza Teposcolula fue propuesto por primera vez por Salas G. P. (1949) (en Santamaría D. A., 2006), para designar a las calizas que afloran en los poblados de San Pedro y San Juan Teposcolula, y que continúan hacia al sur de Tlaxiaco, asignándole una edad del Jurásico superior, posteriormente López T. D. (1969) (en Santamaría D. A., 2006), corrigió la edad de la Caliza Teposcolula y la asignó al Cretácico medio, Ferrusquía V. I. (1970, 1976) (en Santamaría D. A., 2006), propuso formalmente como Formación Teposcolula, para designar a las rocas que conforman el macizo central que se extiende al norte desde la carretera federal 190, hasta el sur cerca de Tlaxiaco, y le asigna una edad del Albiano-Coniaciano.

González R. A. *et al.*, 2000 (en Santamaría D. A., 2006), menciona que la Formación Teposcolula está constituida por depósitos calcáreos que consisten en caliza y dolomía con nódulos y lentes de pedernal.

Por último Ortega G. J. V. *et al.* (1991) (en Santamaría D. A., 2006), la denomina Formación Teposcolula y le asigna una edad Albiano-Cenomaniano. La localidad tipo de esta unidad se localiza entre San Pedro y San Pablo Teposcolula, Oaxaca.

El terreno Xolapa está conformado por rocas metamórficas de corteza continental media, y numerosos batolitos (Ortega G. F., 1981). Estos últimos han arrojado edades comprendidas entre el Jurásico medio y el Terciario temprano (Morán Z. D. J., 1992; Herrmann *et al.*, 1994; Ducea *et al.*, 2004; Schaaf P. *et al.*, 1995, (en Solari L. A. *et al.*, 2007))

y se encuentran emplazados en un basamento metamórfico más antiguo, que muestra una afinidad isotópica Grenvilleana (Morán Z. D., 1992; Herrmann, *et al.*, 1994; Ducea, *et al.*, 2004 (en Solari L. A. *et al.*, 2007) o terreno Chatino (Sedlock R. L. *et al.*, 1993 (en Solari L. A. *et al.*, 2007)).

Un evento de migmatización principal ha sido reconocido en las rocas de este terreno (Ortega G. F., 1981). Herrmann, *et al.* (1994) (en Solari L. A. *et al.*, 2007), infirieron una edad entre 66 y 46 Ma para la migmatización. Sin embargo, en la región de Tierra Colorada, Solari L. A. *et al.* (2007), han obtenido una edad U-Pb en zircón de ~129 Ma para el plutón no migmatizado de El Pozuelo.

Las rocas del terreno Xolapa se han interpretado como un arco continental alóctono del Jurásico-Cretácico, acrecionado a la margen pacífica de Norteamérica (Campa U. M. F. *et al.*, 1983; Ortega G. F. *et al.*, 1995; Dickinson W. R. *et al.*, 2001, (en Solari L. A. *et al.*, 2007); Corona C. P. *et al.*, 2006), y que experimentó una rápida exhumación durante el Terciario superior.

Estudios recientes también sugieren que durante el Cretácico tardío al Paleoceno el área del Complejo Xolapa se caracterizó por el acortamiento dirigido hacia el norte cerca de Tierra Colorada (Torres L. R. *et al.*, 2004 (en Solari L. A. *et al.*, 2006)) o transpresión cerca de Chacalapa (Corona C. P. *et al.*, 2006). De manera similar, un régimen transpresivo afectó a las secuencias sedimentarias y volcánicas del Maastrichtiano al Paleoceno inferior en un área amplia situada al norte del Complejo Xolapa.

Los rasgos de deformación dominante cerca de, o en el límite norte del Complejo Xolapa han sido interpretados como producto de un régimen lateral izquierdo con direcciones extensas de NE-SW, NW-SE asociadas con zonas de cizalla expuestas en rocas de la corteza media-inferior (Ratschbacher L. *et al.*, 1991; Riller U. *et al.*, 1992; Morán Z. D. J. *et al.*, 1996, (en Solari L. A. *et al.*, 2007); Meschede M. *et al.*, 1996; Tolson J. G., 1998, 2005; Corona C. P. *et al.*, 2006). Estas zonas miloníticas han sido propuestas en Tierra Colorada, Juchatengo (Ratschbacher L. *et al.*, 1991; Riller U. *et al.*, 1992, (en Solari L. A. *et al.*, 2007)), y zonas de Chacalapa (Tolson J. G., 2005; Corona C. P. *et al.*, 2006).

La Secuencia Piedras Negras, denominada informalmente, corresponde a una secuencia volcánico sedimentaria milonitizada que aflora paralela a la falla Chacalapa. Por sus

características litológicas se correlaciona con rocas del Arco Chontal descrito por Carfantán J. C. (1986), también guarda cierta similitud con una secuencia expuesta al norte de Acapulco denominada Formación Chapolapa, su litología consiste de cuarcita, metarcosa, metagrawaca, metadacita y mármol, esta secuencia se ha considerado como una escama o cuerpo alóctono muy diferente a los terrenos antes descritos, por lo cual se considera separada de ellos (Motolinía G. O. *et al.*, 2002; Hernández T. T. *et al.*, 2007).

Los estudios de zonas de cizalla en las áreas de Tierra Colorada, Juchatengo (Ratschbacher L. *et al.*, 1991; Riller U. *et al.*, 1992; Morán Z. D. J. *et al.*, 1996, (en Solari L. A. *et al.*, 2007)) y Chacalapa (Tolson J. G., 2005; Corona C. P. *et al.*, 2006) reportan un régimen divergente, oblicuo y principalmente lateral izquierda; activas por lo menos desde el Eoceno tardío y están limitadas por las edades de los intrusivos en la zona.

La edad de las rocas miloníticas y cataclasitas de la falla Chacalapa se sitúa entre los 29 y 23 Ma; además registran deformación transtensional, Tolson J. G. (1998, 2005). El mismo autor considera que la milonita de la cizalla se formó progresivamente desde un régimen dúctil a quebradizo, lo que sugiere una exhumación progresiva. De la misma manera en Juchatengo, los pocos datos disponibles indican que la milonitización tuvo una deformación progresiva de dúctil a frágil durante el estiramiento de norte a sur.

La deformación y magmatismo cerca del margen continental ha sido ligado al desplazamiento del bloque de Chortis durante el Cenozoico temprano. Algunos autores argumentan que Chortis se separó de su posición original de la placa de Norteamérica a lo largo de un límite transformante continental. En este modelo, la migración de trinchera-trinchera-transformante de la triple unión, fue asociada con la migración de extinción magmática documentado con las etapas de los plutones a lo largo de la costa desde el Eoceno (Herrmann U. R. *et al.*, 1994; Schaaf P. *et al.*, 1995, (en Motolinía G. O. *et al.*, 2002); Meschede M. *et al.*, 1996; Morán Z. D. J. *et al.*, 1996).

En el área de estudio, la minería comenzó con el descubrimiento del yacimiento de titanio realizado por el señor Carlos J. Leyva quien envió al laboratorio del Instituto de Geología muestras a analizar en el año de 1939. En 1940, por recomendaciones de Eduardo Schmitter se

desarrollaron trabajos en el área para conocer los criaderos de titanio. Un año más tarde el instituto de geología realizó los primeros estudios de investigación del titanio de Pluma Hidalgo y fue hasta 1950 cuando el Instituto Nacional para la Investigación de los Recursos Minerales (hoy Servicio Geológico Mexicano) realizó la primera visita de reconocimiento a este depósito. Consecuentemente en 1953 el Consejo de Recursos Minerales (SGM) realizó las primeras actividades mineras con fines exploratorios.

Schulze G., 1959, realizó el estudio genético de los yacimientos de titanio de Huitzo y de la zona de Pluma Hidalgo-Apango, donde menciona el origen del depósito.

Asimismo Paulson E. G., 1962, en su tesis de maestría considera que los depósitos de rutilo se encuentran en la pegmatita anortositica y la ilmenita, cerca de los bordes de la roca, también afirma que los yacimientos minerales cristalizaron después de la roca de caja y que la depositación del titanio estuvo controlada por el gradiente térmico, brechamiento, zonas de fractura y reacciones químicas.

En 1978, Hernández G. J. F. realizó el estudio de prospección magnetométrica terrestre en la zona titanífera de Pluma Hidalgo que consistió en una serie de pruebas en la mina Tizur, verificando los cuerpos de titanio a profundidad y recomienda obras mineras directas.

Rosales G. J. *et al.*, 1979, elaboró un estudio sistemático que comprende: geología, geofísica (magnetometría) y muestreo en obras mineras existentes en la zona de Pluma Hidalgo, cubriendo 3820 toneladas positivas, 67286 toneladas probables y 975060 toneladas posibles con ley de 3% de titanio.

Force R. E., 1991, efectuó un estudio de los depósitos en Pluma Hidalgo relacionándolos a condiciones pre y post magmáticas.

Para el año de 1992, la unidad Minera José Campos Herrera S. A. de C. V., llevó a cabo la explotación de mineral titanífero (rutilo-ilmenita); al inicio la empresa transportó mineral en bruto de la unidad de Pluma Hidalgo al poblado de Ocotlán, Oaxaca, manejando una producción mensual de 1750 t/m con ley de 40% de rutilo, posterior a la instalación de la planta de beneficio en 1977, se manejó un tonelaje mensual de 2500 t/m con ley de

concentrado de 25% de rutilo (Sánchez R. D., 2004).

La empresa exploradora Minera Kennecott S. A. de C. V. realizó de 1997 a 1998, un programa de exploración en el lote Tizur (234 hectáreas), en donde realizó trabajos de geología regional y detalle, geoquímica de suelos y roca; así como registros eléctricos, desarrollo un programa de barrenación con 21 barrenos a diamante a una profundidad de hasta 201 m con recuperación de núcleo, con un total de 3,060 m, los resultados se desconocen; recomendando como área de interés económico el Lote Tizur.

Leija C. P., 1999, efectuó una evaluación minera del depósito de rutilo-ilmenita en la unidad José Campos Herrera S. A. de C. V., reportó 361,998 toneladas de reservas mineras para el área La Montaña con ley de rutilo de 9.82 %.

Durante el periodo 2000-2002, en el lote Tizur se explotaron los yacimientos de titanio en los que se cubicaron 1,460,000 toneladas con una ley promedio de 6.6 % de rutilo y 5.9 % de ilmenita, extrayendo 180 t/d.

En la localidad de Apanguito, Oaxaca, Motolinía G. O. *et al.*, 2002, reconocieron una manifestación de mineral con rutilo e ilmenita en forma diseminada y en lentes de 0.2 a 0.4 m de espesor, con leyes de 5.5 a 6% de Ti y 10% a 4.2% de Fe.

III.2. ESTRATIGRAFÍA

La columna estratigráfica de la carta está constituida por anortosita, ortogneis y paragneis pertenecientes al Complejo Oaxaqueño de edad Proterozoico medio, del Jurásico superior-Cretácico inferior se tiene a la secuencia vulcanosedimentaria conocida como Piedras Negras, así como caliza y dolomía de la Formación Teposcolula de edad Albiano-Cenomaniano. Toda la columna está intrusada por cuerpos intrusivos granito-granodiorita de edad Oligoceno-Mioceno (**Figuras 4 y 5**).

III.2.1. Terreno Oaxaca

El área estudiada está comprendida dentro del terreno tectonoestratigráfico Oaxaca (Zapoteco) cuyo basamento es el denominado Complejo Oaxaqueño, considerado como el más antiguo del sur de México. Por sus características litológicas y

cronológicas, se correlaciona con la Provincia Grenvilliana de América del Norte.

III.2.1.1. Anortosita (pTm An)

Fue descrita en la sección Nochixtlán-Oaxaca por Ortega G. F. (1981), como una metaanortosita masiva con relictos de megacristales de plagioclasa y piroxeno, con bandas concordantes de nelsonita hacia la parte del contacto con ortogneis.

Paulson E. G. (1962), la reportó cerca de Pluma Hidalgo como una roca con alto contenido de rutilo, ilmenita, augita y apatito.

Se identificaron dos afloramientos, el primero de mayores dimensiones se localiza en el límite Este, el segundo en la parte norponiente de la carta.

Su litología consta principalmente de anortosita.

De esta unidad se describe la siguiente sección:

Sección La Montaña-Providencia.- Se ubica en la parte oriente y nororiente de la carta, entre las localidades de La Montaña y Providencia y las coordenadas UTM 14Q 776755E-1758796N y 777138E-1761952N, aflora cuerpo masivo de anortosita de color blanco, gris y verde en muestra sana, intemperiza a tonos amarillento, castaño y ocre, con textura porfidoblástica y estructura foliada, constituida por plagioclasa, cuarzo gris azulado elongado, epidota, hematita e ilmenita alojada intersticialmente así como rellenando vetillas (**Fotografía 1**).

En este estudio se calculó un espesor de 500 m. A esta unidad se le han determinado edades entre 1,100 y 1,000 Ma (Anderson T. H. *et al.*, 1971; Ortega G. F., 1977; Patchett P. J. *et al.*, 1987, (en Motolinía G. O. *et al.*, 2002)).

El contacto de esta unidad con las rocas del Complejo Oaxaqueño es de tipo estructural (Ortega G. F., 1981).

La edad asignada es Proterozoico medio, relacionada íntimamente con las rocas de Complejo Oaxaqueño.



Fotografía 1.- Anortosita masiva con fracturas, al norponiente de La Montaña.

Esta unidad es de interés geológico minero, ya que en ella se aloja la mineralización titanífera del distrito minero de Pluma Hidalgo.

III.2.1.2. Complejo Metamórfico (pTm CM) Complejo Oaxaqueño

Fries C. J. (1962), fue el primero en describir y asignar como Complejo Oaxaqueño a una secuencia de rocas metamórficas de edad Proterozoico medio que afloran ampliamente en la zona centro y sur del estado de Oaxaca.

Posteriormente, fue definido como un basamento con estructura similar a la provincia Grenvilliana (Ortega G. F., 1981b), de facies metamórfica granulítica sobreimpresa por dos facies; una anfibolítica (Duncan K. J. *et al.*, 2001) de alta presión y otra de esquistos verdes debido a un proceso tardío de hidratación.

Ortega G. F. (1981), lo divide en dos partes estructurales, una parte superior compuesta por paragneis cuarzo-feldespático con grafito, charnockita interbandeada con gneis, migmatita, anfibolita y mármol; una parte inferior constituida por anortosita metamorfozada con ortogneis diorítico, gabróico y granítico, así como cuerpos calcosilicatados y pegmatita.

El Complejo Oaxaqueño aflora ampliamente entre las porciones noroeste, norte, noreste, central y oriental de la carta.

La litología del complejo incluye ortogneis bandeado, granulita, ortogneis con granate, anfibolita, paragneis de hornblenda y grafito, el

complejo metamórfico se encuentra afectado por una serie de diques.

Las secciones representativas del Complejo Oaxaqueño son:

Sección Buenavista Loxicha-La Soledad.-

Ubicada en la porción norte de la carta, entre las coordenadas UTM 14P 762301E-1765308N y 764367E-1767956N; aflora ortogneis bandeado de color verde oscuro y gris blanco en superficie sana, altera a tonos marrón y ocre, con textura granoblástica, estructura bandeada, foliación incipiente con bandas verdes, constituidas por hornblenda, biotita y clorita, las blancas se componen de plagioclasa, feldespato y cuarzo; se encuentra afectado por fracturamiento intenso con hematita y limonita entre planos de foliación y en fracturas (**Fotografía 2**). En la parte central, las bandas leucocráticas tienen espesores de 10 cm a 1 m, se componen de cuarzo, plagioclasa feldespato y alto contenido de granate diseminado y en concentraciones de hasta 10 cm de diámetro, (**Fotografía 3**), las bandas melanocráticas están constituidas de hornblenda, biotita, clorita, hematita y limonita, exhibe pliegues ptigmáticos, fracturamiento intenso y vetillas de cuarzo y óxidos de hierro (**Fotografía 4**).

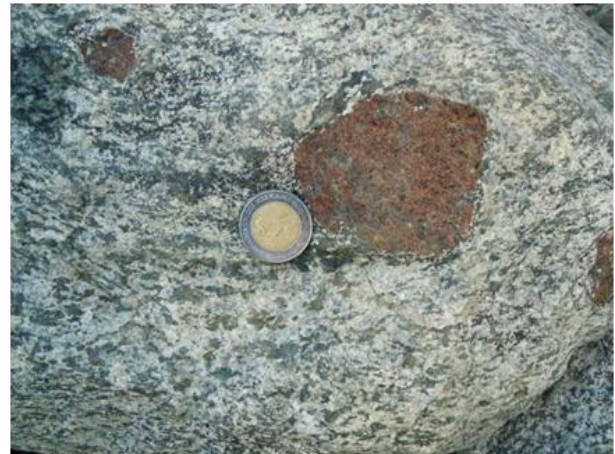
Resultado del estudio petrográfico de 1 muestra se muestra en la **Tabla 1**.

Sección	Coordenadas		Clave muestr a	Unidad litológica	Clasificació n
	X	Y			
Buenavista a Loxicha- La Soledad	76340 0	176895 4	SJ-025	pTm CM	Gneis

Tabla 1. Resultados petrográficos del Complejo Oaxaqueño



Fotografía 2. Ortogneis de hornblenda bandeado, silicificado con fracturamiento intenso, al noreste de Buenavista Loxicha.



Fotografía 3. Ortogneis con concentración de granate, al noreste de Buenavista Loxicha.



Fotografía 4. Ortogneis mostrando bandeamiento y pliegues ptigmáticos, al suroeste de La Soledad.

Sección El Pacífico-Lindavista.- Se localiza en la porción norte del área, entre las coordenadas UTM 14Q 771474E-1764448N y 768496E-1767915N; ortogneis bandeado y granulita; el primero es de color gris, verde oscuro y blanco en superficie fresca, intemperiza a tono ocre y amarillento, con textura granoblástica y estructura bandeada con foliación poco penetrativa, las bandas leucocráticas presentan espesores de 1 a 30 cm, constituidas de cuarzo, plagioclasa, feldespato y granate, las melanocráticas tienen de 1 a 60 cm de espesor, y están compuestas por hornblenda, biotita y hematita, exhibe fracturamiento intenso, saturado por hematita y limonita, con fuerte alteración meteórica (**Fotografía 5**); la granulita, es de color verde oscuro, gris y blanco en muestra sana, intemperiza a tono ocre y amarillento, con textura granoblástica, estructura bandeada, las bandas oscuras varían de 2 cm a 1 m de espesor, se componen de piroxeno, clorita y hematita, las bandas claras presentan espesores de 1 a 10 cm, se constituyen de plagioclasa, cuarzo y granate, presenta fracturamiento intenso.



Fotografía 5. Detalle gneis con bandas verdes y claras con granate, al surponiente de El Pacífico.

Resultados de 3 estudios petrográficos se muestran en la **Tabla 2**.

Sección	Coordenadas		Clave muestr a	Unidad litológica	Clasificaci ón
	X	Y			
El Pacífico- Lindavist a	77416 0	176479 6	SJ-097	pTm CM	Gneis
	77073 0	176496 0	SJ-096	pTm CM	Granulita
	76849 6	176791 5	SJ-027	pTm CM	Ortogneis

Tabla 2. Resultados petrográficos del Complejo Oaxaqueño

Sección Río Platanal.- Ubicada en el límite de los sectores norponiente y norte, entre las coordenadas UTM 14P 761392E-1761442N y 762651 E-1763827 N; aflora ortogneis bandeado de color verde, gris y blanco, altera a tonos marrón y ocre, con textura granoblástica y estructura bandeada, las bandas melanocráticas varían de 1 a 30 cm de espesor, constituidas por hornblenda, biotita, clorita, las bandas leucocráticas tienen espesores hasta de 30 cm, formadas por plagioclasa, feldespato y cuarzo, con fracturamiento intenso (**Fotografía 6**).

Fotografía 5. Detalle gneis con bandas verdes y claras con granate, al surponiente de El Pacífico.



Fotografía 6. Ortogneis con bandas melanocráticas y leucocráticas, al sureste de Buenavista Loxicha.

Sección San Isidro del Camino-Comala.- Se localiza en los sectores norte y centro de la carta, entre las coordenadas UTM 14P 767779E-1765147N y 769800E-1756423N, aflora ortogneis bandeado, anfibolita y ortogneis milonitizado; el ortogneis bandeado es de color verde oscuro y blanco, intemperiza a tonos ocre y marrón, con textura granoblástica y estructura bandeada y foliada, las bandas claras están constituidas por, plagioclasa y cuarzo, las oscuras por hornblenda, clorita, hematita y limonita, es moderadamente susceptible al imán, con fuerte fracturamiento (**Fotografía 7**); la anfibolita es de color verde oscuro en roca sana, altera a tonos ocre y marrón, con textura granoblástica y estructura foliada, compuesta por plagioclasa, cuarzo, feldespato, hornblenda, clorita y hematita, con fracturamiento fuerte (**Fotografía 8**). El ortogneis milonitizado es de color gris, verde oscuro y blanco, intemperiza a tono amarillento, con textura granoblástica y

estructura foliada, constituido por plagioclasa, cuarzo, feldespato, hornblenda, clorita, calcita y hematita, con fracturamiento intenso.



Fotografía 7. Ortogneis de anfibolita con bandas verdes y gris claro, en las inmediaciones de El Vergel.



Fotografía 8. Ortogneis de anfibolita silicificado con bandas verdes y gris claro, en las inmediaciones de Frontera.

Se colectaron 3 muestras para su estudio petrográfico y los resultados se presentan en la **Tabla 3**.

Sección	Coordenadas		Clave muestra	Unidad litológica	Clasificación
	X	Y			
San Isidro	76797 7	176336 3	SJ-094	pTm CM	Ortogneis

del Camino	76876 7	176132 7	SJ-095	pTm CM	Anfibolita
- Comala	76913 3	175890 3	SJ-112	pTm CM	Anfibolita

Tabla 3. Resultados petrográficos del Complejo Oaxaqueño

Sección Llano Chilar-Cerro Hacha.- Se localiza en la porción nororiente de la carta, entre las coordenadas UTM 14P 782400E-1768938N y 782559E-1768020N; aflora paragneis de color gris oscuro a negro con tono verde en roca sana, altera a tono marrón y ocre, con textura granoblástica, estructura foliada y bandeada de 5 a 30 cm de espesor, constituido por plagioclasa, cuarzo gris azul, hornblenda, biotita, clorita y alta concentración de grafito muy oxidada.

Resultado del estudio petrográfico de 1 muestra se muestra en la **Tabla 4**.

Sección	Coordenadas		Clave muestra	Unidad litológica	Clasificación
	X	Y			
Llano Chilar-Cerro Hacha	78250 3	176852 9	SJ-066	pTm CM	Gneis con Gr

Tabla 4. Resultados petrográficos del Complejo Oaxaqueño

Se colecto la muestra SJ-111 (**tabla 5**), en un dique para saber su composición, el laboratorio la definió como.

Tabla 5

Coordenadas		Clave muestra	Unidad litológica	Clasificación
X	Y			
782809	1764466	SJ-111	pTm CM	Metagranito

Tomando en cuenta la complejidad estructural debido a la intensa deformación a la que ha estado sujeto el complejo, resulta poco probable una estimación confiable de su espesor, sin embargo algunos autores han reconocido una potencia máxima de 17 km (Ortega G. F., 1981).

El Complejo Oaxaqueño subyace discordantemente a caliza y dolomía de la Formación Teposcolula y es intrusionado por granito-granodiorita del Tronco de Pochutla.

La edad precámbrica del Complejo Oaxaqueño es conocida desde la década de los sesentas cuando se publicaron las primeras dataciones, Fries C. J. (1962), Fries C. J. *et al.* (1965), quienes presentan datos geocronológicos con edades de 930 ± 30 Ma, 770 ± 35 Ma, y $\sim 770 \pm 20$ y 870 ± 35 Ma, por los

métodos K-Ar en biotita y Rb-Sr en feldespato y biotita, le dan una edad de Proterozoico medio.

Posteriormente Anderson T. H. *et al.*, 1971, (en Motolinía G. O. *et al.*, 2002), obtienen una edad concordante por medio del método U-Pb en zircons de 1080 ± 10 Ma; Ortega G. F., 1977, también obtienen una edad con U-Pb en zircón de 1020 ± 50 Ma, y otra de 960 ± 15 Ma en una pegmatita sintectónica; Silver L. T., 1969, (en Ortega G. F., 1981), presenta una edad en concordancia de 1,113 Ma por medio de U-Pb en una charnockita, estas últimas edades han sido publicadas en forma de resumen, por lo tanto carecen de datos analíticos y significado tectónico, Duncan K. J. *et al.*, 2001, en la porción sur del Complejo Oaxaqueño, calcularon con U-Pb en zircons la edad de un granito con firma geoquímica intraplaca en $1,117 \pm 4$ Ma, y del metamorfismo granulítico por medio de la intersección inferior sobre la misma muestra en 988 ± 5 Ma. Los últimos datos son edades de enfriamiento de Sm-Nd sobre granates de 940 y 960 Ma (Patchett P. J. *et al.*, 1987, (en Solari L. A. *et al.*, 2001)).

El Complejo Oaxaqueño se correlaciona con rocas de la Provincia estructural de Grenville de la región oriental del Escudo Canadiense. Autores como Campa U. M. F. *et al.*, 1981, Ortega G. F. *et al.*, 1981, coinciden que este complejo formó parte del Cinturón Grenvilliano, el cual es reconocido en el Cratón de Norteamérica desde el sureste de Canadá, porción este de Estados Unidos, y algunos afloramientos en los estados de Tamaulipas e Hidalgo (González R. A. *et al.*, 2000).

El ambiente de depósito del Complejo Oaxaqueño de acuerdo a su composición mineralógica sugiere que las rocas forman una secuencia perteneciente a una margen continental pasiva. También la ausencia de rocas metaofiolíticas y metavolcánicas-andesíticas asociadas, así como de formaciones extensas que pudieran considerarse como metagrauwaca, sugieren un carácter miogeosinclinal para esta etapa sedimentaria del Geosinclinal Oaxaqueño (Boomfield K. *et al.*, 1975; Ortega G. F., 1981), (en González R. A. *et al.*, 2000)).

Esta unidad contiene manifestaciones de segregación magmática con mineralización de titanio, cuerpos irregulares, lentes y vetas tipo oro orogénico, mineralizadas con calcopirita y pirita, como como en el caso de: Margaritas, Margaritas I

La Montaña II, Santa Fe, La Venta, Los Naranjos, San Miguel, Cerro León, Chuchupastle, La Violeta, San Mateo Piñas, San Mateo Piñas I, Rio Temblor, Copalita, El Perdiz, El Vergel, Cerro Perico, Portillo del Rayo, Lindavista, Tierra Blanca, San Francisco San Francisco II, El Azulillo y Rio Culebra.

Se colectaron 10 muestras para su estudio petrográfico y los resultados se presentan en la **Tabla 6**. Los cuales son acordes a la unidad en que se colectaron las muestras.

Coordenadas		Clave muestra	Unidad litológica	Clasificación
X	Y			
773108	1765429	SJ-034	pTm CM	Granulita con Perovskita
775867	1768388	SJ-035	pTm CM	Gneis
778905	1766336	SJ-043	pTm CM	Ortogneis
774160	1764796	SJ-098	pTm CM	Anfibolita
775533	1760558	SJ-110	pTm CM	Granulita
771487	1755387	SJ-117	pTm CM	Esquisto Qz-Muscovítico
780762	1755702	SJ-124	pTm CM	Esquisto
759104	1745732	SJ-132	pTm CM	Metatonalita
763885	1747272	SJ-135	pTm CM	Anfibolita
785030	1746179	SJ-137	pTm CM	Migmatita

Tabla 6. Resultados petrográficos del Complejo Oaxaqueño

III.2.2. Vulcanosedimentario (JtKbe (?) VS) Secuencia Piedras Negras

Tolson J. G. (1998), la menciona como una secuencia que aflora entre los Complejos Xolapa y Oaxaqueño similares a las rocas descritas por Carfantan J. C. (1986), como Arco Chontal y que consiste de una secuencia clástica de grano grueso a medio que sobreyace en discordancia a rocas volcánicas en las cercanías de San Pedro Huamelula.

Denominada informalmente como Secuencia Piedras Negras, corresponde a una alternancia vulcanosedimentaria fuertemente milonitizada expuesta a lo largo de la franja que corre burdamente paralela a la falla Chacalapa (Motolinía G. O. *et al.*, 2002).

Aflora en las porciones suroccidental, sur y suoriental de la carta, en una franja alargada de 35 km aproximadamente que se extiende de oriente a poniente con ancho que varía de 500 m y 3.5 km.

Está conformada por una secuencia fuertemente milonitizada, que consta de esquistos, gneis, metaarenisca, y metacaliza.

Las secciones representativas de esta unidad son:

Sección Rincón Bonito-Los Horcones.- Se localiza en la porción surponiente de la carta, en las coordenadas UTM 14P 761929E-1747396N y 759636E-1751797N, aflora esquistos de muscovita y metaarenisca; el esquisto presenta color gris oscuro con tono verde, altera a ocre y marrón, con textura lepidoblástica y estructura foliada, constituido por cuarzo, muscovita, biotita, sericita, clorita, hematita y limonita; la metaarenisca es de color gris verde, intemperiza a tono ocre, con textura nematoblástica y estructura foliada, de grano medio a fino, constituida por cuarzo, feldespato, biotita, muscovita, sericita, hematita y limonita.

Se colectaron 2 muestras para su estudio petrográfico y los resultados se muestran en la **Tabla 7**.

Sección	Coordenadas		Clave muestra	Unidad litológica	Clasificación
	X	Y			
Rincón Bonito-Los Horcones	761929	1747396	SJ-134	JtKbe (?) VS	Gneis con sillimanita
	761433	1748069	SJ-133	JtKbe (?) VS	Mica esquistos

Tabla 7. Resultados petrográficos de la Secuencia Piedras Negras

Sección San Miguel-El Manantial.- Se ubica en el sector oriente y suroriental de la carta, entre las coordenadas UTM 14P 777029E-1754124N y 777753E-1749609N, aflora esquistos de muscovita y metaarenisca, el esquisto presenta color gris verdoso, intemperiza a tono ocre, con textura granolepidoblástica, estructura foliada, constituido por cuarzo, muscovita, biotita y hematita; la metaarenisca es de color gris oscuro y verde, intemperiza a tono marrón y ocre, con textura nematoblástica y estructura foliada, constituido por cuarzo, feldespato, biotita, muscovita, sericita y hematita, la muscovita, se encuentra altamente concentrada en forma de escamas y láminas transparentes con tamaño hasta de 3 cm.

En la **Tabla 8** se muestran los resultados de los estudios petrográficos de 3 muestras.

Sección	Coordenadas		Clave muestra	Unidad litológica	Clasificación
	X	Y			
San Miguel El Manantial	777029	1754124	SJ-129	JtKbe (?) Vs	Esquisto cuarzo-muscovítico
	777845	1753732	SJ-130	JtKbe (?) Vs	Augengneis
	777336	1751363	SJ-131	JtKbe (?) Vs	Esquisto milonitizado

Tabla 8. Resultados petrográficos de la Secuencia Piedras Negras

Afloramiento San Miguel Figueroa.- Se encuentra en la porción suroriental de la carta, en las coordenadas UTM 14P 778969E-1747523N; aflora secuencia de metaarenisca y metacaliza, la primera de color gris oscuro con tono verde en muestra sana, intemperiza a tono marrón y ocre con textura nematoblástica y estructura foliada, constituida por cuarzo, feldespato, plagioclasa, biotita, muscovita, sericita, hematita y limonita; la metacaliza presenta color gris oscuro a negro en roca sana, altera a tono ocre, con textura cristalina y estructura foliada, constituida por calcita recrystalizada, con intenso fracturamiento (**Fotografía 9**).



Fotografía 9. Metaarenisca, metacaliza y esquistos, con fracturamiento intenso, al oriente de San Miguel Figueroa.

Afloramiento Paso Limón.- Localizado en la parte este de la carta, en las coordenadas UTM 14P 782162E-1754961N, aflora metaarenisca y metacaliza, la primera es de color castaño oscuro con tono verdoso, intemperiza a tono castaño claro, presenta textura lepidoblástica y estructura foliada; conformada por cuarzo, feldespato, plagioclasa, biotita, muscovita, sericita, hematita y limonita; la metacaliza presenta color gris oscuro a negro en roca sana, intemperiza a tono ocre, con textura cristalina y estructura foliada, constituida por calcita

recristalizada, ambas se muestran plegadas con desarrollo de estructuras sigmoides, vetillas de calcita y fracturamiento intenso (**Fotografías 10 y 11**).



Fotografía 10. Metacaliza de la secuencia Piedras Negras mostrando sigmoides, en la comunidad de Paso Limón.



Fotografía 11. Metacaliza y metaarenisca de la Secuencia Piedras Negras mostrando sigmoides con clastos rotados de calcita, en la comunidad de Paso Limón.

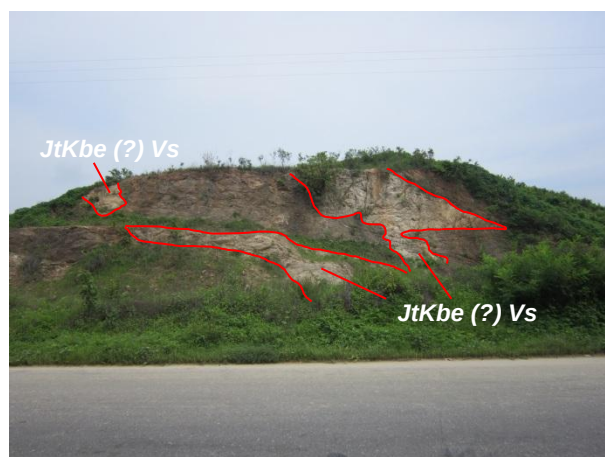
Se colectó 1 muestra para su estudio petrográfico y los resultados se presentan en la **Tabla 9**.

Coordenadas		Clave muestra	Unidad litológica	Clasificación
X	Y			
768801	1752890	SJ-128	JtKbe (?) Vs	Milonita

Tabla 9. Resultados petrográficos de la Secuencia Piedras Negras

En este estudio para esta unidad se midieron los siguientes espesores: 300 m en el cerro Faisán, 280 m en el Cerro Chilar y 300 m entre la Ciénega y el Cerro Machos.

Se encuentra intrusionada por el Tronco de Pochutla de edad Oligoceno-Mioceno, sin embargo, los afloramientos donde se observa esta relación, son escasos ya que las dos unidades presentan cataclasis (**Fotografía 12**). Por otro lado los afloramientos con secuencias volcanoclásticas y clásticas en el lecho del río Huatulco (fuera de la carta), descansan aparentemente en discordancia sobre el Complejo Oaxaqueño, son similares con aquella secuencia expuesta al norte de Acapulco denominada Formación Chapolapa, que exhibe características miloníticas asociadas a la zona de cizalla de Tierra Colorada (Motolinía G. O. et al., 2002).



Fotografía 12. Metacaliza de la secuencia Piedras Negras mostrando sigmoides, en la comunidad de Paso Limón.

Se le ha asignado una edad Tithoniano-Berriasiano considerando la similitud con la secuencia volcanosedimentaria del Arco Chontal descrita por Carfantán J. C. (1986).

Esta secuencia se ha considerado como una escama o cuerpo alóctono muy diferente a los terrenos antes descritos.

En esta unidad volcanosedimentaria no se ubicó mineralización alguna.

III.2.3. Formación Teposcolula (Kace Cz-Do)

El nombre de la Formación Teposcolula originalmente fue propuesto por Salas G. P. (1949)

(en Santamaría D. A., 2006), para definir a las calizas y dolomías que se encuentran expuestas entre San Pedro Teposcolula y San Juan Teposcolula considerándolas de edad Jurásico superior. Fue estudiada por Erben H. K. (1956) (en Motolinía G. O. *et al.*, 2002) y la describe como Calizas Petlalcingo, separando dos grupos denominados Petlalcingo Inferior y Petlalcingo Superior asignándolas al Cenomaniano-Turoniano.

Fue González A. J. (1970) (en Motolinía G. O. *et al.*, 2002), quien le consideró como Formación Teposcolula con la misma edad cretácica, previamente Hisazumi, 1932; así como López T. D. (1969) (en Santamaría D. A., 2006), las consideraron del Cretácico medio.

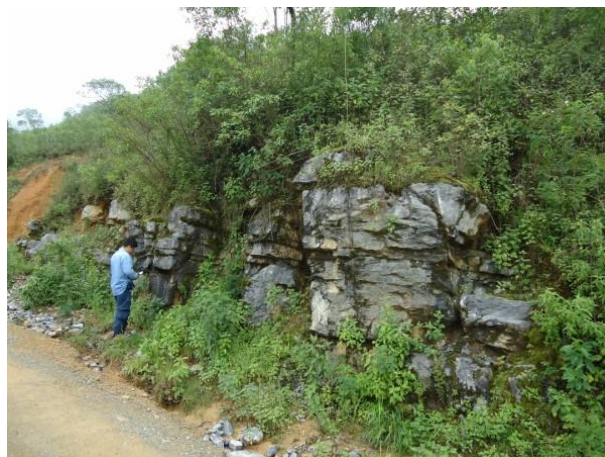
Quezada J. M. (1979) (en Santamaría D. A., 2006) le asigna un rango del Albiano superior-Turoniano. Finalmente Ortega G. J. V. *et al.* (1991) (en Santamaría D. A., 2006), con más precisión le asignó una edad Albiano-Cenomaniano.

Los afloramientos mejor expuestos se ubican en las porciones norte, nororiental y oriente de la carta.

Su litología está constituida por caliza, dolomía, caliza arcillosa, y horizontes delgados de lutita.

Las secciones representativas de esta unidad son:

Sección Llano Flor.- Se localiza en el sector norte del área de estudio, entre las coordenadas UTM 14Q 771097E-1770599N y 771513E-1769353N, aflora caliza, dolomía y delgados horizontes arcillosos; la caliza presenta color gris claro a gris azul en superficie sana, intemperiza a gris oscuro y tono rojizo, con textura cristalina y estructura en capas delgadas a medianas con escasos estratos gruesos, constituida por calcita, ocasionalmente contiene lentes de pedernal ligeramente plegados con vetillas de calcita, superficies lapiaz, desarrollo de estructuras estilolíticas; la dolomía es de color gris oscuro a negro al fresco, intemperiza a tonos ocre y rojizo, constituida por calcita y lentes de pedernal; los horizontes arcillosos son de color gris y rosa, intemperiza a tonos ocre y rojizo, constituida por arcilla, exhiben fracturamiento moderado (**Fotografía 13**).



Fotografía 13. Caliza en estratos medianos a gruesos, con intercalación de horizontes arcillosos, al noroeste de Llano Flor.

Sección Cerro León.- Situada en el sector noreste de la carta, en las inmediaciones del cerro del mismo nombre, en las coordenadas UTM 14Q 780454E-1768132N y 779308 E-1767158N, aflora caliza y dolomía, la caliza es de color gris oscuro e intemperiza a tono gris claro, con textura clástica y estructura masiva, está constituida por calcita; la dolomía es del mismo color al fresco y al intemperismo, con textura sacaroides y estructura masiva, compuesta por dolomita y a veces hematita, con vetillas de calcita, superficies lapiaz, disolución de carbonatos desarrollando estalactitas y estalagmitas, exhiben fracturamiento moderado a intenso (**Fotografía 14**).



Fotografía 14. Caverna con desarrollo de estalactitas y estalagmitas, en las inmediaciones de Cerro León.

Sección Cerro Hacha.- Ubicada en el sector nororiental de la carta, al sur de la comunidad Cerro Hacha, en las coordenadas UTM 14P 782898E-

1766532N y 783294E-1766055N, aflora en la base caliza arcillosa con intercalación de lutita; la caliza arcillosa tiene color gris claro en roca sana, intemperiza a tono rojizo y ocre, con textura cristalina y estructura laminar y en capas de 30 cm de espesor, constituida por calcita, algo plegada y fracturada; la lutita es de color rosa, intemperiza a tono ocre y rojizo, constituida por arcilla, hematita y limonita. Se encuentra afectada por fracturamiento intenso; hacia la cima, se tiene caliza y dolomía; la caliza es de color gris oscuro a beige en roca sana, intemperiza a gris claro con tonos rojizos, con textura cristalina y, estructura en capas de 15 cm a 1 m de espesor, constituida por calcita, con foraminíferos, bivalvos, gasterópodos y rudistas vetillas de calcita, superficies lapiaz, estilolitas y cavidades de disolución; la dolomía es de color gris azul, castaño y negro en roca sana, intemperiza a gris claro y ocre, con textura cristalina y estructura en capas medianas a gruesas, constituida por calcita y dolomita, recrystalizada con fuerte olor fétido, fracturamiento moderado a intenso (**Fotografía 15**).



Fotografía 15. Caliza en capas delgadas a medianas, con intercalación de horizontes arcillosos, al sureste de Cerro Hacha.

Afloramiento El Carmen.- Situado en la porción oriental de la carta, en las coordenadas UTM 14P 780088E-1756888N, aflora caliza con intercalación de horizontes arcillosos; la caliza es de color gris claro a gris oscuro en roca sana, intemperiza a tono marrón y ocre, con textura cristalina y estructura en capas delgadas de 5 cm de espesor, hacia la cima los estratos son de 40 cm a 1 m, constituida por calcita, ligeramente plegada, con líneas estilolíticas, recrystalizada y fracturamiento moderado (**Fotografía 16**).



Fotografía 16. Caliza en capas medianas a gruesas, al sureste de El Carmen.

Los espesores medidos varían de acuerdo a las localidades estudiadas; Salas G. P. (1949) (en Santamaría D. A., 2006), estima un espesor de 300 m, en el área de Ocotlán, Ruiz C. M., 1989 (en Motolinía G. O. *op cit*), consideró 1,000 m; Cartagena H. L. (1980) (en Motolinía G. O. *op cit*), reporta 2,000 m; en el área de Putla; Ruiz M. J. (1987) (en Motolinía G. O. *op cit*), midió 1,200 m; en el prospecto Miahuatlán; en la sierra de Teposcolula se estimó 600 m y 450 m en el homoclinal de San Isidro (Ortega G. J. V., 1989, (en Santamaría D. A. *op cit*)); en el pozo Teposcolula se midieron 1,063 m.

En este estudio, se calcularon varios espesores, en el cerro León 700 m, en los cerros Huatulco, Espino y Machos se calculan 600, 500 y 200 m respectivamente.

Sobreyace discordantemente al Complejo Oaxaqueño en las localidades de los cerros León, Palmas y Espino localizados al nororiente y oriente de la carta; de igual forma sobreyace a la secuencia Piedras Negras en los cerros Huatulco, Los Machos y en el rancho La Luz; la intrusión el Tronco de Pochutla al norponiente de La Herradura, en las inmediaciones del rancho Paso Limón.

Basados en las asociación microfaunística: *Pithonella ovalis*, *Orbitolina sp.*, *Coskinoloides Texanos*, *Marginotruncana sp.* *Hedbergella brittonensis* *Biplanata c.f.* *Nezzazatagya*, *Dicyclina sp.*, *Nummoloculina heimi* y *Nummoloculina Regularis*, PEMEX le asigna una edad Albiano-Turoniano (Varela S. M. M., 1983, (en Motolinía *op cit*)); por otro lado Ortega G. V. J. *et al.* (1991) (en Motolinía G. O. *op cit*), le determinaron una edad Albiano-Cenomaniano considerando fauna de

Nummuloculina heime, *Cuneolina sp*, ostrácodos y foraminíferos bentónicos.

Se correlaciona con las formaciones Ocotlán por cambio de facies, Yushe (cuenca de Oaxaca); Orizaba (cuenca Zongolica), Morelos (Plataforma Guerrero-Morelos), El Abra y Tamabra (Plataforma de San Luis Potosí) y Tamaulipas Superior (cuenca Tampico-Misantla).

Las características petrológicas y la presencia de microfósiles, permiten suponer un ambiente de depósito de plataforma somera de baja energía con influencia de mar abierto, dentro de la cual hubo zonas profundas donde tuvo lugar la precipitación de dolomía.

Tiene relación con el yacimiento de fierro La Esperanza (fuera de la carta). Se relacionan con los prospectos de carbonato de calcio Cerro Palma, Llano Flor, El Vergel, Cerro Hacha y Cerro Hacha II.

III.2.4. Magmatismo de la Sierra Madre del Sur

III.2.4.1. Granito-Granodiorita (Tm Gr-Gd) Tronco de Pochutla.

El Tronco de Pochutla fue descrito y definido por Tolson J. G. (1998), como un granito de biotita y hornblenda.

Se distribuye ampliamente en los sectores norponiente, poniente, suroccidental, sur y suroriental del área estudiada, entre las localidades de San Martín de Porres, San José de la Unión, San Francisco Loxicha, Santo Domingo de Morelos, San José Piedras Negras, Cerro Gordo y Hierba Santa, en las inmediaciones de San Pedro Pochutla, Santa María Limón y La Herradura.

Su litología consiste principalmente de granito con variación a granodiorita.

Las secciones que describen esta unidad son:

Sección Santo Domingo de Morelos-San José La Unión.- Localizada en los sectores poniente y norponiente, en las coordenadas UTM 14P 750126E-1753061N y 756241E-1765299N; aflora granodiorita de color gris oscuro y claro, intemperiza a tonos gris claro y amarillento, con textura fanerítica, estructura masiva, compuesta por feldespato, plagioclasa, cuarzo, hornblenda y biotita. En el sector poniente, entre Santo Domingo de Morelos y San Francisco Loxicha, la roca

presenta zonas de milonita e intenso fracturamiento, en la parte nororiental de la sección presenta fuerte alteración meteórica (**Fotografías 17 y 18**).



Fotografía 17. Granodiorita con fuerte intemperismo diferencial, al surponiente de San José La Unión.



Fotografía 18. Milonita asociada a la falla Chacalapa, al surponiente de Cerro Campana.

Sección Rincón Bonito-San José Piedras Negras.- Ubicada en el sector surponiente de la carta, entre las coordenadas UTM 14P 758311E-1752477N y 762270E-1746704N; aflora granodiorita de color gris oscuro y gris blanco, intemperiza a tono amarillento y ocre, con textura fanerítica y estructura masiva, equigranular, compuesta por feldespato, plagioclasa, cuarzo, hornblenda y biotita, contiene enclaves de 5 a 20 cm de diámetro, de hornblenda, presenta fracturamiento moderado y un característico intemperismo esferoidal (**Fotografías 19 y 20**).



Fotografía 19. Detalle de granodiorita, con estructura masiva y fracturamiento moderado, en el río Cuajinicuil al suroriente de Rincón Bonito.



Fotografía 20. Granodiorita con intemperismo esferoidal, al sureste de San Francisco Loxicha.

En la **Tabla 10** se reportan los resultados del estudio petrográfico de una muestra de esta sección.

Sección	Coordenadas		Clave muestra	Unidad litológica	Clasificación
	X	Y			
Rincón Bonito-San José Piedras Negras	762270	1746704	SJ-136	Tom Gr-Gd	Meta granodiorita

Tabla 10. Resultados petrográficos del Tronco de Pochutla

El Tronco de Pochutla intrusiona a rocas del Complejo Oaxaqueño y de la Secuencia Piedras Negras.

Al noroeste de San Pedro Pochutla una granodiorita fue fechada por el método U-Pb en zircón arrojando una edad de 27 ± 0.3 Ma perteneciente al Oligoceno.

Sin embargo a estas rocas intrusivas se les ha ubicado dentro del Mioceno y se relaciona al magmatismo de la Sierra Madre del Sur (Moran Z. D. J., 1990) y se correlaciona con los intrusivos de la costa de Oaxaca.

Su origen se relaciona con la evolución del magmatismo y vulcanismo de la Sierra Madre del Sur.

El Tronco de Pochutla forma parte del Batolito Río Verde y este a su vez del cinturón plutónico que se encuentra distribuido a lo largo de la zona costera desde Michoacán hasta el Istmo de Tehuantepec que varía en edad del Paleoceno al Mioceno con una tendencia decreciente hacia el sureste (Morán Z. D. J. et al., 2000).

III.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El área de estudio presenta estructuras geológicas complejas que fueron originadas durante los diferentes eventos geológicos que acontecieron a través del tiempo y afectaron a la región; dichas estructuras resaltan en la imagen de satélite Landsat 7 TM, epipolar así como el modelo de elevación digital, y la mayoría de estas fueron observadas en el campo.

III.3.1. Descripción de Estructuras

Con la interpretación del modelo digital elevación, así como de las imágenes de satélite y epipolar, se interpretaron una serie de lineamientos, que después fueron verificadas en campo, ubicando las diferentes estructuras en la carta.

Se reconocieron los siguientes regímenes de deformación: dúctil (foliación y milonita), dúctil-frágil (pliegues) y frágil (fallas normales, laterales y lineamientos) (**Figuras 6 y 7**).



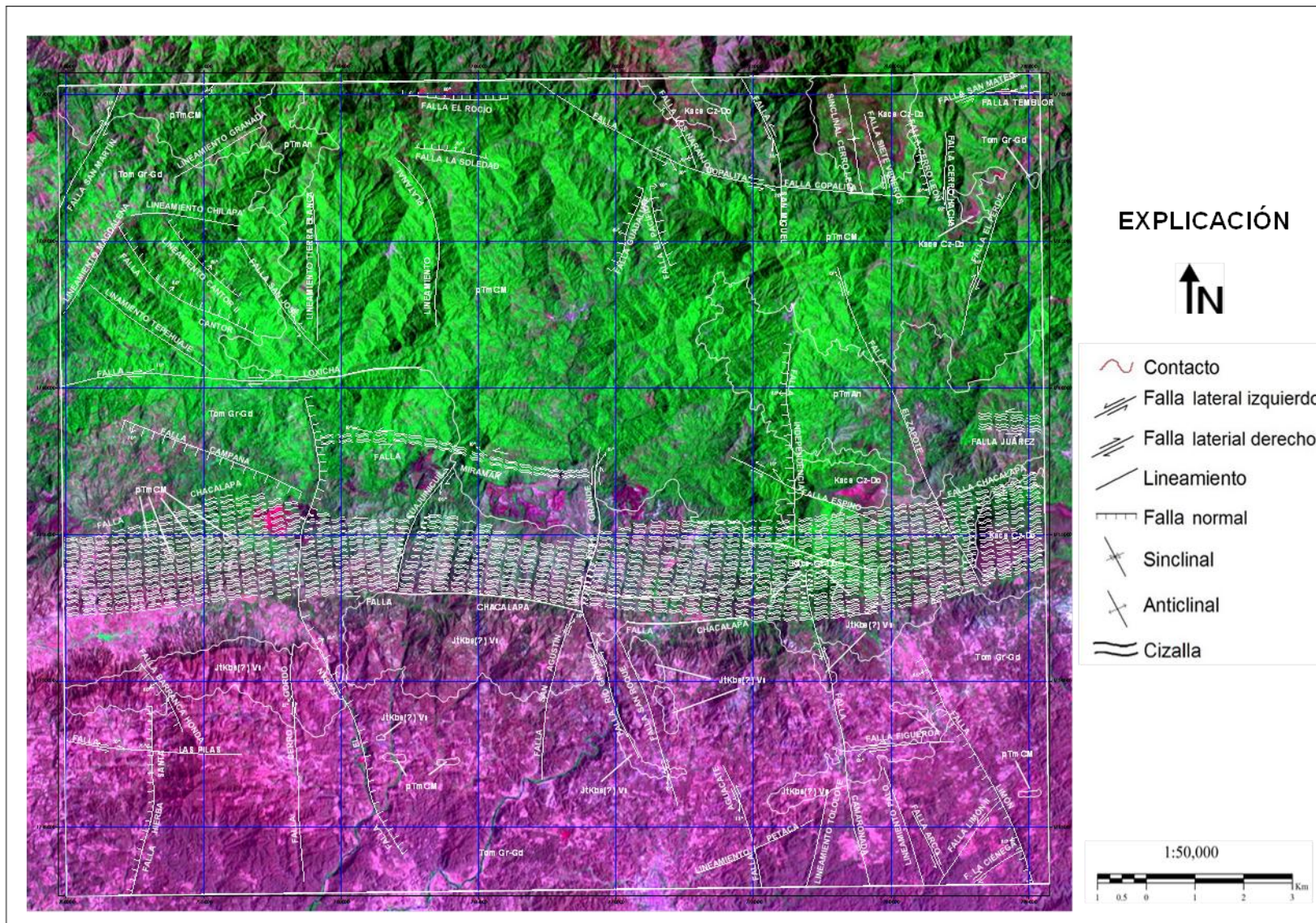


Figura 7.- Interpretación de la imagen de satélite.

III.3.1.1. Deformación dúctil

Foliación

Las rocas metamórficas del Complejo Oaxaqueño y las de la Formación Piedras Negras exhiben una foliación, que a partir de la medición de 362 datos se determinó estadísticamente la tendencia preferencial en que ocurren sus planos (**Figura 8**), los cuales se presentan orientados con un rumbo N 53° E inclinadas al noroeste con un ángulo de 28°. La deformación que presenta la secuencia metamórfica se presenta como estructuras foliadas indistintamente del tipo de roca, la cual es más intensa en rocas competentes (**Fotografías 21 y 22**).

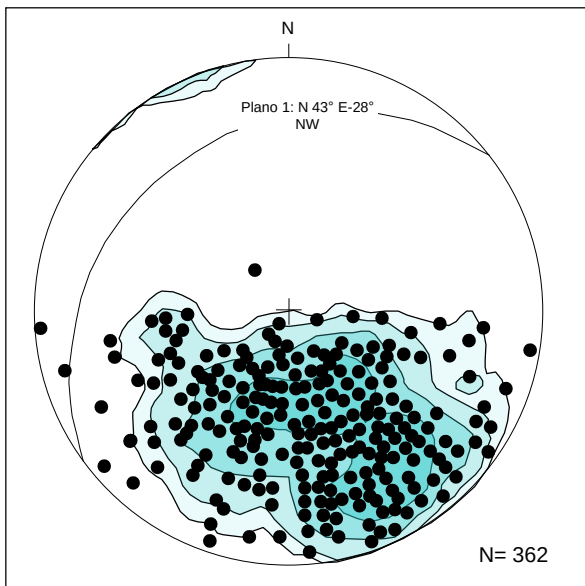


Figura 8. Configuración de los datos de foliación de las rocas metamórficas



Fotografía 21. Ortogneis con estructura foliada y bandeada, al noreste de San José La Unión.



Fotografía 22. Ortogneis con estructura foliada, al suroeste de El Pacífico.

Milonita

Es una roca cohesiva (material consistente, competente y resistente al choque mecánico), la cual presenta una foliación al menos microscópica, de grano generalmente fino y en la cual los granos preexistentes fueron deformados y recrystalizados. Generalmente, se tiene una matriz de grano fino la cual engloba relictos mayores, fracturados y tensionados, de los granos preexistentes de minerales resistentes como feldespato y gránate. Estos relictos son conocidos como porfidoclastos (una milonita con porfidoclastos se genera a un nivel intermedio, en general a partir de la zona de cizallamiento que marca la transición frágil-dúctil) (Ordoñez C. O., 2000).

La milonita más representativa es la falla Chacalapa, con una longitud aproximada de 35 km, espesor aproximado de 3 Km **Fotografía 23**; otras fallas del mismo tipo se muestran en la **Tabla 11**. Dentro de esta zona, se observan lineamientos que indican un desplazamiento lateral izquierdo, tal como se interpreta en la imagen de satélite.

Nombre	Tipo de estructura	Coordenadas		Localización (Sector)	Rumbo - Eclado-Pitch	Longitud (Km)	Material	Indicadores cinemáticos	Unidades afectadas
		X	Y						
Juárez	Falla lateral izquierda	785 434	175 891 5	Este	N 88° W- 85° SW- horizontal	2.35	Milonita	Escalones y estrías	pTm An
Miramar	Falla lateral izquierda	765 361	175 754 8	Oeste-centro	N 75° W- 50°	10.2	Protomilonita	Escalones y estrías	Tom Gr- Gd / pTm

	erda				NE-10° NW		s	CM
Chacalapa	Falla lateral izquierda	769 008	175 255 0	Oeste-centro-este	N 80° W-77° SW-30° SE	35.8 5	Protomilonita, milonita, ultramilonita	Tom Gr-Gd / JtKbe (?) Vs

Tabla 11. Estructuras geológicas con deformación dúctil



Fotografía 23. Falla Chacalapa de tipo lateral izquierdo, en zona milonítica, al suroeste de Carnizuelo.

III.3.1.2. Deformación dúctil-frágil

La deformación, es el cambio de forma y/o de volumen de una unidad de roca causada por esfuerzos; a su vez, se deforman frágilmente en los niveles superiores de la corteza terrestre y dúctilmente en los inferiores. La profundidad a la que la deformación pasa de frágil a dúctil es conocida como la transición dúctil-frágil y, generalmente se encuentra a unos 10-15 km bajo la superficie (Sibson E. G., 1990). Las estructuras de esta deformación, están representadas por plegamiento.

La única estructura representativa en el estudio es el sinclinal Cerro León, el cual muestra sus datos en la **Tabla 12**.

Nombre	Tipo de estructura	Coordenadas		Localización (Sector)	Rumbo	Longitud (Km)	Unidades afectadas
		X	Y				
Cerro León	Sinclinal	778 939	1766 651	Noreste	N 10° W	3	Kace Cz-Do

Tabla 12. Sinclinal con orientación NE-SW

La configuración de los datos de estratificación en la malla de igual área (**Figura 9**) definen dos planos orientados en las direcciones N 12° E inclinado al NW con 23° y N 72° W inclinado al NE con 12°: ahora bien la intersección de estos planos definen la orientación del eje estructural y su buzamiento, el cual estadísticamente se encuentra orientado al N 11° W, buzando al NW con 12°.

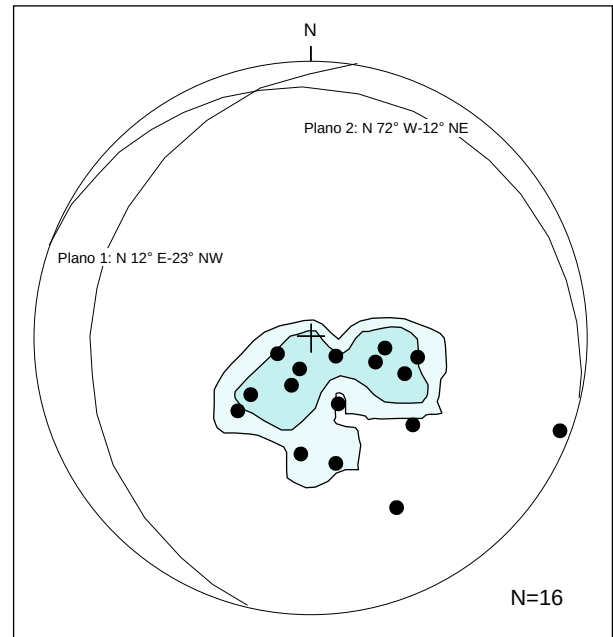


Figura 9. Configuración de los datos de estratificación de las rocas calcáreas

III.3.1.3. Deformación frágil

Las estructuras de la deformación frágil corresponden con diversas fallas de tipo lateral y normal. Estas estructuras presentan orientaciones NE-SW y NW-SE de las cuales, para una mejor descripción se han clasificado de la siguiente forma:

La falla normal con dirección NE-SW, se presenta en la **Tabla 13**.

Nombre	Tipo de estructura	Coordenadas		Localización (Sector)	Rumbo - Eclado-Pitch	Longitud (Km)	Indicadores cinemáticos	Unidades afectadas
		X	Y					
Gualupe	Falla normal	77 03 85	17 51 58	Norte	N 20° E - 45° NW	3.3	Escalones y estrías	pTm CM

Tabla 13. Falla normal con orientación NE-SW

Las fallas normales con tendencia noroeste-sureste se muestran en la **Tabla 14**; de las cuales, la

representativa es la falla El Faisán, localizada en el sector suroeste-sur-oeste, con 16 km de longitud y rumbo N 30° W-65° NE, afecta a rocas del Tronco de Pochutla (**Tom Gr-Gd**) y a la Secuencia Piedras Negras (**JtKbe(?) Vs**) (**Fotografías 24-26**).

Nombre	Tipo de estructura	Coordenadas		Localización (Sector)	Rumbo-Echado-Pitch	Longitud (Km)	Indicadores cinemáticos	Unidades afectadas
		X	Y					
Cantor	Falla normal I	753 759	1763 246	Noroeste	N 45° W-80° NE	6.3	Escalones y estrías	Tom Gr-Gd
Cantor II	Falla normal I	755 150	1764 001	Noroeste	N 42° W-85° NE	3.7	Escalones y estrías	Tom Gr-Gd
El Rocío	Falla normal I	763 802	1769 279	Norte	N 85° W-60° NE	3.8	Escalones, estrías y pseudot aquilita	pTm CM
La Soledad	Falla normal I	764 375	1768 183	Norte	N 80° W-75° NE	2.6	Escalones, estrías y pseudot aquilita	pTm CM
Los Naranjos	Falla normal I	772 809	1767 849	Norte	N 35° W-75° SW	2.4	Escalones y estrías	pTm CM / Kace Cz-Do
El Pacífico	Falla normal I	771 249	1766 891	Norte	N 18° W-60° NE	2.84	Escalones y estrías	pTm CM
Cerro León	Falla normal I	781 353	1766 861	Noreste	N 27° W-20° SW	2.6	Escalones y estrías	pTm CM / Kace Cz-Do
Campana	Falla normal I	752 532	1758 748	Oeste	N 70° W-70° SW	6.95	Escalones y estrías	Tom Gr-Gd
Independencia	Falla normal I	776 196	1760 051	Centro-noreste	N 05° W-85° SW	6.83	Escalones y estrías	pTm An / pTm CM / Kace Cz-Do
Barranca Honda	Falla normal I	753 401	1750 028	Suroeste	N 35° W-80° SW	2.7	Escalones y estrías	Tom Gr-Gd / JtKbe(?) Vs
Hierba Santa	Falla normal I	752 098	1747 842	Suroeste	N 05° W-75° SW	6	Escalones y estrías	Tom Gr-Gd / JtKbe(?) Vs
El Faisán	Falla normal I	759 152	1751 151	Suroeste-sur-oeste	N 30° W-65° NE	16	Escalones y estrías	Tom Gr-Gd / JtKbe(?) Vs
Limón	Falla normal I	781 392	1750 279	Sureste	N 28° W-35° SW	8.85	Escalones y estrías	JtKbe(?) Vs / Tom Gr-Gd

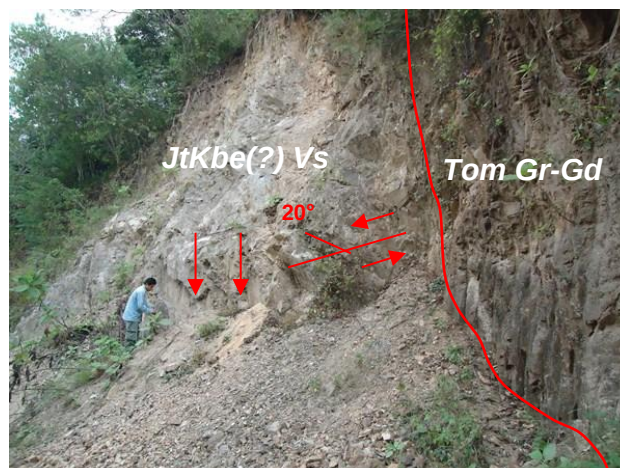
Tabla 14. Fallas normales con orientación NW-SE



Fotografía 24. Falla Limón de tipo normal afecta a granodiorita, al oriente de San Isidro Limón.



Fotografía 25. Falla El Rocío de tipo normal con estrías, afecta a ortogneis, al noroeste de La Soledad.



Fotografía 26. Falla Hierba Santa de tipo normal, al suroeste de Barranca Honda.

Fallas laterales con sentido dextral con tendencia noreste-suroeste se muestran en la **Tabla 15**, donde la más representativa es la falla Loxicha, ubicada en el sector oeste-centro de la carta, presenta una longitud de 12.95 km, con rumbo N 88° E-60° NW y Pitch 25° NE, afecta a rocas del Tronco de Pochutla (**Tom Gr-Gd**) y del Complejo Metamórfico (**pTm CM**).

Nombre	Tipo de estructura	Coordenadas		Localización (Sector)	Rumbo-Echado-Pitch	Longitud (Km)	Indicadores cinemáticos	Unidades afectadas
		X	Y					
San Martín	Falla lateral derecha	751 449	1769 101	Noroeste	N 30° E-60° SE-15° NE	4.8	Escalones y estrías	Tom Gr-Gd / pTm CM
Tembor	Falla lateral derecha	784 456	1770 169	Noreste	N 87° E-55° NW-32° NE	1.95	Escalones y estrías	pTm CM
El Perdí	Falla lateral derecha	783 159	1763 876	Noreste	N 21° E-70° NW-35° NE	5.6	Escalones, estrías y pseudot aquililla	pTm CM
Loxicha	Falla lateral derecha	757 224	1760 250	Oeste-centro	N 88° E-60° NW-25° NE	12.95	Escalones y estrías	Tom Gr-Gd / pTm CM
Cuajinicuil	Falla lateral derecha	763 652	1756 785	Centro	N 30° E-85° NW-05° SW	4.8	Escalones y estrías	Tom Gr-Gd / pTm CM
Figueroa	Falla lateral derecha	778 966	1747 516	Sureste	N 85° E-85° NW-05° SW	3.85	Escalones y estrías	JtKbe (?) Vs / Tom Gr-Gd
La Ciéneiga	Falla lateral derecha	783 948	1743 789	Sureste	N 55° E-70° NW-horiz ontal	2.1	Escalones y estrías	Tom Gr-Gd

Tabla 15. Fallas de desplazamiento lateral derecho con orientación NE-SW

Fallas laterales con sentido sinistral con tendencia noreste-suroeste se muestran en la **Tabla 16**, donde la falla principal es Río Grande, con 10.6 km de longitud y rumbo N 10° E-72° SE y Pitch 15° NE, se ubica en el sector centro-sur de la carta y afecta a rocas de las unidades **pTm CM**, **Tom Gr-Gd** y **Kace Cz-Do**.

Nombre	Tipo de estructura	Coordenadas		Localización (Sector)	Rumbo-Echado-Pitch	Longitud (Km)	Indicadores cinemáticos	Unidades afectadas
		X	Y					
San Mateo	Falla lateral izquierda	782 622	1769 872	Noreste	N 68° E-85° SE-horiz ontal	2.5	Escalones y estrías	pTm CM

Río Grande	Falla lateral izquierda	769 363	1757 257	Centro-sur	N 10° E-72° SE-15° NE	10.6	Escalones, estrías, blastos rotados y brecha	pTm CM / Tom Gr-Gd / Kace Cz-Do
San Agustín	Falla lateral izquierda	768 376	1751 776	Sur	N 20° E-78° SE-30° NE	5.55	Escalones y estrías	Tom Gr-Gd / JtKbe (?) Vs
Limón II	Falla lateral izquierda	783 561	1745 489	Sureste	N 37° E-45° SE-horiz ontal	3.5	Escalones y estrías	Tom Gr-Gd

Tabla 16. Fallas de desplazamiento lateral izquierdo con orientación NE-SW

Las fallas laterales con sentido izquierdo con tendencia noroeste-sureste se muestran en la **Tabla 17**; la falla representativa es Copalita, con una longitud de 14.8 km y rumbo N 70° W-65° SW y Pitch 20° SE, ubicada en el sector norte-noreste de la carta y afecta a rocas del Complejo Oaxaqueño (**pTm CM**) y de la Formación Teposcolula (**Kace Cz-Do**) (**Fotografías 27 y 28**).

Nombre	Tipo de estructura	Coordenadas		Localización (Sector)	Rumbo-Echado-Pitch	Longitud (Km)	Indicadores cinemáticos	Unidades afectadas
		X	Y					
San José	Falla lateral izquierda	758 356	1762 188	Noroeste	N 42° W-75° NE-40° NW	5.1 5	Escalones y estrías	Tom Gr-Gd / pTm CM
Copalita	Falla lateral izquierda	772 105	1767 928	Norte-noreste	N 70° W-65° SW-20° SE	14.8	Escalones, estrías y pseudot aquililla	pTm CM / Kace Cz-Do
San Miguel	Falla lateral izquierda	775 701	1768 481	Noreste	N 30° W-73° NE-35° SE	5.1 5	Escalones y estrías	pTm CM
Siete Veneros	Falla lateral izquierda	779 847	1766 810	Noreste	N 20° W-80° NE-horiz ontal	2.6	Escalones y estrías	Kace Cz-Do / pTm CM
Cerro Hacha	Falla lateral izquierda	781 922	1766 605	Noreste	N 05° W-70° SW-02° SE	3.3	Escalones y estrías	pTm CM
El Zapote	Falla lateral izquierda	778 211	1763 657	Noreste-este	N 31° W-65° SW-07° NW	12	Escalones y estrías	pTm An / pTm CM / JtKbe (?) Vs
Espino	Falla lateral izquierda	776 082	1756 738	Este	N 70° W-60° SW-15° NW	6.1 5	Escalones y estrías	pTm CM / Kace Cz-Do
Las Pilas	Falla lateral izquierda	752 098	1747 842	Suroeste	N 87° W-75° SW-20°	6.5	Escalones, estrías y bloques	Tom Gr-Gd

					NW		desplazados	
Cerro Gordo	Falla lateral izquierda	758 292	1752 487	Suroeste-este	N 10° W-75° NE-12° SE	9.3	Escalones y estrías	Tom Gr-Gd / JtKbe (?) Vs
San Roque	Falla lateral izquierda	771 840	1746 714	Sur	N 25° W-50° NE-10° SE	6.2	Escalones y estrías	Tom Gr-Gd / JtKbe (?) Vs
Aguacate	Falla lateral izquierda	774 294	1745 890	Sureste	N 25° W-50° NE-13° SE	4.2 5	Escalones y estrías	Tom Gr-Gd
Arco	Falla lateral izquierda	781 743	1743 549	Sureste	N 28° W-70° NE-horizantal	2.5	Escalones y estrías	Tom Gr-Gd
Camarónada	Falla lateral izquierda	777 479	1750 513	Este-sureste	N 19° W-75° NE-horizantal	11.2	Escalones y estrías	JtKbe (?) Vs/ Tom Gr-Gd

Tabla 17. Fallas de desplazamiento lateral izquierdo con orientación NW-SE



Fotografía 27. Falla Copalita de tipo lateral izquierdo, afecta a ortogneis, en las inmediaciones de Los Naranjos.



Fotografía 28.- Falla Cerro Gordo de tipo lateral izquierdo, afecta a granodiorita, en las inmediaciones de San José Piedras Negras.

Con todos los datos medidos de planos de fallas y fracturas (320), sin especificar el tipo, se configuraron en la malla de Schmidt, resultando 2 polos cuyos planos se encuentran orientados al N 72° W inclinado al NE con 65° y al N 58° E inclinado al NW con 67°, respectivamente (**Figura 10**).

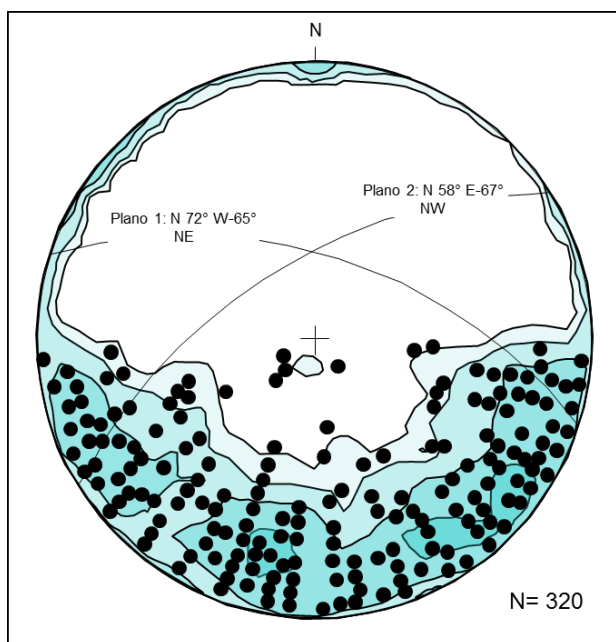


Figura 10. Configuración de los datos de planos de fracturas y fallas que afectan a las rocas de la columna estratigráfica, de la carta San José Chacalapa.

III.4. TECTÓNICA

El marco tectónico del sur del país ha sido fuente de un número considerable de estudios dentro de los cuales han salido diferentes modelos conceptuales que tratan de explicar la diversidad litológica así como la complejidad estructural que se llega a tener en la región.

Los registros geológicos del Precámbrico señalan que las rocas del Complejo Oaxaqueño formaban parte de una corteza juvenil que se desarrolló en un arco magmático (1,300-1,200 Ma) en la cuenca de trasarco de esta corteza se depositó un espesor de varios miles de metros de sedimentos miogeosinclinales o parcialmente continentales (Duncan K. J. *et al.*, 2003b; Duncan K. J. *et al.*, 2007 (en Duncan K. J. *et al.*, 2010)).

Este paquete de sedimentos fue intrusionado por grandes volúmenes de sienita, granito y anortosita con la parte más tardía de la cual es sincrónica con la migmatización (1,160-1,100 Ma), así mismo existió un segundo evento de emplazamiento de anortosita, gabro, charnockita y granito (1,035-1,010 Ma). Se cree que el Complejo Oaxaqueño en la paleogeografía se localizaba en una margen activa de Amazonia (1,300-900 Ma) en el que ésta última corteza colisionó con la parte oriental de Laurasia (1,200-1,000 Ma) (Tohver E. *et al.*, 2002, 2004; Elming S. A. *et al.*, 2009 (en Duncan K. J. *et al.*, 2010)).

Posteriormente el Complejo Oaxaqueño fue sepultado a una profundidad de 25 a 30 km, como producto de la colisión y cabalgamiento del arco Avalonia (Dewey J. F. *et al.*, 1973, (en Ortega G. F., 1981)) y posiblemente también acompañado por la colisión de Amazonia-Báltica (1,000-980 Ma), estas colisiones dieron origen a Rodinia (**Figura 11**). El terreno Oaxaqueño sufrió deformación y metamorfismo de facies granulita, debido a que fue sometido a altas presiones (7-8 Kb) y temperaturas de 700-825° C (Mora C. J. *et al.*, 1986; Tohver E. *et al.*, 2006, (en Duncan K. J. *et al.*, 2010)).

Posterior al evento de metamorfismo, ocurrió la intrusión de pegmatita, marcando el final de la consolidación de la Faja estructural Oaxaqueña, por otra parte la exhumación del Complejo Oaxaqueño (750 y/o 545 Ma) indica el enfriamiento lento y el

rompimiento de Rodinia (Cawood P. A. *et al.*, 2001, (en Duncan K. J. *et al.*, 2010)).

Durante el Cámbrico-Ordovícico ocurrió el depósito de los sedimentos de la Formación Tiñú (unidad no aflorante en el área estudiada) sobre el Complejo Oaxaqueño (Pantoja A. J. *et al.*, 1967 (en Ortega G. F., 1981) como evidencia se tiene algunos trilobites de edad Tremadociano, que de acuerdo a su afinidad paleogeográfica, son característicos del continente Gondwana (Whittington H. B. *et al.*, 1974 (en Ortega G. F., 1981)).

Más tarde, durante el periodo prePensilvánico-Pérmico, el terreno Mixteco se acreciona al terreno Oaxaca, siendo la sutura de estos la falla Caltepec (Ortega G. F., 1975, (en Ortega G. F., 1981)), en donde ambos comparten el origen y evolución del Orógeno Apalachiano (Bird J. M. *et al.*, 1970 (en Ortega G. F., 1981)), así como la clausura del Océano Iapetus (Urrutia F. J. H., 1984 (en Ramírez E. J., 1984)).

Algunos investigadores proponen que el terreno Mixteco se separó del terreno Oaxaca durante el periodo Triásico-Jurásico, debido a la ausencia del Grupo Tecocoyunca sobre el terreno Zapoteco (Oaxaca) y el Grupo Sabinal sobre el primero; esto implica que dichos terrenos evolucionaron en contextos diferentes hasta su colisión en el Cretácico temprano (Ramírez E. J., 1984; González H. M. G. *et al.*, 1984; Torres T. G. *et al.*, 1984).

En el Cretácico inferior-superior, los terrenos Maya, Juárez, Oaxaca y Mixteco; constituyen un terreno superpuesto y al finalizar el Berriasiano, se depositaron (Abad T., 1975; Sosa M., 1984 (en Ramírez E. J., 1984)) las primeras facies continentales y mixtas que nos anuncian la completa transgresión proveniente del golfo, que cubre por completo a todos los terrenos durante el Albiano-Cenomaniano, formándose extensas plataformas como el caso de la Formación Teposcolula.

Algunas plataformas llegan a prevalecer hasta el Cretácico superior, donde finalmente terminan, debido al cambio en la sedimentación a terrígenos, como una premisa de la deformación Laramídica, que se efectuaría a fines del Cretácico superior y Cenozoico inferior.

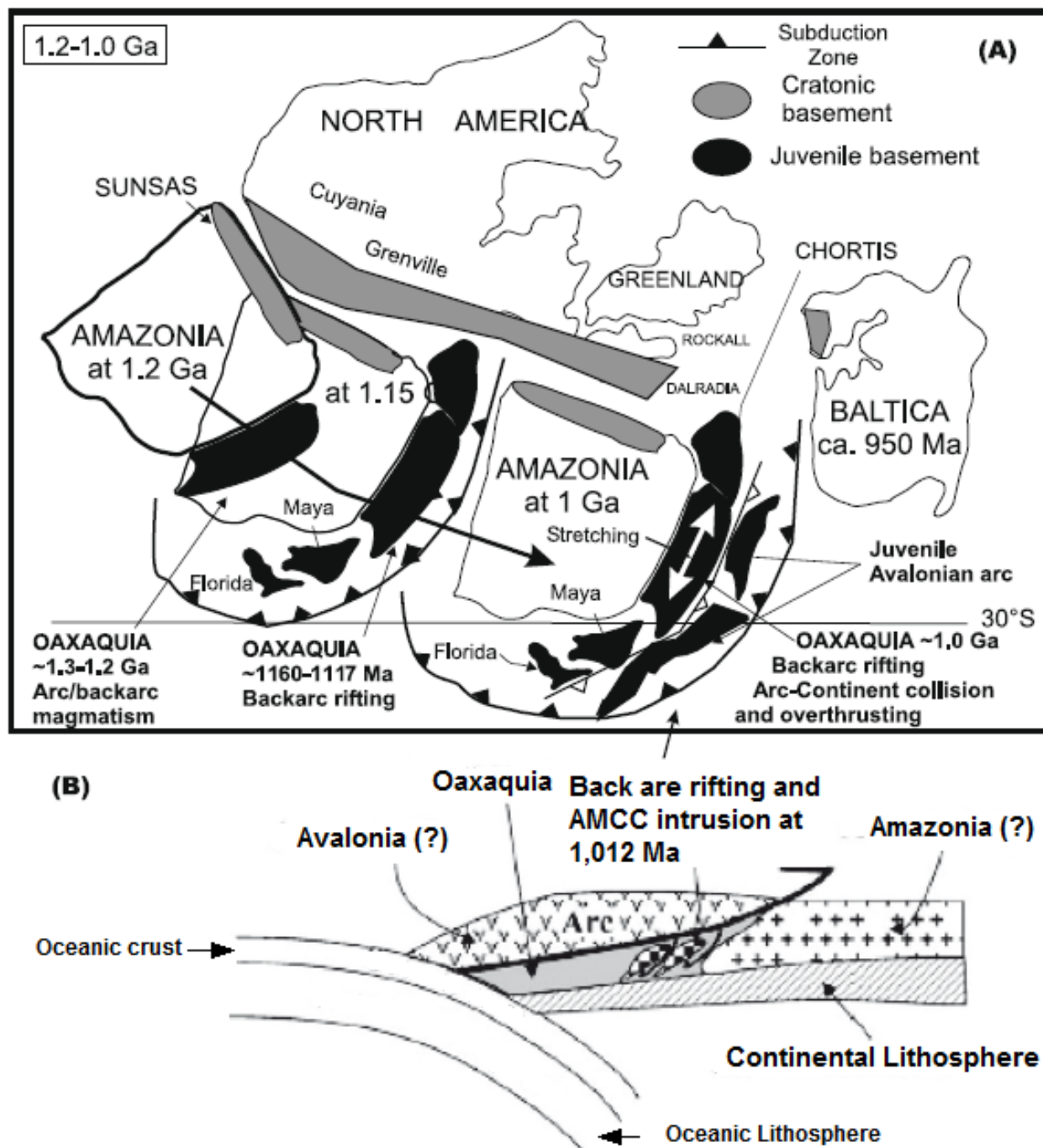


Figura 11. A) Reconstrucción de Rodinia mostrando la localización del Complejo Oaxaqueño sobre el borde sobresaliente del norte de Amazonia durante su viaje sinistral relativo hacia el oriente de Laurasia (modificado después por Duncan K. J., 2004). B) Sección transversal en 1000 Ma, mostrando la obducción del arco proto-Avalonia sobre el Complejo Oaxaqueño (modificado después por Solari L. A. et al., 2003).

Las rocas del terreno Xolapa se han interpretado como un arco continental alóctono del Jurásico-Cretácico (Campa U. M. F. *et al.*, 1983; Ortega G. F. *et al.*, 1995; Dickinson W. R. *et al.*, 2001, (en Solari L. A. *et al.*, 2007); Corona C. P. *et al.*, 2006), que fue colisionado por el bloque de Chortis (~133 Ma edad de migmatización (Brueckner H. K. *et al.*, 2005; Martens U. *et al.*, 2007, (en Pérez G. R. *et al.*, 2009)) y que posteriormente se acrecieron al sur de México (~110 Ma) (Ortega G. F. *et al.*, 2007).

Esta acreción trajo como consecuencia fases de deformación de régimen de acortamiento y transpresivo que afectaron a las secuencias sedimentarias y volcánicas del Maastrichtiano al Paleoceno inferior en un área amplia situada al norte del Complejo Xolapa. Asimismo, dio origen a la falla Chacalapa (29 y 23 Ma) y Juchatengo con desplazamiento a rumbo de un régimen lateral izquierdo asociadas a zonas de cizalla expuestas en rocas de la corteza media-inferior (Corona C. P. *et al.*, 2006; Tolson J. G., 1998, 2005). Las milonitas de la cizalla se formaron progresivamente desde un régimen dúctil a quebradizo, lo que sugiere una exhumación progresiva del terreno Xolapa por influencia de la convergencia oblicua de subducción entre la placa de Farallón y Norteamérica (Riller U. *et al.*, 1992, (en Tolson J. G., 2005)) (**Figura 12a, 12b y 13**). Asociado a este evento el Bloque Chortis se desplazaba hacia el sureste, en el borde continental. Durante este proceso de exhumación se desarrolló un cinturón de rocas metamórficas en facies de esquistos verdes perteneciente a la secuencia Piedras Negras que desarrollaron texturas miloníticas. Esta deformación es dominante y correlacionable con las Formaciones Chapolapa y Arco Chontal (Motolinía G. O. *et al.*, 2002; Hernández T. T. *et al.*, 2007).

La deformación y magmatismo cerca del margen continental ha sido ligado al desplazamiento del bloque de Chortis durante el Cenozoico temprano. Algunos autores argumentan que Chortis se separó de su posición original de la placa de Norteamérica a lo largo de un límite transformante continental e inicia su desplazamiento hacia el sureste a través de una falla lateral sinistral (Pindell J. L. *et al.*, 1988, (en Morán Z. D. J. *et al.*, 1996)).

En este modelo, la migración de trinchera-trinchera-transformante de la triple unión fue asociada con la migración de extinción magmática documentado con el emplazamiento de los plutones a lo largo de la costa desde el Eoceno (Herrmann U. R. *et al.*, 1994; Schaaf P. *et al.*, 1995, (en Motolinía G. O. *et al.*, 2002); Meschede M. *et al.*, 1996; Morán Z. D. J. *et al.*, 1996) (**Figura 14**). Esta mecánica de movimiento también dio origen a la falla Chacalapa (Tolson J. G., 2005).

Durante el Oligoceno-Mioceno se desarrolló un arco magmático continental en un ambiente transtensional de la cizalla Chacalapa que dio lugar a la formación de rocas intrusivas de composición granito-granodiorita del Tronco Pochutla.

En el Cuaternario la margen pacífica se encuentra activa, la cual se considera que está relacionada con la reactivación fallas antiguas, como la que se encuentra en las inmediaciones de San José del Pacífico.

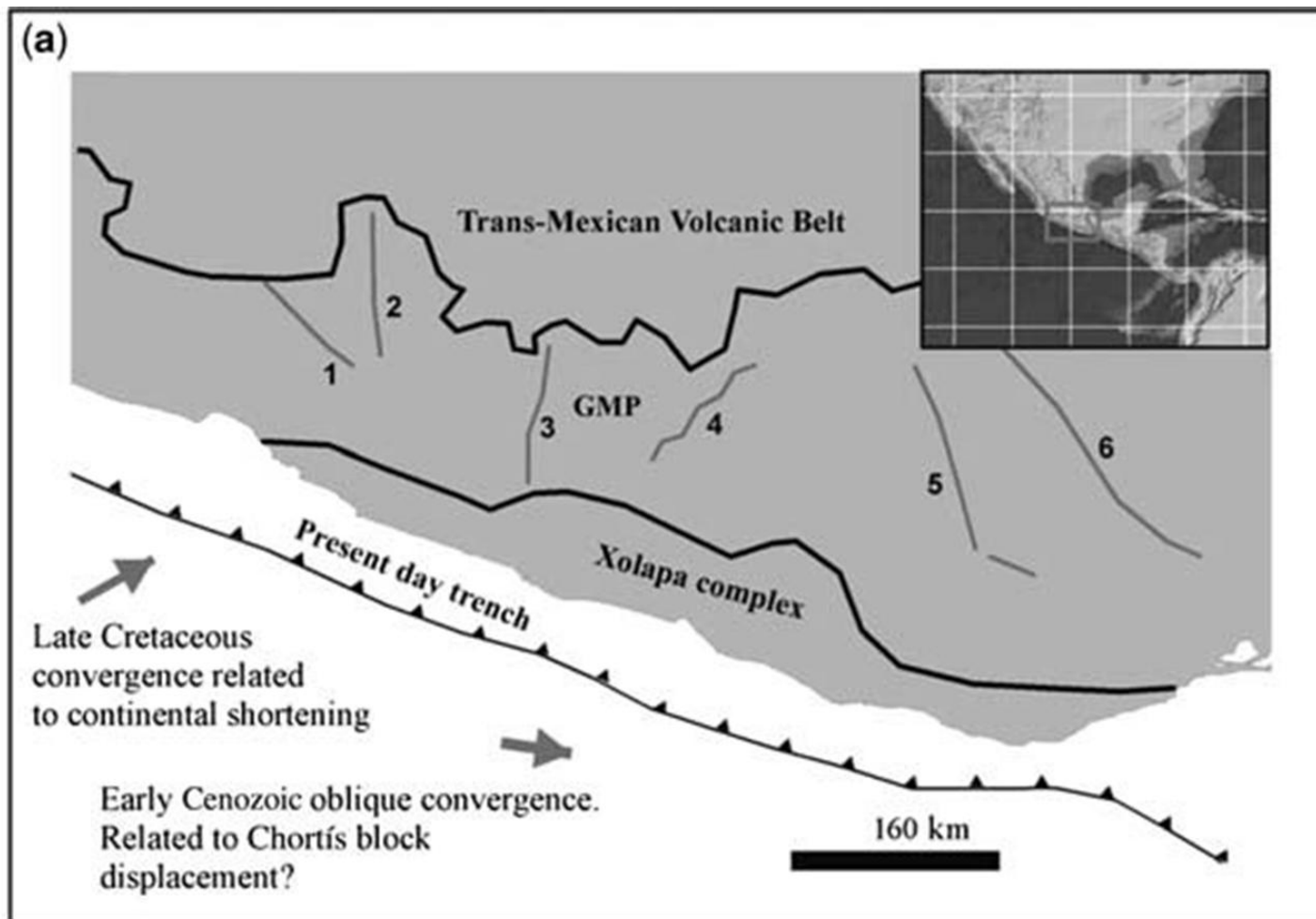


Figura 12a. Vista esquemática donde se muestran los vectores de convergencia entre las placas Farallón y Norteamérica en el Cretácico Tardío y el Cenozoico Temprano (después de Engebretson et al., 1985; Schaaf P. et al., 1995; Meschede M. et al., 1996). El recuadro muestra la ubicación del sur de México en Norte América. Las líneas negras gruesas en el área continental corresponden al frente volcánico del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano y los límites aproximados del centro de las rocas de la corteza inferior del Complejo Xolapa. Las líneas grises representan las principales estructuras incluidas en el área continental (tomado de Cerca M. et al., 2009).

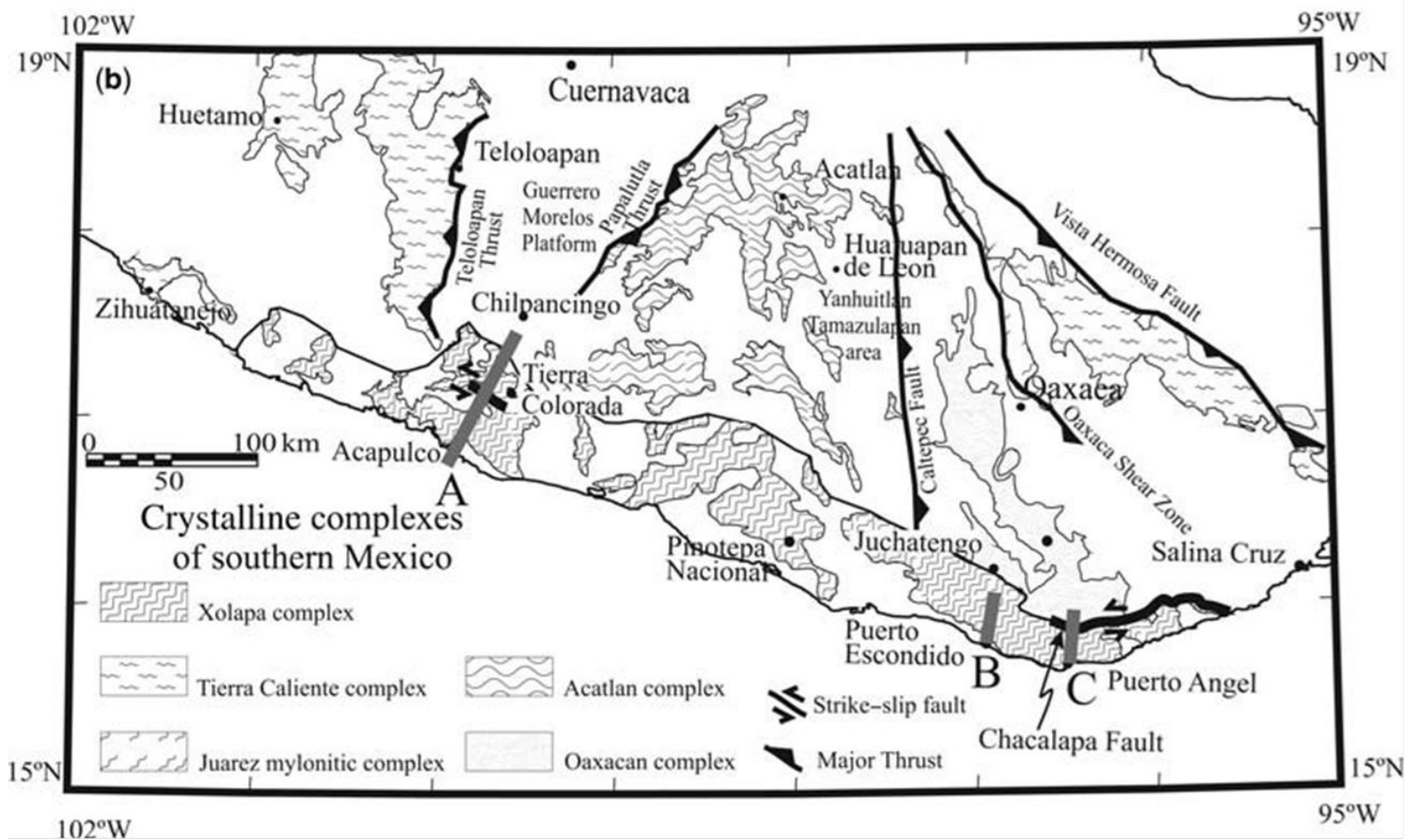


Figura 12b. Mapa geológico simplificado del Sur de México (modificado después por Tolson J. G., 2005; Sánchez Z., 2005); las letras capitales se refieren a secciones geológicas presentadas en la Figura 2; (A) Acapulco-Tierra Colorada; (B) Puerto Escondido-Juchatengo; (C) Puerto-Ángel-Chacalapa (tomado de Cerca M. et al., 2009).

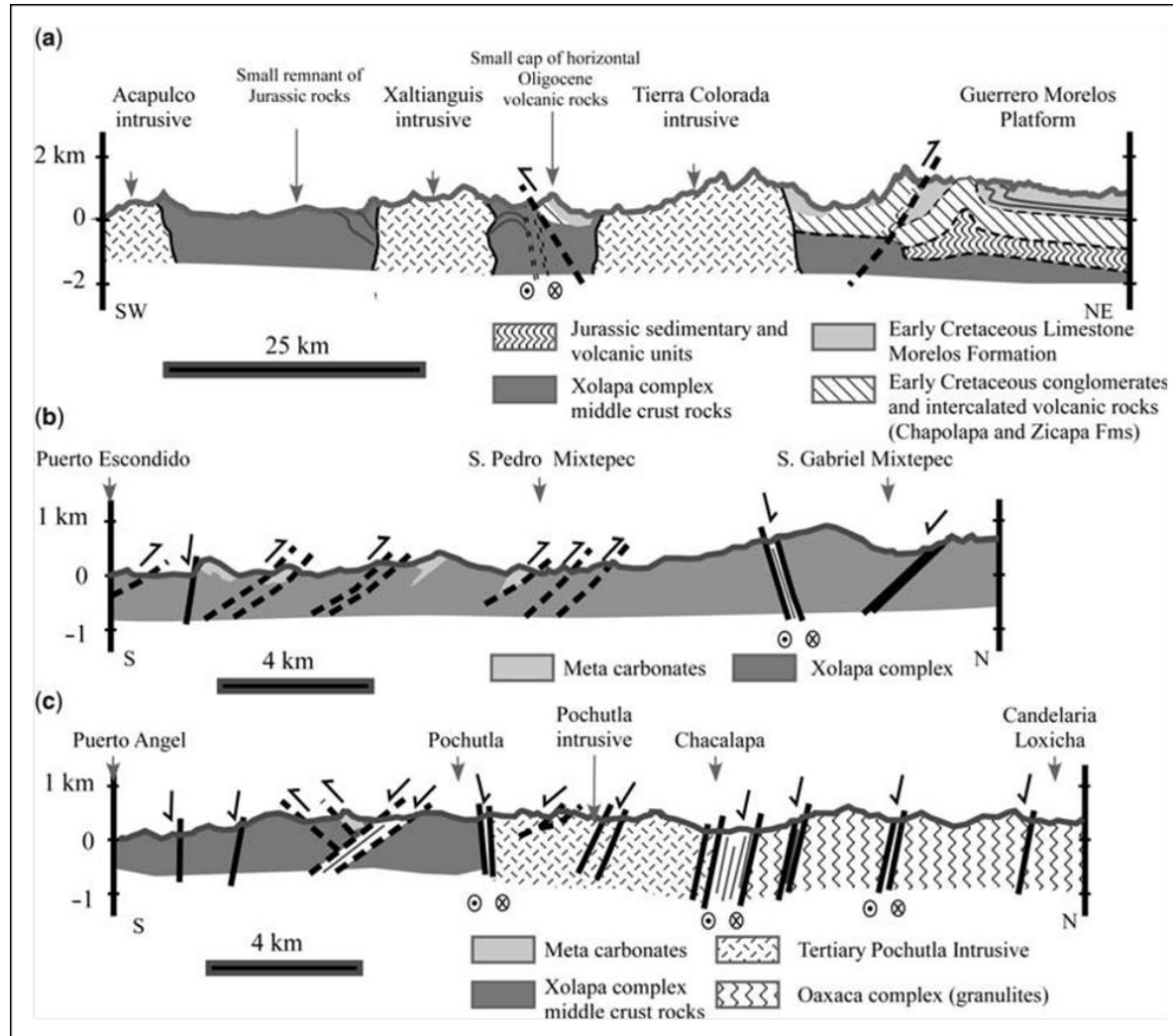


Figura 13. Secciones geológicas esquematizadas e idealizadas en: (a) Perfil Acapulco-Tierra Colorada. Esta sección fue construida después de Morán Z. D. J. et al. (1996,2003); Campa U. M. F. et al. (1997); Cerca M. et al., 2009. (b) Perfil Puerto Escondido redibujado y simplificado después de Corona C. P. et al. (2006). (c) Perfil Chalcala simplificado después de Corona C. P. et al. (2006) y Tolson J. G. (2005). Las estructuras presentadas se refieren exclusivamente a las fases posteriores a la deformación del Cretácico tardío (tomado de Cerca M. et al., 2009).

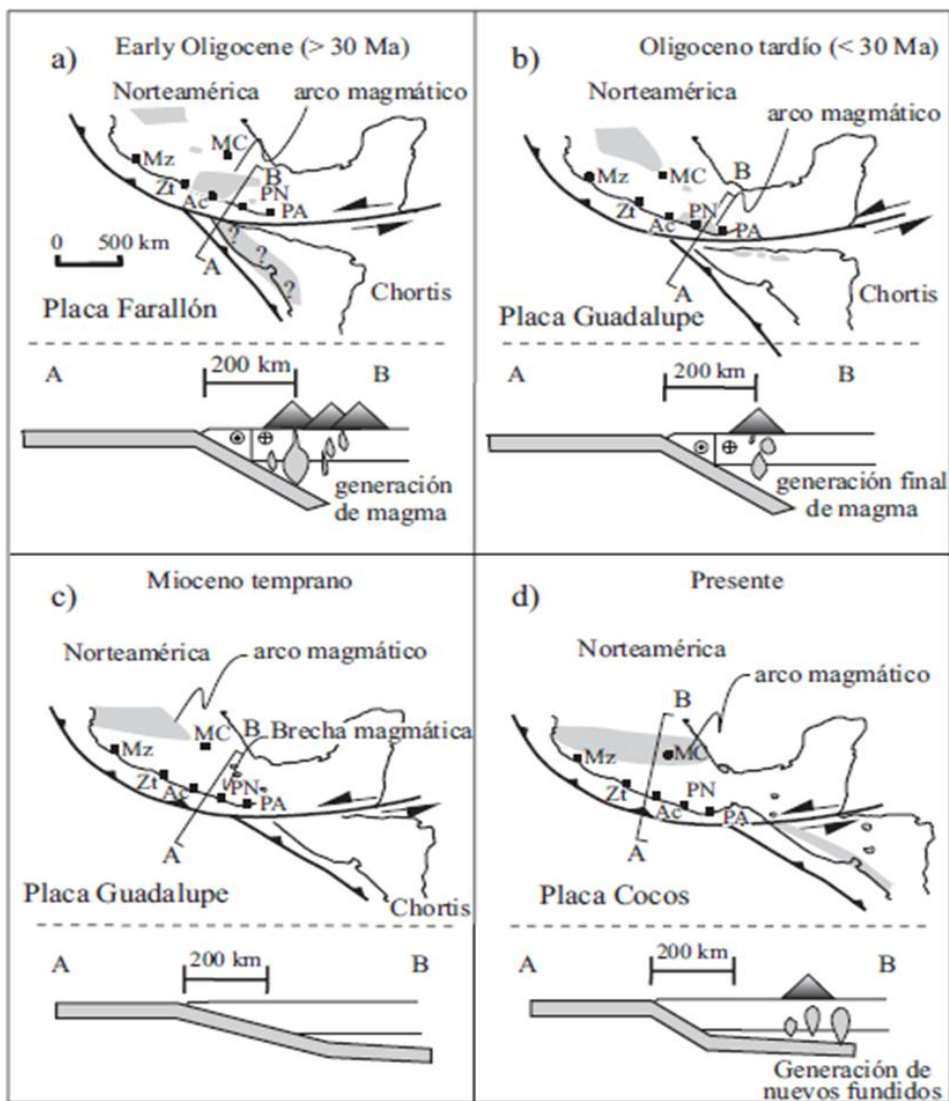


Figura 14. Modelo tectónico evolutivo del sur de México desde el Oligoceno mostrando la evolución de patrones de actividad ígnea. Las abreviaciones son: Ac=Acapulco, MC=México, Mz= Manzanillo, PA=Puerto Ángel, Zt= Zihuatanejo (Tomado de Tolson J. G., 2005).

IV. YACIMIENTOS MINERALES

IV.1. METÁLICOS

IV.1.1. Introducción

En la carta San José Chacalapa se presentan minas y manifestaciones minerales de tipo segregación magmática y oro orogénico desarrollados en un ambiente metamórfico, las estructuras consisten cuerpos lenticulares, vetas-fallas y cuerpos irregulares.

Los sistemas estructurales que controlan la mineralización tienen rumbos NW-SE y en menor incidencia NE-SW.

Con la prospección minera realizada, se definió el distrito minero conocido como Pluma Hidalgo y las áreas mineralizadas San Francisco y Copalita (**Figura 15**).

IV.1.2. Antecedentes

El yacimiento de titanio de Pluma Hidalgo, pertenece al distrito minero del mismo nombre, fue descubierto en 1939 por el señor Carlos J. Leyva oriundo de este lugar, quien mando analizar las primeras muestras de titanio por conducto del Ing. Manuel Santillán al laboratorio del Instituto de Geología de la UNAM, para su análisis y clasificación.

En 1940 por recomendaciones del Sr. Eduardo Schmitter, se desarrollaron trabajos en el área, para conocer los criaderos del mineral de titanio, los cuales fueron satisfactorios y en 1941, el Instituto de Geología realizó los primeros estudios de investigación del titanio de Pluma Hidalgo y fue hasta 1950 cuando el Instituto Nacional para la Investigación de los Recursos Minerales (Hoy Servicio Geológico Mexicano), realizó la primera visita de reconocimiento a este depósito. Posteriormente en 1953, las primeras actividades de exploración en el área, las realizó el Consejo de Recursos Minerales (Hoy Servicio Geológico Mexicano). Al finalizar ese mismo año la compañía Republic Steel Corporation, efectúa barrenación y exploración subterránea con obra minera directa hasta el año de 1957, pero por los precios bajos del titanio en el mercado suspenden las actividades.

Schulze G., 1959, realiza un estudio genético de los yacimientos de titanio en Huitzo y en la zona de

Pluma Hidalgo-Apango donde menciona que el depósito es de segregación magmática; asimismo, Paulson E. G. en 1962, en su tesis de maestría, consideró que los depósitos de rutilo e ilmenita se encuentran en la pegmatita y anortosita. Concluye que los minerales de titanio y apatito se formaron como resultado de alteraciones deutericas en una roca ígnea, sólida pero aún caliente, como resultado de emanaciones fluidas de un magma residual del cual la anortosita recrystalizó.

Hernández G. J. F., 1978, realizó el estudio de prospección de magnetometría terrestre en la zona titanífera de Pluma Hidalgo que consiste en una serie de pruebas en la mina Tizur en 420 m, verificando los gradientes pronunciados con lecturas a un metro, viéndose con ello la posibilidad de detectar la mineralización asociada al rutilo gracias a sus propiedades magnéticas, para que de esta forma se chequen los cuerpos de titanio a profundidad y recomendar obras mineras directas.

Rosales G. J. *et al.*, 1979, efectuó un estudio sistemático que comprende: geología, geofísica (magnetometría) y muestreo en obras mineras existentes en la zona de Pluma Hidalgo; la cual era Reserva Minera Nacional del C.R.M, cubicando 3820 toneladas positivas con 30% de Ti, 67286 toneladas probables con 14.74% de Ti y 975060 toneladas posibles con ley de 3% de titanio.

En 1985, la Comisión de Fomento Minero celebra un contrato con la empresa José Campos Herrera para explotar una superficie de 234 has., del lote minero Tizur; las cuales se encontraban dentro de la Reserva Minera Nacional Pluma Hidalgo, las que se desincorporan en 1990, pero no se explotaron por los bajos precios del titanio (Sánchez R. D., 2004).

Rosales G. J. *et al.*, 1979, efectuó un estudio sistemático que comprende: geología, geofísica (magnetometría) y muestreo en obras mineras existentes en la zona de Pluma Hidalgo; la cual era Reserva Minera Nacional del C.R.M, cubicando 3820 toneladas positivas con 30% de Ti, 67286 toneladas probables con 14.74% de Ti y 975060 toneladas posibles con ley de 3% de titanio.

En 1985, la Comisión de Fomento Minero celebra un contrato con la empresa José Campos Herrera para explotar una superficie de 234 has., del lote minero Tizur; las cuales se encontraban dentro de

SAN JOSÉ CHACALAPA D14-B18

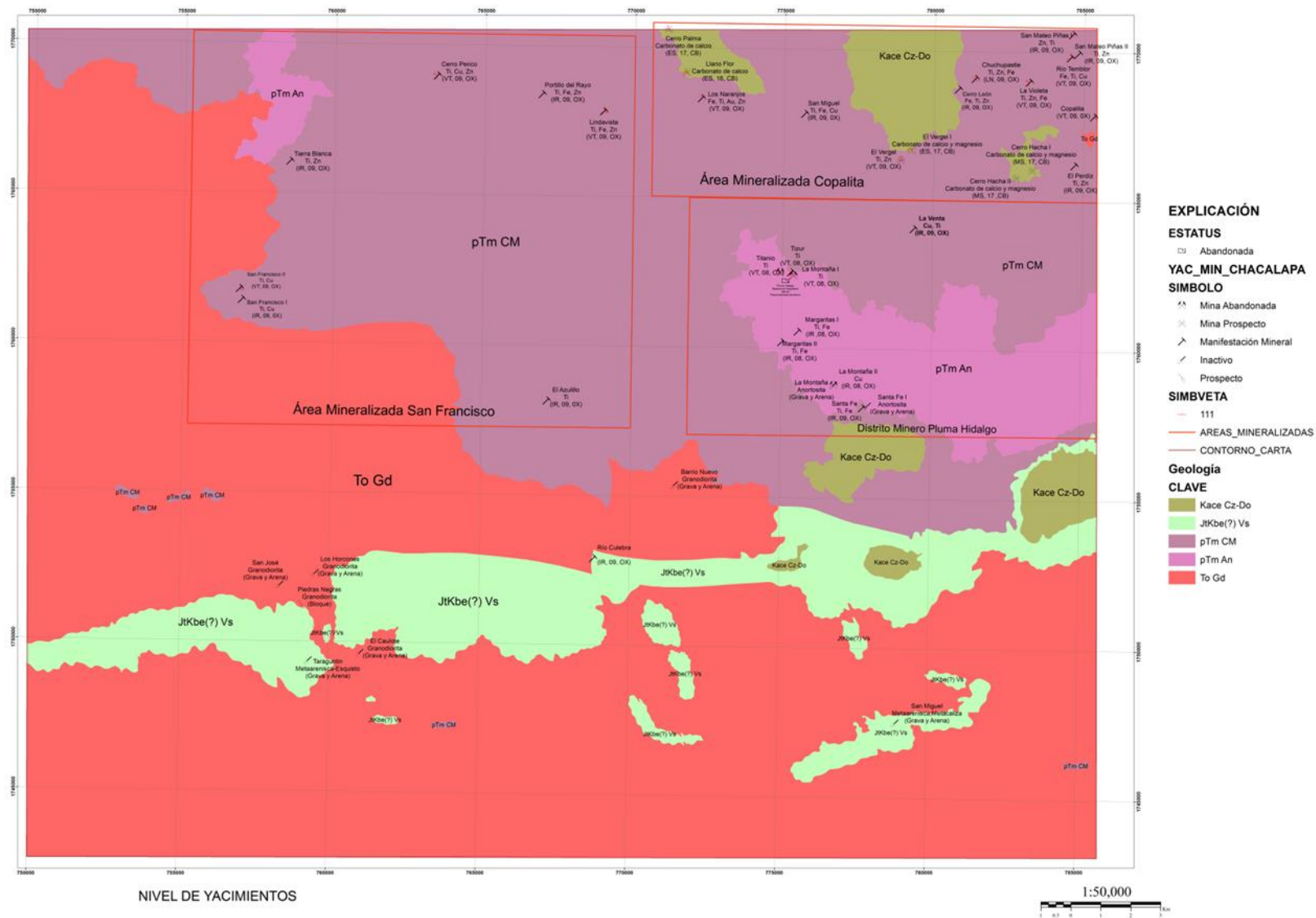


Figura 15. Nivel de yacimientos minerales

la Reserva Minera Nacional Pluma Hidalgo, las que se desincorporan en 1990, pero no se explotaron por los bajos precios del titanio (Sánchez R. D., 2004).

Force R. E., 1991, lleva a cabo un estudio de los depósitos en Pluma Hidalgo concluyendo que se deben a condiciones pre y post magmáticas.

La unidad minera José Campos Herrera S.A. de C.V., explota el mineral titanífero (rutilo-ilmenita), en 1992, embarcando el mineral en bruto de la unidad minera Pluma Hidalgo y en 1997 construye una planta de beneficio para procesar un tonelaje mensual de 2,500 t/m con ley de concentrado de 25% de rutilo (Sánchez R. D., 2004).

Antonio A. R., 1994, realizó la exploración minera del proyecto Pochutla-San José del Progreso en la costa de Oaxaca, propuesto por la Gerencia Regional Zona Sur Oaxaca del CRM, reconociendo manifestaciones minerales de pirita al norte de Pluma Hidalgo, cerca de San Mateo Piñas.

Minera Kennecott S.A. de C.V., de 1997 a 1998, realizó un programa de exploración en el lote Tizur (234 hectáreas), propiedad de minera José Campos Herrera S.A. de C.V.; quien efectuó trabajos de geología regional y detalle, geoquímica de suelos y roca; así como registros eléctricos. El estudio geológico ubicó tres áreas mineralizadas, resultando la de mayor interés la anomalía Tizur, donde se desarrolló un programa de barrenación con 21 barrenos a diamante a una profundidad de hasta 201 m con recuperación de núcleo, con un total de 3,060 m, con los que se calculó un potencial de 1 460 000 toneladas con ley de 6.6 % de rutilo y 5.9 % de ilmenita.

Con los estudios de minera Kennecott, S.A. de C.V., se definieron dos estructuras convergentes de mineralización titanífera denominadas: Titanio Norte y Titanio Sur.

Titanio Norte.- En esta estructura se localizan las obras antiguas en donde la mineralización está emplazada en monzodiorita foliada y al parecer está controlada por dicha foliación, siguiendo un rumbo general NW 50°-60° SE con un echado de 70° a 80° al SW.

Titanio Sur.- Ubicada a 250 m de la estructura norte, tiene un rumbo general de NW 50°-60° SE y una inclinación de 60° a 70° al SW, con una

longitud conocida de 350 m y un espesor medio de 25 m. Sobre esta estructura existen cinco obras mineras de diferente desarrollo.

Con la exploración mencionada se cubicaron las siguientes reservas: Positivas 543,000 con 5.7% de rutilo, 5.9% ilmenita, Probables 651,000 con 4.3% de rutilo, 5.9% ilmenita y Potenciales 266,000 con 3.2% rutilo y 5.9% ilmenita, sumando un total de 1,460,000 toneladas.

Leija C. P., en 1999, lleva a cabo la evaluación minera del depósito de rutilo-ilmenita en la unidad José Campos Herrera S.A. de C.V., reportando reservas mineras del área La Montaña, que suman un total de 269,055 toneladas con una ley de rutilo de 9.82 %.

En el mismo año, José Campos Herrera presenta un proyecto de explotación a tajo abierto del yacimiento titanífero del lote Tizur y en el periodo 2000-2002, se explotaron los yacimientos, en los que se cubicaron 1,460,000 toneladas con una ley promedio de 6.6% de rutilo y 5.9% de ilmenita, obteniendo 180 t/d que se beneficiaron en la planta de Pluma Hidalgo donde se obtuvieron preconcentrados de rutilo (50%) e ilmenita (50%) que posteriormente fueron refinados por el método de separación magnética en la planta de Ocotlán, Oaxaca. (Actualmente inactiva por agotamiento de reservas).

Motolinía G. O. *et al.*, 2002, definieron la zona mineralizada Pluma Hidalgo que contiene los depósitos de mineral de titanio, alojados en anortosita, considerados de segregación magmática. En la localidad de Apanguito, se reconoció una manifestación en forma diseminada y en lentes con rutilo e ilmenita, de 100 m de longitud y espesor de 0.2 a 0.4 m, con leyes de 5.5% a 6% de Ti y 4.2% a 10% de Fe.

Mina La Montaña.- Fue explotada en los años 2000-2002, por la compañía minera José Campos Herrera, subsidiaria de Rutilo Mexicano, S.A. de C.V. mediante obra minera subterránea y a cielo abierto por el sistema de banqueo descendente, (**Fotografía 29**). Las obras mineras consisten de 5 túneles con desarrollo de 13 a 260 m, 4 cruceros de 20 a 190 m y 4 contrapozos de 150 m de profundidad; también se desarrollaron los niveles 930 y 940 con frentes, cruceros y contrapozos.



Fotografía 29. Mina La Montaña, explotación a cielo abierto, al poniente de Pluma Hidalgo.

El cuerpo mineralizado explotado tenía una longitud de 300 m, dentro del cual se presentaban bolsadas de 40 m de espesor y estructuras en forma de veta con longitudes de 10 a 60 m y espesores de 0.10 a 2.80 m, con rumbo de N 45° W y echado de 45° a 60° SW. La ley reportada fue de 5 a 50% de rutilo.

La mineralización de mena es rutilo rojo, rosa, café y negro, la ilmenita es café y negra. La ganga es magnetita, apatito, titanita, zircón, hematita, granate y sericita. La roca encajonante es anortosita con alteraciones como propilitización y oxidación. Este yacimiento está asociado a una falla antitética orientada NW-SE (Leija C. P., 1999). Actualmente la mina se encuentra colapsada por lo que todas las obras mineras son inaccesibles (**Fotografía 30**).



Fotografía 30. Mina La Montaña, al poniente de Pluma Hidalgo, actualmente colapsada.

IV.1.3. Minas en Explotación

Actualmente no se cuenta con minas en explotación dentro del área estudiada.

IV.1.4. Infraestructura minera

La infraestructura minera de la carta es deficiente ya que no existe actualmente actividad minera en la región que incentive la inversión minera. Las vías de acceso a las áreas mineralizadas se encuentran en buenas condiciones, consistiendo de carretera pavimentada, caminos de terracerías y brechas que comunican a los poblados y rancherías. Para los cuerpos mineralizados los caminos de terracería se encuentran algo deteriorados.

El distrito minero de Pluma Hidalgo contaba con la infraestructura básica necesaria de una planta de beneficio (1997) con producción de 180 t/d, para obtener concentrados de titanio e ilmenita por el método de concentración gravimétrica (**Fotografía 31**). En la actualidad la planta se encuentra desmantelada y quedan únicamente los vestigios de las instalaciones (**Fotografía 32**).



Fotografía 31. Planta de beneficio de Pluma Hidalgo abandonada, en las inmediaciones de la localidad del mismo nombre.



Fotografía 32. Interior de la planta de beneficio de Pluma Hidalgo abandonada, al poniente del poblado del mismo nombre.

IV.1.5. Distrito Minero Pluma Hidalgo

El área del distrito minero se localiza en la porción nororiental de la carta, entre las coordenadas geográficas $15^{\circ} 52' 07.0''$ a $15^{\circ} 56' 57.9''$ de latitud norte y $96^{\circ} 20' 00.0''$ a $96^{\circ} 27' 42.5''$ de longitud oeste (**Figura 16**).

El yacimiento de titanio de Pluma Hidalgo se ubica a 130 km en línea recta al S 15° E de la ciudad de Oaxaca y a 2 km al poniente de la población de Pluma Hidalgo, municipio de Pochutla, Oaxaca.

El acceso se realiza por la carretera federal No. 175 Oaxaca-Pochutla-Puerto Ángel, hasta la desviación a la rancharía Copalita de donde se continúa hacia el sureste por terracería recorriendo una distancia de 12 km a Pluma Hidalgo, y se continua por 2 km de carretera pavimentada rumbo a Santa María Huatulco, hasta llegar a la zona minera.

Las rocas que afloran en el distrito minero de Pluma Hidalgo son: ortogneis bandedo y anortosita; ambas afectadas por diques pegmatíticos, pertenecientes al Complejo Oaxaqueño de edad Proterozoico medio, le sobreyacen en forma discordante caliza y dolomía de la Formación Teposcolula de edad Albiano-Cenomaniano.

Las estructuras en el distrito son tabulares en forma de vetas y cuerpos irregulares con longitudes de 3 a 30 m y hasta 100 m, con espesor promedio de 1.20 m. La mineralización consta de rutilo, ilmenita y calcopirita, hematita y limonita, pirita, arsenopirita, pirrotita, cuarzo, sericita y calcita. La roca huésped de la mineralización es ortogneis de hornblenda con

granate, grafito y biotita; en algunos lugares se encuentra muy alterada con presencia de vetillas de cuarzo en forma multidireccional. Las alteraciones presentes son propilitización, silicificación y oxidación.

En el depósito de Pluma Hidalgo, los minerales de mena son rutilo e ilmenita, los minerales de ganga constan de magnetita, apatito, titanita, zircón, hematita, anfíboles, clorita, clinozoisita, granate, sericita, pirita, calcita, diópsida, limonita y minerales arcillosos.

En este distrito, se reconocieron las minas Titanio, Tizur, La Montaña I, La Montaña II y las manifestaciones La Venta, Margaritas I, Margaritas II y Santa Fe.

Manifestación La Venta.- Localizada en la parte nororiental de la carta, a 2.5 km al noreste de Pluma Hidalgo, en las coordenadas UTM 14P 779364E y 1764040N, se presenta un cuerpo irregular de 20 m de longitud, 20 m de ancho y desnivel de 15 m. La mineralización hipogénica de mena es trazas de esfalerita y calcopirita, la ganga consta de cuarzo, pirita y calcita; la mineralogía supergénica y que es la que predomina consiste de hematita y limonita, la roca huésped es ortogneis, alterado por silicificación y oxidación (**Fotografía 33**).



Fotografía 33. Manifestación La Venta, emplazada en ortogneis del Complejo Oaxaqueño, al noreste de Santa Fe.

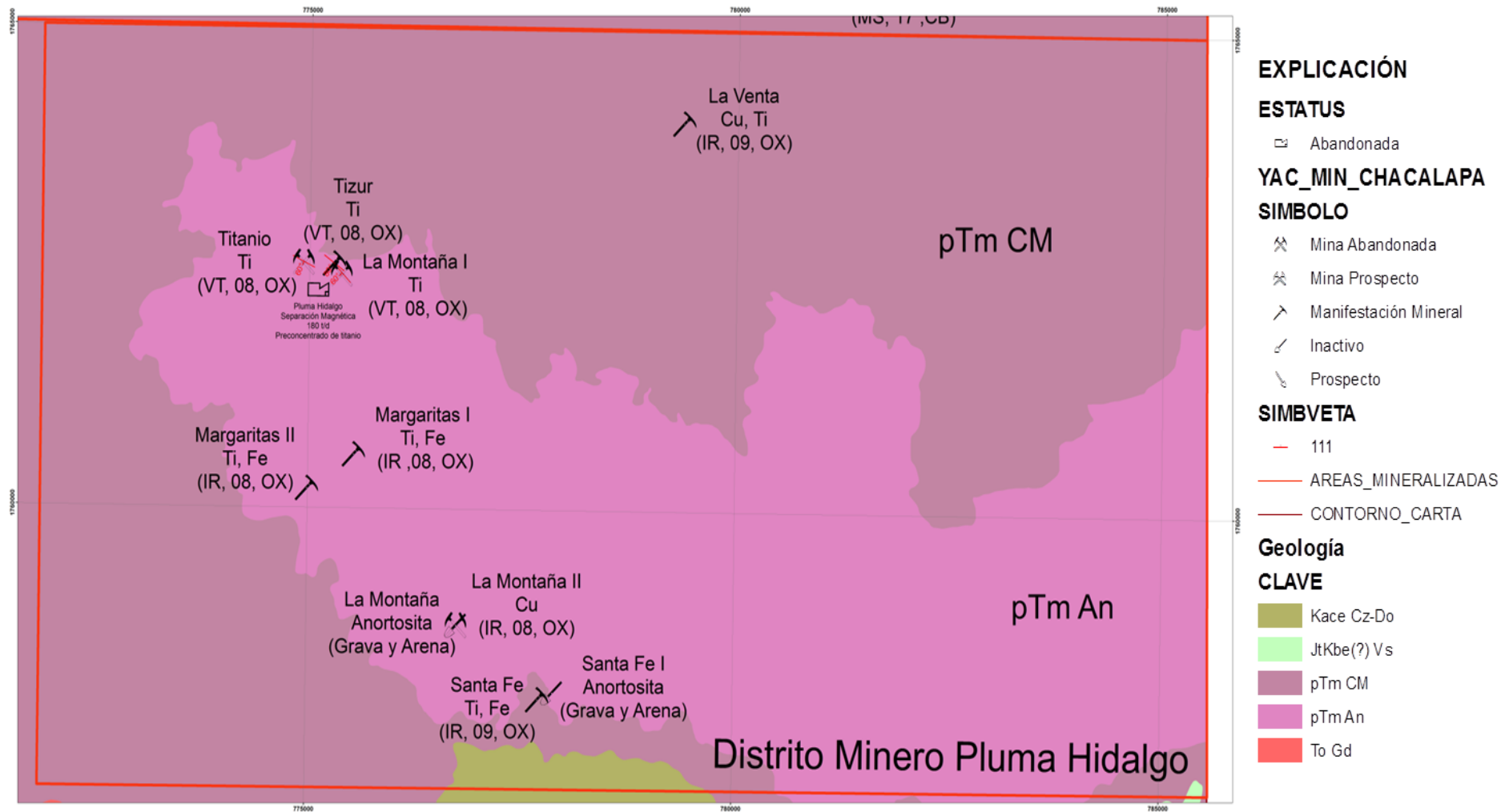


Figura 16. Distrito minero Pluma Hidalgo

Se colectó una muestra de esquirlas para su análisis químico por Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn y Ti. Los resultados se dan en la **Tabla 18**.

No. Definitivo de muestra	Elementos			
	Cu %	Au g/t	Zn %	Ti %
SJ-101	0.0202	0.002	0.0065	0.21

Tabla 18. Resultados de la manifestación La Venta

Mina Titanio.- Se localiza en el cuadrante nororiental de la carta, a 1.4 km al poniente de Pluma Hidalgo, en las coordenadas UTM 14P 774929E y 1762552N, fue explotada por minado subterráneo y a cielo abierto por el sistema de banqueo descendente, por la compañía minera José Campos Herrera, filial de Rutilo Mexicano S. A. de C. V., en el 2000-2002 (Sánchez R. D., 2004). Las obras mineras consisten de 3 túneles con desarrollo de 75 a 186 m, 3 cruceros de 25 a 155 m y 3 contrapozos de 30 a 100 m; también se desarrollaron los niveles Titanio 1, Titanio 2 y Titanio 3 con frentes, cruceros y contrapozos. El cuerpo mineralizado explotado consistía de 2 estructuras vetiformes irregulares y lenticulares con rumbo de N 65° W, echado de 60° al SW, de 0.60 m a 2.5 m de espesor con longitudes variables de 25 m a 60 m y desnivel de 30 m (Leija C. P., 1999).

En el presente estudio, la superficie del depósito manifiesta un ligero hundimiento de las obras mineras explotadas, colapsadas e inaccesibles, registrando un área estimada de 200 m de longitud por 100 m de ancho.

El mineral de mena es rutilo rojo y rosa, ilmenita café, la ganga es cuarzo, calcita, magnetita, hematita, granate y sericita. La roca encajonante es anortosita y la alteración es propilitización y oxidación.

Se colectó una muestra de esquirla en un ancho de 5 m, donde afloran vetillas irregulares de cuarzo, de 2 a 6 cm de ancho, con rumbo N65°W e inclinación de 80° al SW, para análisis químico por Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn y Ti. El resultado del análisis químico se muestra en la **Tabla 19**.

No. Definitivo de muestra	Elementos		
	Cu %	Zn %	Ti %
SJ-099	0.0036	0.0088	2.85

Tabla 19. Resultados de la mina abandonada Titanio

Mina Tizur.- Se localiza en la porción nororiental de la carta; a 800 m al poniente de Pluma Hidalgo, en las coordenadas UTM 14P 775282E y 1762537N,

consta de una veta-falla con longitud estimada de 20 m, ancho de 10 m y desnivel aproximado de 5 m, con rumbo N 55° W y echado de 80° SW, la mineralización de mena es rutilo e ilmenita, la ganga hematita y sericita, emplazada en anortosita alterada por propilitización y oxidación.

Se colectaron 3 muestras de esquirlas para su análisis por Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn y Ti. Las leyes se reportan en la **Tabla 20**.

No. Definitivo de muestra	Elementos		
	Cu %	Zn %	Ti %
SJ-102	0.0034	0.0057	2.72
SJ-103	0.0033	0.0056	1.17
SJ-104	0.0033	0.0069	3.03
Promedio	0.0033	0.0061	2.3067

Tabla 20. Resultados de la manifestación Tizur

Mina La Montaña I.- Se ubica en la parte nororiental de la carta, a 1 km al poniente de Pluma Hidalgo; en las coordenadas UTM 14P 775374E y 1762436N, actualmente se observa un hundimiento del terreno que representa la porción explotada con dimensiones tentativas de 70 m de longitud y 40 m de ancho controlada por una falla normal de rumbo N 45° W con 60° al NE.

La mineralización consta de rutilo e ilmenita, la ganga es magnetita, hematita, granate y sericita. La roca encajonante es anortosita con alteraciones de propilitización y oxidación.

Se colectaron dos muestras de esquirlas para su análisis por Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn y Ti. Las leyes promedio se muestran en la **Tabla 21**.

No. Definitivo de muestra	Elementos		
	Cu %	Zn %	Ti %
SJ-105	0.0033	0.0122	2
SJ-106	0.0031	0.008	1.79
Promedio	0.0032	0.0101	1.895

Tabla 21. Resultados de la mina abandonada La Montaña I

Manifestación Margaritas I.- Situada en el sector oriental de la carta, a 1 km al sureste de la finca Margaritas, en las coordenadas UTM 14P 775533E y 1760558N, presenta cuerpo irregular con longitud de 25 m, 20 m de ancho y desnivel de 10 m aproximadamente. La mineralogía de mena está constituida por rutilo diseminado, la ganga es hematita, cuarzo, se encuentra emplazada en

anortosita, alterada por silicificación (**Fotografía 34**).



Fotografía 34. Manifestación Margaritas I con rutilo diseminado en ortogneis, al surponiente de Pluma Hidalgo.

Se colectaron 3 muestras de esquirlas, para su análisis por el paquete de geoquímica para valores altos. Los resultados promedio se presentan en la **Tabla 22**.

No. Definitivo de muestra	Elementos				
	Cu %	Al %	Au g/t	Fe total %	Ti %
SJ-107	0.0030	10.35	0.025	5.7800	0.7468
SJ-108	0.0025	10.81	N.D.	5.2200	0.1795
SJ-109	0.0030	10.38	0.009	5.8200	0.2790
Promedio	0.003		0.011	5.607	0.402

Tabla 22. Resultados de la manifestación Margaritas I

Manifestación Margaritas II.- Se encuentra en la porción oriental de la carta, a 900 m al sureste de la finca Margaritas, en las coordenadas UTM 14P 774989E y 1760199N, consiste de un cuerpo irregular de 60 m de longitud, ancho de 25 m y desnivel de 30 m. La mineralogía de mena está constituida por rutilo diseminado, la ganga es hematita, cuarzo, emplazada en ortogneis alterada por silicificación.

Se colectó una muestra de esquirla para su análisis por el paquete de geoquímica. Las leyes obtenidas se muestran en la **Tabla 23**.

No. Definitivo de muestra	Elementos			
	Cu %	Zn %	Fe total %	Ti %
SJ-100	0.0056	0.0050	5.8500	0.1521

Tabla 23. Resultados de la manifestación Margaritas II

Mina La Montaña II.- Se localiza en el cuadrante oriental de la carta, a 3.8 km al sureste de Pluma Hidalgo, en las coordenadas UTM 14P 776755E y 1758796N, consiste de un tajo con longitud observada de 70 m, ancho de 30 m y desnivel de 15 m, la estructura es un dique metadiorítico de 20 m de longitud, 10 m de ancho y 15 m de desnivel; la mineralización se encuentra en fracturas y consiste de rutilo e ilmenita, la ganga consta de hematita, cuarzo y sericita, emplazada en anortosita, alterada por propilitización y oxidación (**Fotografía 35**).



Fotografía 35. Manifestación La Montaña II, en anortosita con mineralización de rutilo, al norponiente de La Montaña.

Se colectó una muestra de esquirla para análisis por Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn y Ti. El resultado promedio se tiene en la **Tabla 24**.

No. Definitivo de muestra	Elementos		
	Cu %	Zn %	Ti %
SJ-118	0.0024	0.0018	0.08

Tabla 24. Resultados de la manifestación La Montaña II

Manifestación Santa Fe.- Se ubica en el sector oriente de la carta, a 400 m al noreste de la finca Santa Fe, en las coordenadas UTM 14P 777713E y 1758029N, aflora un cuerpo irregular de 20 m de longitud observada, 20 m de ancho y 10 m de desnivel. La mineralogía consiste principalmente de hematita, limonita, trazas de esfalerita y calcopirita, pirita, arsenopirita, cuarzo y calcita, la roca huésped es ortogneis bandeado, alterado por silicificación y oxidación intensa (**Fotografía 36**).



Fotografía 36. Manifestación Santa Fe, cuerpo irregular en ortogneis bandeado, al nororiente de Santa Fe.

Se colectaron 5 muestras de esquirlas, para su análisis químico por el paquete de geoquímica para valores altos. La ley promedio se presenta en la **Tabla 24**.

No. Definitivo de muestra	Elementos				
	Cu %	Zn %	Fe total %	Ti %	Au g/t
SJ-119	0.0111	0.0158	5.9500	0.1602	0.0070
SJ-120	0.0126	0.0157	7.8400	0.3126	N.D.
SJ-121	0.0370	0.0143	18.0000	0.4934	0.0030
SJ-122	0.0502	0.0123	11.8300	0.5274	N.D.
SJ-123	0.0182	0.0092	8.0400	0.5234	N.D.
Promedio	0.026	0.013	10.332	0.403	0.005

Tabla 24. Resultados de la manifestación Santa Fe

IV.1.6. Área mineralizada San Francisco

Se ubica entre las porciones noroccidental, norte, occidental y central de la carta, limitada por las coordenadas geográficas 15° 52' 45.6" a 15° 59' 58.7" de latitud norte y 96° 28' 38.3" a 96° 37' 0.5" de longitud oeste (**Figura 17**).

El contexto geológico en el área, está conformado por ortogneis y anortosita, diques pegmatíticos y félsicos pertenecientes al Complejo Oaxaqueño de edad Precámbrico, lo intrusión granito-granodiorita de edad Oligoceno-Mioceno.

Las estructuras presentes en el área, constan de cuerpos irregulares, lenticulares y en menor proporción vetas. La mineralogía consta de calcopirita, pirita, magnetita, arsenopirita, hematita y limonita, cuarzo y calcita. La roca encajonante es

ortogneis de hornblenda bandeado, las alteraciones hidrotermales presentes son silicificación y oxidación que varía de moderada a intensa.

Se relacionan con yacimientos tipo oro orogénico, también denominados depósitos mesotermiales de oro, caracterizados por sistemas de vetas en las que predomina el cuarzo, pirita y arsenopirita, desarrollados en un ambiente metamórfico, no presentan halos de alteración, quedando restringida únicamente en las estructuras.

En esta área se reconocieron las manifestaciones minerales Cerro Perico, Portillo del Rayo, Lindavista, Tierra Blanca, San Francisco II, San Francisco I y El Azulillo.

Manifestación Cerro Perico.- Localizado en la parte norte de la carta, a 500 m al norte de la comunidad del mismo nombre, en las coordenadas UTM 14P 763400E y 1768954N, se tiene un cuerpo tabular, que en partes se manifiesta como lñente, de rumbo N 20° E, echado de 80° NW, con longitud de 50 m 35 m de ancho y 25 m de desnivel, la mineralización consta de trazas de calcopirita, pirita, arsenopirita, hematita, limonita y cuarzo; se emplaza en ortogneis con fracturamiento intenso, las alteraciones hidrotermales son silicificación y oxidación intensa; se encuentra asociado a falla lateral izquierda de rumbo N 60° E con inclinación de 75° al NW, en la intersección de la falla con fracturas y foliación se forman pequeñas bolsas de mineral (**Fotografía 37**).



Fotografía 37. Manifestación Cerro Perico, desarrollado en ortogneis, al noreste de cerro Perico.

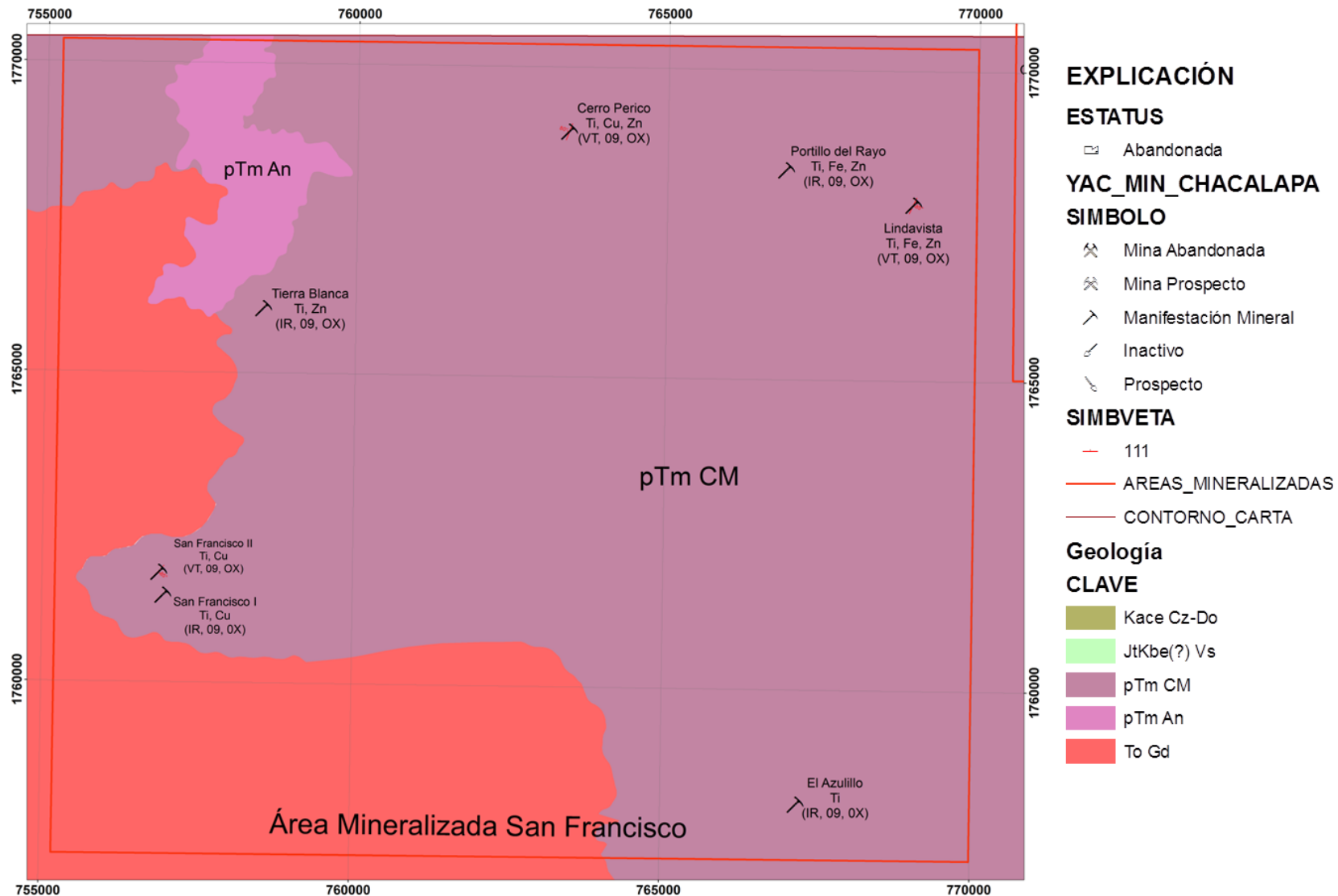


Figura 17. Área mineralizada San Francisco

Se obtuvieron 16 muestras de esquirlas para análisis por el paquete de geoquímica para valores altos. Los resultados se muestran en la **Tabla 25**.

No. Definitivo de muestra	Elementos				
	Cu %	As %	Au g/t	Zn %	Ti %
SJ-009	0.0304	0.0073	0.003	0.017	0.2684
SJ-010	0.0297	0.0016	0.006	0.0124	0.25
SJ-011	0.0209	0.0017	0.004	0.0214	0.7332
SJ-012	0.0232	0.0024	0.003	0.0122	0.3648
SJ-013	0.0219	0.0022	0.007	0.0136	0.402
SJ-014	0.0273	0.0014	0.014	0.0095	0.2362
SJ-015	0.0378	0.0244	0.004	0.017	0.456
SJ-016	0.0148	0.0194	0.003	0.0122	0.2768
SJ-017	0.0098	0.0048	0.003	0.013	0.1197
SJ-018	0.0089	0.0055	0.004	0.0215	0.3694
SJ-019	0.0565	0.0025	0.018	0.0212	0.23
SJ-020	0.0488	0.0016	0.011	0.0196	0.2862
SJ-021	0.0439	0.0088	0.009	0.0181	0.2978
SJ-022	0.0225	0.0063	0.008	0.014	0.5656
SJ-023	0.0155	0.0022	0.003	0.0112	0.3346
SJ-024	N.D	N.D	0.004	N.D	N.D
Promedio	0.0257	0.0057	0.0066	0.0146	0.3244

Tabla 25. Resultados de la manifestación Cerro Perico

Manifestación Portillo del Rayo.- Ubicada en la porción norte de la carta, a 450 m al suroeste de Pueblo Viejo, en las coordenadas UTM 14P 766904E y 1768378N; consiste de un cuerpo irregular con longitud de 60 m, 10 m de ancho y un desnivel de 30 m; la mineralización consta de trazas de esfalerita, rutilo, magnetita, hematita y cuarzo, emplazada en ortogneis la alteración hidrotermal es silicificación, exhibe fracturamiento intenso asociado a falla lateral izquierda.

Se colectó la muestra de esquirla para análisis por el paquete de geoquímica para valores altos. Las leyes reportadas se anotan en la **Tabla 26**.

No. Definitivo de muestra	Elementos					
	Cu %	Zn %	Sr %	Ti %	Al %	Fe %
SJ-026	0.0034	0.0140	0.0316	1.2270	6.46	8.38

Tabla 26. Resultados de la manifestación Portillo del Rayo

Manifestación Lindavista.- Situada en el sector norte de la carta, en las inmediaciones de Portillo del Rayo, en las coordenadas UTM 14P 768963E y 1767836N, aflora un cuerpo tabular de rumbo

N25°E, echado de 85° al SE, con longitud de 30 m, espesor 20 m y 15 m de desnivel; la mineralización está representada por trazas de esfalerita, pirita, hematita, limonita y cuarzo, emplazada en ortogneis, alterado por silicificación y oxidación moderada.

Se colectó una muestra de esquirla, para su análisis por el paquete de geoquímica para valores altos. El resultado se muestra en la **Tabla 27**.

No. Definitivo de muestra	Elementos				
	Cu %	Au g/t	Zn %	Fe total %	Ti %
SJ-028	0.0061	0.005	0.0123	6.1	0.6692

Tabla 27. Resultados de la manifestación Lindavista

Manifestación Tierra Blanca.- Localizada en la porción norponiente de la carta, a 900 m al noroeste de Tierra Blanca, en las coordenadas UTM 14P 758507E y 1766037N, aflora un cuerpo de forma irregular, orientado N 55° W y echado 70° NE, con longitud de 200 m, 60 m de ancho y 90 m de desnivel, la mineralización consiste de trazas de rutilo y esfalerita, pirita, arsenopirita, hematita, limonita y cuarzo, se aloja en ortogneis, alterado de silicificación y oxidación intensa, la mineralización está controlada por la falla lateral izquierda de rumbo N 45° E con inclinación de 85° al NW.

Se colectaron 6 muestras de esquirlas para su análisis químico por Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn y Ti. Los resultados se presentan en la **Tabla 28 (Fotografía 38)**.

No. Definitivo de muestra	Elementos				
	Cu %	Au g/t	Ag g/t	Zn %	Ti %
SJ-003	0.0088	N.D.	N.D.	0.016	0.3008
SJ-004	0.0078	N.D.	N.D.	0.0067	0.1519
SJ-005	0.0047	N.D.	N.D.	0.0111	0.6332
SJ-006	0.0095	N.D.	N.D.	0.0108	0.7612
SJ-007	0.0062	N.D.	N.D.	0.0078	0.2416
SJ-008	0.0052	N.D.	N.D.	0.0081	0.3690
Promedio	0.007	N.D.	N.D.	0.0101	0.4096

Tabla 28. Resultados de la manifestación Tierra Blanca



Fotografía 38. Manifestación Tierra Blanca, al noroeste de Tierra Blanca.

Manifestación San Francisco II.- Ubicada en la parte norponiente de la carta, a 1.8 km al noreste de San Francisco Loxicha, en las coordenadas UTM 14P 756878E y 1761761N, aflora una veta con longitud observada de 40 m, 1.5 m de espesor y 20 m de desnivel, de rumbo N 40° E y echado de 85° al SE. La mineralización consta de trazas de calcopirita, pirita, arsenopirita, rutilo, hematita, limonita, cuarzo y calcita, la roca huésped es ortogneis con fracturamiento intenso, alterada por silicificación y oxidación intensa (**Fotografía 39**).



Fotografía 39. Manifestación San Francisco II con silicificación oxidación, al norponiente de San Francisco.

Se colectaron 4 muestras de esquirlas para análisis por el paquete de geoquímica para valores altos. Las leyes reportadas se muestran en la **Tabla 29**.

No. Definitivo	Elementos
----------------	-----------

de muestra	Cu %	Au g/t	Zn %	Ti %
SJ-074	0.0025	0.002	0.0024	0.0396
SJ-075	0.0964	0.007	0.0095	0.2148
SJ-076	0.0038	0.003	0.0018	0.0134
SJ-077	0.0054	N.D.	0.0038	0.2708
Promedio	0.027	0.003	0.0044	0.1347

Tabla 29. Resultados de la manifestación San Francisco II

Manifestación San Francisco I.- Situada en el sector norponiente de la carta, a 1.5 km al noreste de San Francisco Loxicha, en las coordenadas UTM 14P 756948E y 1761392N, aflora un cuerpo irregular de 200 m de longitud estimada, 50 m de ancho y 100 m de desnivel, la mineralogía consta de trazas de esfalerita y calcopirita, pirita, arsenopirita, hematita, limonita y cuarzo, la roca de caja es ortogneis, alterado por silicificación y oxidación.

Se tomaron 16 muestras de esquirlas para su análisis por el paquete de geoquímica para valores altos, los resultados obtenidos se dan en la **Tabla 30**.

No. Definitivo de muestra	Elementos			
	Cu %	Au g/t	Zn %	Ti %
SJ-078	0.004	0.004	0.0064	0.3690
SJ-079	0.0046	N.D.	0.0076	0.2422
SJ-080	0.0035	N.D.	0.0049	0.3532
SJ-081	0.0041	0.008	0.0031	0.4590
SJ-082	0.0029	N.D.	0.0031	0.3142
SJ-083	0.0526	0.002	0.0045	0.1955
SJ-084	0.019	N.D.	0.0091	0.3142
SJ-085	0.0054	N.D.	0.006	0.3822
SJ-086	0.0126	0.003	0.0087	0.1421
SJ-087	0.0056	N.D.	0.0028	0.5824
SJ-088	0.0368	N.D.	0.0071	0.1374
SJ-089	0.0208	N.D.	0.0082	0.1482
SJ-090	0.0143	0.013	0.0262	0.3882
SJ-091	0.0151	N.D.	0.0489	0.2642
SJ-092	0.0067	N.D.	0.0168	0.3272
SJ-093	0.0084	0.006	0.0198	0.2482
Promedio	0.0135	0.0022	0.0115	0.3042

Tabla 30. Resultados de la manifestación San Francisco I

Manifestación El Azulillo.- Se localiza en la parte central de la carta, a 700 m al poniente de la comunidad El Azulillo, en las coordenadas UTM

14P 767182E y 1758145N, aflora cuerpo irregular lenticular de 100 m de longitud estimada, 9 m de ancho y 45 m de desnivel, orientado N50°W e inclinación de 75° al NE; la mineralización consta de trazas de rutilo y esfalerita, la supergénica consiste de hematita, limonita, pirita, arsenopirita y cuarzo; la roca huésped es ortogneis, alterado por silicificación y oxidación.

Se tomaron 4 muestras de esquirla para su análisis por el paquete de geoquímica para valores altos. Las leyes obtenidas se muestran en la **Tabla 31**.

No. Definitivo de muestra	Elementos				
	Cu %	Au g/t	Ag g/t	Zn %	Ti %
SJ-113	0.0094	N.D.	N.D.	0.0026	0.1547
SJ-114	0.0036	N.D.	N.D.	0.0081	0.1999
SJ-115	0.0045	N.D.	N.D.	0.0034	0.2690
SJ-116	0.0044	N.D.	N.D.	0.0078	0.3836
Promedio	0.0055	N.D.	N.D.	0.0055	0.2518

Tabla 31. Resultados de la manifestación El Azulillo

IV.1.7. Área mineralizada Copalita

Se localiza entre las porciones norte y oriental de la carta, limitada por las coordenadas geográficas 15° 56' 52.4" a 15° 59' 53.0" de latitud norte y 96° 20' 00.0" a 96° 28' 22.9" de longitud oeste (**Figura 18**).

Afloran ortogneis y paragneis, afectados por pegmatita, diques félsicos y máficos, pertenecientes al Complejo Oaxaqueño de edad Proterozoico medio, le sobreyace discordantemente caliza y dolomía de la Formación Teposcolula, de edad Albiano-Cenomaniano. La unidad metamórfica está afectada por un intrusivo de composición granito-granodiorita de edad Oligoceno-Mioceno.

Las estructuras de esta área mineralizada, consisten de cuerpos irregulares, lenticulares y vetas, con longitud que en general no rebasa los 100 m, espesores de 1 a 8 m y desniveles variables de 15 a 75 m y rara vez mayores. La mineralogía consta de calcopirita, esfalerita, pirita, arsenopirita, hematita, limonita, cuarzo y calcita. La roca encajonante es ortogneis de hornblenda con grafito, granate y biotita, alteradas por silicificación y oxidación. Con características semejantes a los del área San Francisco.

En el área se reconocieron las manifestaciones minerales San Mateo Piñas I, San Mateo Piñas II, Río Temblor, Chuchupastle, La Violeta, Cerro León,

Los Naranjos, San Miguel, Copalita, y El Perdiz, únicamente El Vergel se clasificó como prospecto.

Manifestación San Mateo Piñas I.- Situada en el sector noreste de la carta en las inmediaciones de San Mateo Piñas, en las coordenadas UTM 14P 784600E y 1770593N, aflora un cuerpo irregular con longitud de 30 m, 9 m de espesor y 12 m de desnivel; la mineralización consta de trazas de esfalerita, calcopirita escasa, pirita, arsenopirita, hematita, limonita, grafito y cuarzo, emplazada en ortogneis, alterado por silicificación y oxidación intensa.

Se colectó una muestra de esquirla para su análisis químico por Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn y Ti. Las leyes obtenidas se presentan en la **Tabla 32**.

No. Definitivo de muestra	Elementos						
	Cu %	Mo %	Au g/t	Ag g/t	Pb %	Zn %	Ti %
SJ-002	0.0146	0.0032	N.D.	N.D.	N.D.	0.0483	0.29

Tabla 32. Resultados de la manifestación San Mateo Piñas I

Manifestación San Mateo Piñas II.- Localizada en la porción noreste de la carta, a 700 m al sur de San Mateo Piñas, en las coordenadas UTM 14P 784800E y 1769959N, aflora un cuerpo irregular con longitud de 20 m, 4 m de ancho y desnivel de 12 m. La mineralización consta de trazas de esfalerita, pirita, arsenopirita, grafito, hematita, limonita calcita y cuarzo, emplazada en ortogneis alterado por silicificación y oxidación moderada.

Se obtuvo una muestra de esquirlas para su análisis químico por el paquete de geoquímica para identificar si se tenían elementos con valores altos, los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 33**.

No. Definitivo de muestra	Elementos						
	Cu %	Mo %	Au g/t	Ag g/t	Pb %	Zn %	Ti %
SJ-044	0.0045	N.D.	0.003	N.D.	N.D.	0.0236	0.95

Tabla 33. Resultados de la manifestación San Mateo Piñas II

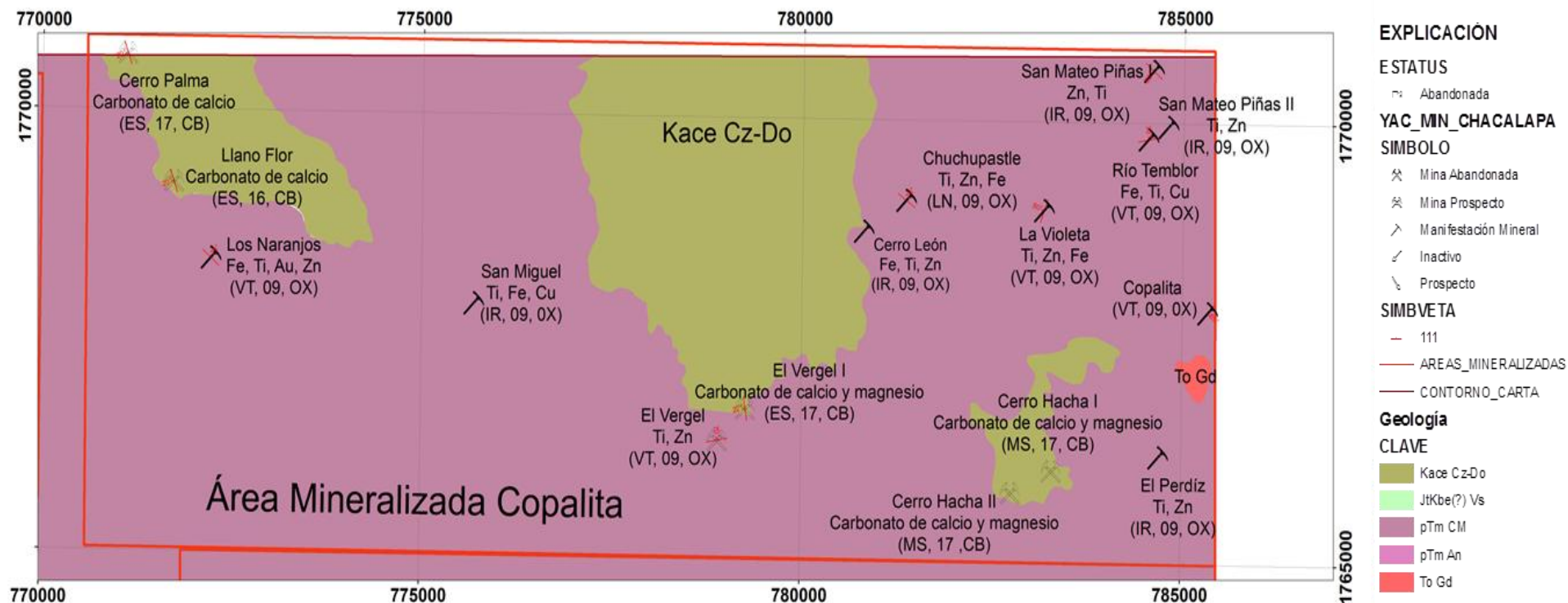


Figura 18. Área mineralizada Copalita

Manifestación Río Temblor.- Ubicada en la parte noreste de la carta, en las inmediaciones de río Temblor, en las coordenadas UTM 14P 784537E y 1769816N; consiste de una veta con longitud de 50 m, espesor de 1.8 m y 25 m de desnivel, con rumbo N 80° E y echado 70° NW; la mineralización consta de trazas de calcopirita, pirita, arsenopirita, hematita, limonita, cuarzo y calcita, la roca encajonante es ortogneis, alterado por silicificación y oxidación.

Se colectó una muestra de esquirlas para su análisis químico por el paquete de geoquímica para valores altos, los resultados se dan en la **Tabla 34**.

No. Definitivo de muestra	Elementos				
	Cu %	Au g/t	Zn %	Fe total %	Ti %
SJ-045	0.0167	0.0020	0.0122	8.98	0.31

Tabla 34. Resultados de la manifestación Río Temblor

Manifestación Chuchupastle.- Situada en el sector noreste de la carta, en las inmediaciones del arroyo Chuchupastle, en las coordenadas UTM 14P 781361E y 1769084N, se identificó un cuerpo irregular con 80 m de longitud, 8 m de espesor y 40 m de desnivel; la mineralización está constituida por trazas de esfalerita, pirita, hematita, limonita, cuarzo y calcita, alojada en ortogneis, alterado por silicificación y oxidación (**Fotografía 40**).



Fotografía 40. Manifestación Chuchupastle hospedada en ortogneis, en las inmediaciones del arroyo del mismo nombre.

Se tomaron dos muestras de esquirla, para su análisis por el paquete de geoquímica para

reconocer la existencia de valores. Las leyes obtenidas se muestran en la **Tabla 35**.

No. Definitivo de muestra	Elementos				
	Cu %	Zn %	Fe %	Mo %	Ti %
SJ-046	0.0097	0.0083	3.17	0.0025	0.31
SJ-047	0.0075	0.0119	3.1	0.0016	0.40
Promedio	0.0086	0.0101	3.1350	0.0020	0.1775

Tabla 35. Resultados de la manifestación Chuchupastle

Manifestación La Violeta.- Se localiza en la porción nororiente de la carta, en las inmediaciones de la comunidad La Violeta, en las coordenadas UTM 14P 783174E y 1768992N, aflora una veta con longitud de 30 m, espesor de 1.2 m y desnivel de 15 m, de rumbo N 20° E, inclinación de 80° al NW. La mineralización consiste de trazas de oro y esfalerita, pirita, arsenopirita, hematita, limonita, cuarzo y calcita, emplazada en ortogneis, alterado por silicificación y oxidación (**Fotografía 41**).



Fotografía 41. Manifestación La Violeta mineralizada con pirita, arsenopirita, calcopirita y grafito, en las inmediaciones de La Violeta.

Se colectaron 13 muestras de esquirla para su análisis químico por 31 elementos (paquete de geoquímica). Las leyes obtenidas se presentan en la **Tabla 36**.

No. Definitivo de muestra	Elementos			
	Au g/t	Zn %	Fe total %	Ti %
SJ-048	0.009	0.0090	4.02	0.32
SJ-049	N.D	0.0148	6.1	0.54
SJ-050	0.009	0.0084	4.1	0.25
SJ-051	0.0150	0.0141	5.6	0.68
SJ-052	0.0050	0.0120	3.18	0.22
SJ-053	N.D.	0.0091	4.07	0.17
SJ-054	0.0050	0.0110	5.4	0.24

SJ-055	0.0040	0.0117	5.66	0.37
SJ-056	N.D.	0.0144	4.64	0.34
SJ-057	N.D.	0.0091	3.67	0.26
SJ-058	0.0060	0.0383	5.32	0.11
SJ-059	0.0030	0.0260	4.25	0.40
SJ-060	0.002	N.D	N.D	N.D
Promedio	0.0044	0.0137	4.3085	0.3

Tabla 36. Resultados de la manifestación La Violeta

Manifestación Cerro León.- Se ubica en la parte noreste de la carta, a 500 m al norte de Cerro León Piñas, en las coordenadas UTM 14P 780808E y 1768726N, aflora un cuerpo irregular de 200 m de longitud estimada, 50 m de espesor y 100 m de profundidad; la mineralización la constituye trazas de calcopirita, pirita, arsenopirita, hematita y limonita y cuarzo, la roca encajonante es ortogneis alterado por silicificación y oxidación.

Se colectaron 5 muestras de esquirlas para su análisis químico por el paquete de geoquímica para valores altos, los resultados se muestran en la **Tabla 37**.

No. Definitivo de muestra	Elementos			
	Cu %	Zn %	Fe total %	Ti %
SJ-061	0.0033	0.0149	5.53	0.11
SJ-062	0.0026	0.0099	3.90	0.20
SJ-063	0.0219	0.0143	9.52	0.07
SJ-064	0.0264	0.0144	9.12	0.04
SJ-065	0.0290	0.0145	11.22	0.03
Promedio	0.0166	0.0136	7.86	0.09

Tabla 37. Resultados de la manifestación Cerro León

Manifestación Los Naranjos.- Se sitúa en el sector norte de la carta, en las inmediaciones de la comunidad Los Naranjos Esquipulas, en las coordenadas UTM 14P 772226E y 1768315N; aflora una veta de 100 m de longitud, 8 m de ancho y 50 m de desnivel, con rumbo N 50° W, y echado de 75° al NE. La mineralogía está constituida por trazas de oro, calcopirita, arsenopirita, pirita, limonita, hematita, cuarzo y calcita; se emplaza en ortogneis, alterado por silicificación y oxidación (**Fotografía 42**).



Fotografía 42. Manifestación Los Naranjos, emplazada en ortogneis, en las inmediaciones de Los Naranjos.

Se colectaron 4 muestras de esquirla para su análisis químico por el paquete de geoquímica para valores altos. Las leyes obtenidas se muestran en la **Tabla 38**.

No. Definitivo de muestra	Elementos				
	Cu %	Au g/t	Zn %	Mn %	Fe %
SJ-030	0.0192	0.0070	0.0098	0.0110	19.64
SJ-031	0.0432	0.0100	0.0200	0.0616	15.60
SJ-032	0.0335	0.0070	0.0145	0.0528	16.33
SJ-033	0.0129	0.0190	0.0516	0.1889	11.86
Promedio	0.0272	0.0108	0.0240	0.0786	15.86

Tabla 38. Resultados de la manifestación Los Naranjos

Manifestación San Miguel.- Se encuentra en la porción noreste de la carta en las inmediaciones del Río San Miguel, en las coordenadas UTM 14P 775686E y 1767844N, aflora un cuerpo irregular, con longitud observada de 150 m, espesor 12 m y 75 m de desnivel; la mineralización consta de trazas de calcopirita, pirita, arsenopirita, hematita, limonita y cuarzo, la roca huésped es un ortogneis bandeado, alterado por silicificación y oxidación.

Se colectaron 4 muestras de esquirla para su análisis químico por el paquete de geoquímica para valores altos. Los resultados obtenidos se presentan en las **Tabla 39**.

No. Definitivo de muestra	Elementos				
	Cu %	Au g/t	Zn %	Fe total %	Ti %
SJ-036	0.0026	N.D.	0.0029	1.86	0.14
SJ-037	0.0053	0.0050	0.0103	10.22	0.27
SJ-038	0.0056	N.D.	0.0043	3.62	0.18
SJ-039	0.0506	0.0090	0.0057	11.46	0.11
Promedio	0.0160	0.0035	0.0058	6.79	0.18

Tabla 39. Resultados de la manifestación San Miguel

Manifestación Copalita.- Se ubica en la parte noreste de la carta, a 3 km al sur de San Mateo Piñas, en las coordenadas UTM 14P 785336E y 1767854N, aflora dique seccionado en partes en una longitud de 40 m, 0.05 m de espesor y 20 m de desnivel, con orientación N 40° E y echado de 85° al SE, la mineralogía consiste de hematita, limonita, trazas de oro, rutilo, pirita y cuarzo, emplazada en ortogneis, alterado por silicificación y oxidación moderada.

Se tomó una muestra en el dique para su análisis por el paquete de geoquímica para corroborar la existencia de valores altos. Las leyes reportadas se dan en la **Tabla 40**.

Los valores obtenidos se consideran de poco interés, geológico-económico.

No. Definitivo de muestra	Elementos				
	Cu %	Au g/t	Zn %	Fe total %	Ti %
SJ-073	0.0023	0.0030	0.0020	1.05	0.03

Tabla 40. Resultados de la manifestación Copalita

Prospecto El Vergel.- Se localiza en la porción noreste de la carta, a 700 m al oeste de El Vergel, en las coordenadas UTM 14P 778905E y 1766336N, aflora veta de rumbo N80°E, echado de 70° al NW, de longitud de 25 m; espesor 8 m y 13 m de desnivel; la mineralogía consiste de trazas de esfalerita, rutilo, hematita; limonita, pirita y cuarzo, emplazada en ortogneis, alterado por oxidación.

Se colectó una muestra de esquirla para su análisis químico por Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn y Ti. Los resultados se presentan en la **Tabla 41**.

No. Definitivo de muestra	Elementos		
	Cu %	Zn %	Ti %
SJ-042	0.0059	0.0325	2.53

Tabla 41. Resultados de la manifestación El Vergel

Manifestación El Perdiz.- Se sitúa en la parte noreste de la carta, a 1.15 km al norte de El Perdiz, en las coordenadas UTM 14P 784702E y

1766212N, aflora un cuerpo de forma irregular de 150 m de longitud, 12 m de espesor y 60 m de desnivel; la mineralogía de mena consiste de rutilo esfalerita, pirita, hematita, limonita y cuarzo, emplazada en ortogneis, alterado por silicificación y oxidación moderada.

Se tomaron dos muestras para su análisis químico por Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn y Ti. Los resultados se muestran en la **Tabla 42**.

No. Definitivo de muestra	Elementos		
	Cu %	Zn %	Ti %
SJ-067	0.0053	0.0061	0.02
SJ-068	0.0027	0.006	0.02
Promedio	0.0040	0.0061	0.02

Tabla 42. Resultados de la manifestación El Perdiz

Manifestación fuera del distrito minero y áreas mineralizadas.

Manifestación Río Culebra.- Se ubica en la porción central de la carta, al noroeste de la rancharía Carnizuelo, en las coordenadas UTM 14P 768209E y 1752890N, aflora cuerpo de forma irregular con 15 m de longitud, 2.3 m de espesor y 4 m de desnivel, mineralizado con trazas de esfalerita, pirita diseminada, hematita y cuarzo, alojada en arenisca, alterada por silicificación moderada.

Se colectaron dos muestras de esquirlas para su análisis por el paquete de geoquímica para valores altos, los resultados obtenidos se presentan en la **Tabla 43**.

Los valores indican poco interés geológico-económico.

No. Definitivo de muestra	Elementos				
	Cu %	Au g/t	Zn %	Fe total %	Al %
SJ-126	0.0030	0.0030	0.0015	2.23	6.82
SJ-127	0.0020	N.D.	0.0016	2.23	6.50
Promedio	0.003	0.003	0.002	2.23	6.66

Tabla 43. Resultados de la manifestación Río Culebra

IV.2. NO METÁLICOS

IV.2.1. Introducción

En el sector noreste de la carta, se localizan los prospectos de minerales no metálicos, representados por caliza y dolomía, y en la porción suroeste de la carta, se tiene un prospecto de roca dimensionable de granito-granodiorita.

IV.2.2. Antecedentes

Se desconoce si con anterioridad se utilizó caliza en la región, para la obtención de cal viva ya que no se localizaron hornos rústicos para su proceso en ninguna localidad.

IV.2.3. Minas en explotación

No se tienen noticias de minas en explotación de minerales no metálicos en la región.

IV.2.4. Infraestructura Minera

Dentro del área estudiada, no se cuenta con plantas de beneficio de minerales no metálicos, sin embargo se cuenta con carreteras pavimentadas, caminos de terracería, así como servicios de energía eléctrica, teléfono, escuelas de nivel preescolar, primaria, secundaria y preparatoria, centros de salud, en los poblados grandes.

IV.2.5. Prospectos de Carbonato de Calcio

Se localizaron 5 prospectos de carbonato de calcio, agrupados en la zona Copalita.

IV.2.5.1. Zona Copalita

Se localiza en la porción norte y nororiental de la carta, en esta zona, se localizaron 5 prospectos de caliza: Cerro Palma, Llano Flor, El Vergel I, Cerro Hacha I y Cerro Hacha II para obtener materia prima para la elaboración de cal hidratada y/o cemento, y otros posibles usos.

Los prospectos de caliza, forman parte de la Formación Teposcolula, que consta de caliza de color gris azul que intemperiza a tono gris claro y castaño, con textura cristalina y estructura en capas que varían de laminares a masivas muy fracturada.

Prospecto Cerro Palma.- Se ubica en el sector norte de la carta, a 1.5 km al noreste de Loma Canela, en las coordenadas UTM 14P 771109E y 1770625N. Se tomó una muestra de esquirlas, para su análisis químico por el paquete de carbonatos con la finalidad de conocer el contenido de carbonato de calcio, los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 44**.

Por su alto contenido de sílice se descarta su uso en elaboración de cal o cemento, posible uso en la industria de pintura.

No. Definitivo de muestra	Elementos								
	Al ₂ O ₃ %	Fe total %	P ₂ O ₅ %	SiO ₂ %	PX C %	Ca O %	Fe ₂ O ₃ %	K ₂ O %	Mg O %
SJ-001	0.5	0.19	0.03	9.26	39.18	48.12	0.28	0.04	0.59

Tabla 44. Resultados del prospecto Cerro Palma

Prospecto Llano Flor.- Se sitúa en la porción norte de la carta, en las inmediaciones de Llano Flor, en las coordenadas UTM 14P 771730E y 1769179N. Se colectó una muestra de esquirlas, para su análisis químico por el paquete de carbonatos, los resultados obtenidos se anotan en la **Tabla 45**.

Tiene un alto porcentaje de sílice para poder usar en la elaboración de cal, posible uso en otras industrias.

No. Definitivo de muestra	Elementos								
	Al ₂ O ₃ %	Fe total %	P ₂ O ₅ %	SiO ₂ %	PX C %	Ca O %	Fe ₂ O ₃ %	K ₂ O %	Mg O %
SJ-029	0.54	0.11	N.D.	1.44	43.39	47.14	0.15	0.03	5.87

Tabla 45. Resultados del prospecto Llano Flor

Prospecto El Vergel-I.- Se localiza en parte noreste de la carta, a 500 m al sur de Copalita de Cerro León, en las coordenadas UTM 14P 779267E y 1766696N, se colectaron 2 muestras de esquirlas, para su análisis químico por el paquete de carbonatos, los resultados obtenidos se presentan en la **Tabla 46**.

Los valores de los óxidos de calcio y magnesio son buenos para su aplicación en las industrias de la agricultura, siderúrgica y del vidrio, se requieren ver especificaciones de industrias para determinar su mejor aplicación.

No. Definitivo de muestra	Elementos								
	Al ₂ O ₃ %	Fe total %	P ₂ O ₅ %	SiO ₂ %	PX C %	Ca O %	Fe ₂ O ₃ %	K ₂ O %	Mg O %
SJ-040	0.47	0.10	N.D.	2.05	44.36	37.53	0.14	0.08	14.09
SJ-041	0.81	0.13	0.02	2.61	42.73	47.02	0.19	0.14	5.33
Promedio	0.64	0.12	0.02	2.33	43.55	42.28	0.17	0.11	9.71

Tabla 46. Resultados del prospecto El Vergel

Prospecto Cerro Hacha I.- Ubicado en el sector noreste de la carta, a 1.7 Km al sureste de Cerro Hacha, en las coordenadas UTM 14P 783296E y 1766040N, en este punto se colectaron dos muestras de esquirlas, para su análisis químico por el paquete de carbonatos. La finalidad en este y los otros estudios en los prospectos de carbonatos, descritos en este apartado, es conocer sus contenidos, para su aplicación en las diversas industrias que usan los carbonatos u óxidos de calcio y magnesio.

Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 47**.

No. Definitivo de muestra	Elementos									
	Al ₂ O ₃ %	Fe total %	P ₂ O ₅ %	SiO ₂ %	PX C %	Ca O %	Fe ₂ O ₃ %	K ₂ O %	Mg O %	Fe O %
SJ-069	0.49	0.33	N.D.	1.14	45.93	32.45	0.34	0.07	18.04	0.12
SJ-070	0.32	0.18	N.D.	0.66	46.41	32.53	0.26	0.03	19.09	N.D.
Promedio	0.41	0.26	N.D.	0.90	46.17	32.49	0.30	0.05	18.57	0.12

Tabla 47. Resultados del prospecto Cerro Hacha I

Prospecto Cerro Hacha II.- Localizado en la porción noreste de la carta, a 2 km al sur de Cerro Hacha, en las coordenadas UTM 14P 782761E y 1765786N, se colectaron 2 muestras de esquirlas, para su análisis químico por el paquete de carbonatos, los resultados arrojados se dan en la **Tabla 48**.

No. Definitivo de muestra	Elementos								
	Al2O3 %	Fe total %	P2O5 %	SiO2 %	PXC %	CaO %	Fe2O3 %	K2O %	MgO %
SJ-071	0.53	0.19	0.02	1.41	44.78	38.25	0.28	0.06	13.53
SJ-072	0.43	0.15	0.02	1.25	43.94	44.12	0.21	0.04	8.56
Promedio	0.48	0.17	0.02	1.33	44.36	41.19	0.245	0.05	11.045

Tabla 48. Resultados del prospecto Cerro Hacha II

Tabla 48. Resultados del prospecto Cerro Hacha II

IV.2.6. Prospectos de Roca Dimensionable

El prospecto forma parte del Tronco Pochutla que consiste de granodiorita de color gris oscuro, intemperiza a tono gris claro y amarillento, con textura fanerítica y estructura masiva, compuesto por feldespato, plagioclasa, cuarzo, hornblenda y biotita con intemperismo esferoidal.

Prospecto Piedras Negras.- Se ubica en el sector suroccidental de la carta, a 1.2 km al suroriente de la comunidad Piedras Negras, en las coordenadas UTM 14P 759076E y 1751215N, se tiene granodiorita, con un volumen importante, con afloramientos ampliamente expuestos. Se colectó una muestra para estudio de pruebas físicas que incluyen: determinación de densidad, absorción de agua y resistencia a la compresión, estos parámetros se reportan en la **Tabla 49** y **Fotografía 43** y se comparan con las normas consultadas por el laboratorio **ASTM-C-503-03** que contiene especificaciones en relación con el uso de los materiales para acabados arquitectónicos y la **ASTM-C-568-03** con especificaciones para la industria de la construcción y propósitos estructurales. Estos parámetros se muestran en la **Tabla 50**.

No. Definitivo de muestra	Unidad litológica	Absorción de agua promedio (%)	Densidad promedio (Kg/m ³)	Resistencia a la compresión promedio (Kg/cm ²)
SJ-125	Tom Gr-Gd	0.3	2686	1822

Tabla 49. Resultados de la prueba física

PARÁMETRO	NORMA ASTM-C-503-03	NORMA ASTM-C-568-03
Absorción máxima de agua (%)	0.2	3
Densidad mínima (Kg/cm ³)	2595	2560
Resistencia a la compresión mínima (Kg/cm ²)	530	561

Tabla 50. Especificaciones de las Normas ASTM consultadas

Haciendo referencia a las especificaciones de la norma **ASTM-C-503-03** la muestra **estudiada** cumple con la densidad y la resistencia a la compresión, el segundo, se considera el parámetro más importante en la industria de la construcción.

En cuanto a la norma **ASTM-C-568-03**, cumple con los requisitos establecidos en ella.



Fotografía 43. Imagen que muestra el corte pulido de la granodiorita.

IV.2.7. Bancos de materiales y Agregados Pétreos

Durante los trabajos de cartografía se localizaron 8 bancos de material dispersos en la carta y son: Barrio Nuevo, La Montaña II, Santa Fe, San José, Los Horcones, Taranguntín, El Caulote y San Miguel.

El material que se explota en ellos, proviene principalmente de rocas del Complejo Oaxaqueño, metaarenisca y metacaliza de la Secuencia Piedras Negras y granodiorita-granodiorita del Tronco de Pochutla.

IV.2.7.1. Inactivos

Barrio Nuevo.- Se sitúa en el sector centro de la carta, a 500 m al suroeste de Barrio Nuevo, en las coordenadas UTM 14P 771487E y 1755387N, consta de un tajo de 40 m de longitud, 15 de ancho y 15 m de desnivel, desarrollado en granodiorita milonitizada; la arena y grava que se extrae de manera intermitente, es utilizada en el revestimiento de terracerías de la región (**Fotografía 44**).



Fotografía 44. Banco Barrio Nuevo labrado en granodiorita milonitizada, al sur de Barrio Nuevo.

La Montaña - Se localiza en el cuadrante oriental de la carta, a 3.8 km al sureste de Pluma Hidalgo, en las coordenadas UTM 14P 776755E y 1758796N, consiste de una obra con longitud de 40 m, un ancho de 30 m y un desnivel de 25 m, labrado sobre cuerpo de anortosita blanca. A 150 m al norte se ubica otra localidad con características similares; la arena y grava que se extrae de manera intermitente, abastece las necesidades de material de revestimiento en el mantenimiento y construcción de vías terrestres del área (**Fotografía 45**).



Fotografía 45. Banco La Montaña, labrado en anortosita, al sureste de Pluma Hidalgo.

Santa Fe I.- Se ubica en la parte oriental de la carta, a 5 km al sureste de Pluma Hidalgo, en las coordenadas UTM 14P 777891E y 1758102N, se tiene un tajo de 50 m de longitud, 40 m de ancho y desnivel de 20 m, desarrollado en anortosita, el

material obtenido es arena y grava, es utilizado para revestimiento de caminos de terracería de la zona.

San José.- Se encuentra en el sector surponiente de la carta, en la comunidad Piedras Negras, en las coordenadas UTM 14P 758353E y 1751882N, se presenta una obra con longitud de 30 m, 20 m de ancho y 3 m de desnivel, labrado en granodiorita; la arena y grava obtenidas, se utilizan en la construcción de casa-habitación de la región (**Fotografía 46**).



Fotografía 46. Banco San José, labrado en granodiorita alterada, en las inmediaciones de San José Piedras Negras.

Los Horcones.- Localizado en la parte poniente de la carta, en la comunidad Los Horcones, en las coordenadas UTM 14P 759522E y 1752283N, consiste de un tajo de 70 m de longitud, 25 m de ancho y 6 m de desnivel, desarrollado en granodiorita milonitizada, se extrae de manera intermitente grava y arena, utilizadas en el revestimiento de caminos de terracería de la región (**Fotografía 47**).



Fotografía 47. Banco Los Horcones, labrado en granodiorita milonitizada, en las inmediaciones de Los Horcones.

Taranguntín.- Situado en la porción suroccidental de la carta, en las inmediaciones de la comunidad Taranguntín, en las coordenadas UTM 14P 759329E y 1749365N, consta de una obra de 20 m de longitud, 10 m de ancho y 5 m de altura, labrado en metaarenisca y esquisto, se explota de manera temporal para obtener grava y arena que se utiliza en el revestimiento de caminos de terracería de la región.

El Caulote.- Ubicado en el sector surponiente de la carta, a 1 km al noroccidente de la comunidad El Caulote, en las coordenadas UTM 14P 761055E y 1749637N, consiste de un tajo de 20 m de longitud, 10 m de ancho y 3 m de desnivel, desarrollado en granito-granodiorita, se extrae de manera intermitente grava y arena, utilizadas en el mantenimiento de caminos de terracería de la zona (**Fotografía 48**).



Fotografía 48. Banco El Caulote, desarrollado en granito-granodiorita, a 1 km al noroccidente del rancho del mismo nombre.

San Miguel.- Se encuentra en la porción sureste de la carta, a 700 m al este de San Miguel Figueroa, en las coordenadas UTM 14P 778969E y 1747523N, se tiene una obra de 80 m de longitud, 30 m de ancho y 10 m de desnivel, labrado en metaarenisca, metacaliza y esquisto, se extrae arena y grava intermitentemente, utilizadas en la construcción de casas-habitación local, así como en el revestimiento de caminos de terracería en la región (**Fotografía 49**).



Fotografía 49. Banco San Miguel, labrado en la Secuencia volcanosedimentaria Piedras Negras, al oriente de San Miguel.

V. MODELO DE YACIMIENTOS

En la carta, se tienen dos tipos de yacimientos minerales de segregación magmática y oro orogénico, el primer tipo presenta mineralización de rutilo e ilmenita, y se encuentra en las minas y manifestaciones del distrito minero de Pluma Hidalgo. Del segundo tipo se tienen muchas manifestaciones que presentan asociaciones mineralógicas semejantes a las de los yacimientos tipo oro orogénico.

Las minas y manifestaciones de mineral del distrito minero de Pluma Hidalgo, se emplazan en anortosita y ortogneis del Complejo Oaxaqueño de edad Precámbrico, presentan mineralización diseminada y en vetas, principalmente de rutilo e ilmenita, con alteraciones como silicificación y oxidación, por lo que esos yacimientos se pueden clasificar como de segregación magmática, considerando que son el producto de la cristalización directa del magma.

Generalmente se forman como cuerpos intrusivos de asentamiento profundo y en forma de sill. Las menas generalmente son de cromita, ilmenita, rutilo, apatito y platino. Diversos autores indican que estas menas son diferenciadas de un magma de anortosita-gabro; se cree que las menas se formaron de segregaciones residuales de líquido magnetita-ilmenita, que fue en parte atrapado en los intersticios de los cristales y en parte en la roca todavía plástica, debido a la rareza de este yacimiento de rutilo, no fue posible ubicar un modelo de yacimiento.

Con relación a yacimientos de tipo oro orogénico,

en las manifestaciones ubicadas, se observaron ciertas características que indican, que la mineralización observada en la carta, se relaciona con este tipo de yacimientos.

Para establecer el modelo de yacimiento tipo oro orogénico, se hará referencia de varios autores que han estudiado este tipo de yacimientos.

Los depósitos de oro denominados como “oro mesotermal”, de tipo mother lode o del Arqueano, son prácticamente subtipos de un tipo de depósitos de oro epigenéticos, constituidos por sistemas de vetas controladas estructuralmente, con la particularidad de encontrarse estrechamente asociados a terrenos metamórficos deformados, con edades que representan prácticamente toda la escala de tiempo geológico (Bohlke J. K., 1982; Colvine A. C. *et al.*, 1984; Berger B. R., 1986; Groves D. I. *et al.*, 1991; Nesbitt B. E., 1991; Hodgson C. J., 1993; Kerrich R., 1993; Robert F., 1996, (en Goldfarb R. J. *et al.*, 2005); Groves D. I. *et al.*, 1998). Estos depósitos se encuentran asociados a cinturones metamórficos con facies de esquistos verdes del Arqueano (*greenstone belts*). La formación de los depósitos de oro relacionados con cinturones metamórficos ha sido episódica a lo largo de la historia geológica, principalmente antecediendo al Neoproterozoico, con eventos importantes entre 2,800 y 2,550 Ma, y entre 2,100 y 1,800 Ma (Goldfarb R. J. *et al.*, 2001). No obstante, en algunos depósitos, el metamorfismo puede presentar variaciones a mayor o menor grado dentro del mismo cinturón metamórfico (McCuaig T.

C. *et al.*, 1998; Hagemann S. G. *et al.*, 1994, (en Ochoa L. L. *et al.*, 2011)).

El marco tectónico en que se forman estos depósitos de oro, es el de márgenes continentales activos, ya sea en orogenias del tipo acrecional o colisional, en un régimen compresivo a transpresivo. La mineralización de oro se encuentra característicamente en las rocas metamórficas localizadas al frente del arco continental, comúnmente mostrando un fuerte control estructural en estructuras de segundo y tercer orden (**Figura 19**). Generalmente, estas estructuras son compresionales, de gran escala y, por lo general, transcorticales, por lo que pueden ser de naturaleza dúctil o frágil. Las estructuras pueden presentar diferentes variaciones, como: (1) fallas de naturaleza frágil hasta zonas de cizalla (dúctiles), de alto a bajo ángulo, de movimiento inverso a desplazamiento lateral u oblicuo; (2) sistemas de fracturas, zonas de stockwork o brechas en rocas competentes; (3) zonas de foliación o a lo largo de ejes de pliegues en secuencias de turbiditas (Ochoa L. L. *et al.*, 2011).

La naturaleza de los fluidos involucrados en el depósito de la mineralización de oro se caracteriza por tener un pH casi neutro, con baja salinidad, y por contener compuestos de $H_2O-CO_2 \pm CH_4$, los cuales transportaron el oro como un complejo de azufre reducido (Ochoa L. L. *et al.*, 2011).

Los depósitos mesotermales de oro, están caracterizados por sistemas de vetas en las que predomina el cuarzo, generalmente con pocos sulfuros ($\leq 3-5\%$), por lo regular pirita y arsenopirita, con carbonatos ($\leq 5-15\%$), a menudo ferríferos. Los minerales de ganga en vetas relacionadas con rocas de facies de esquistos verdes son: albita, muscovita o fuchcita (mica rica en Cr), clorita, scheelita y turmalina (Ochoa L. L. *et al.*, 2011).

La arsenopirita es el sulfuro dominante en rocas metasedimentarias, mientras que la pirita y pirrotita son más comunes en rocas metamórficas de origen ígneo, como en el caso de las manifestaciones de mineral ubicadas en la carta. Por otro lado, pueden exhibir variable enriquecimiento en As, B, Bi, Hg, Sb, Te y W; Cu, Pb y Zn están presentes en concentraciones ligeramente arriba del “background” (Groves D. I. *et al.*, 1998).

Este tipo de depósitos generalmente exhiben una fuerte zonación lateral que incluye carbonatos (ankerita, dolomita o calcita), sulfuros del tipo pirita, pirrotita y arsenopirita; metasomatismo potásico y albitización y minerales máficos altamente cloritizados. Los fluidos de mena, generalmente son de salinidad baja, con pH's cerca de lo neutral y contenidos importantes de $H_2O-CO_2 \pm CH_4$ y elevado contenido de CO_2 .

La génesis de los depósitos mesotermales ha sido controversial comparado con cualquier otro tipo de depósito de oro. Su origen ha sido atribuido a: 1) Fluidos separados a partir de metamorfismo progrado producto de reacciones de deshidratación en las aureolas de grandes batolitos; 2) a partir de procesos de granulitización en la parte inferior de la corteza, en los últimos estados de craneotización de los cinturones móviles; 3) por cristalización fraccionada de magmas félsicos, emplazados dentro de la corteza superior; 4) por circulación profunda de aguas meteóricas a través de sistemas de fracturas.

De acuerdo a las características generales mencionadas y al contexto tectónico en el que se forman estos depósitos de oro, y considerando que a lo largo de las últimas décadas han sido utilizados diferentes términos en la literatura para denominar a estos depósitos, Groves D. I. *et al.* (1998) propusieron la expresión “depósitos orogénicos” de oro. Retomando los prefijos originalmente utilizados por Lindgren W. (1933) (en Ochoa L. L. *et al.*, 2011), y siguiendo posteriormente lo sugerido por Hagemann S. G. *et al.* (1994) y Ridley J. *et al.* (1996) (en Ochoa L. L. *et al.*, 2011), las subdivisiones recomendadas para estos depósitos son: (1) depósitos epizonales, con profundidades de formación desde la superficie hasta los 6 km, temperaturas entre 150 y 300°C; (2) depósitos mesozonales, se forman entre 6 y 12 km, con temperaturas de 300 a 475°C; y (3) depósitos hipozonales, se forman a profundidades mayores a los 12 km, temperatura arriba de los 475°C (Ochoa L. L. *et al.*, 2011) (**Figura 19**).

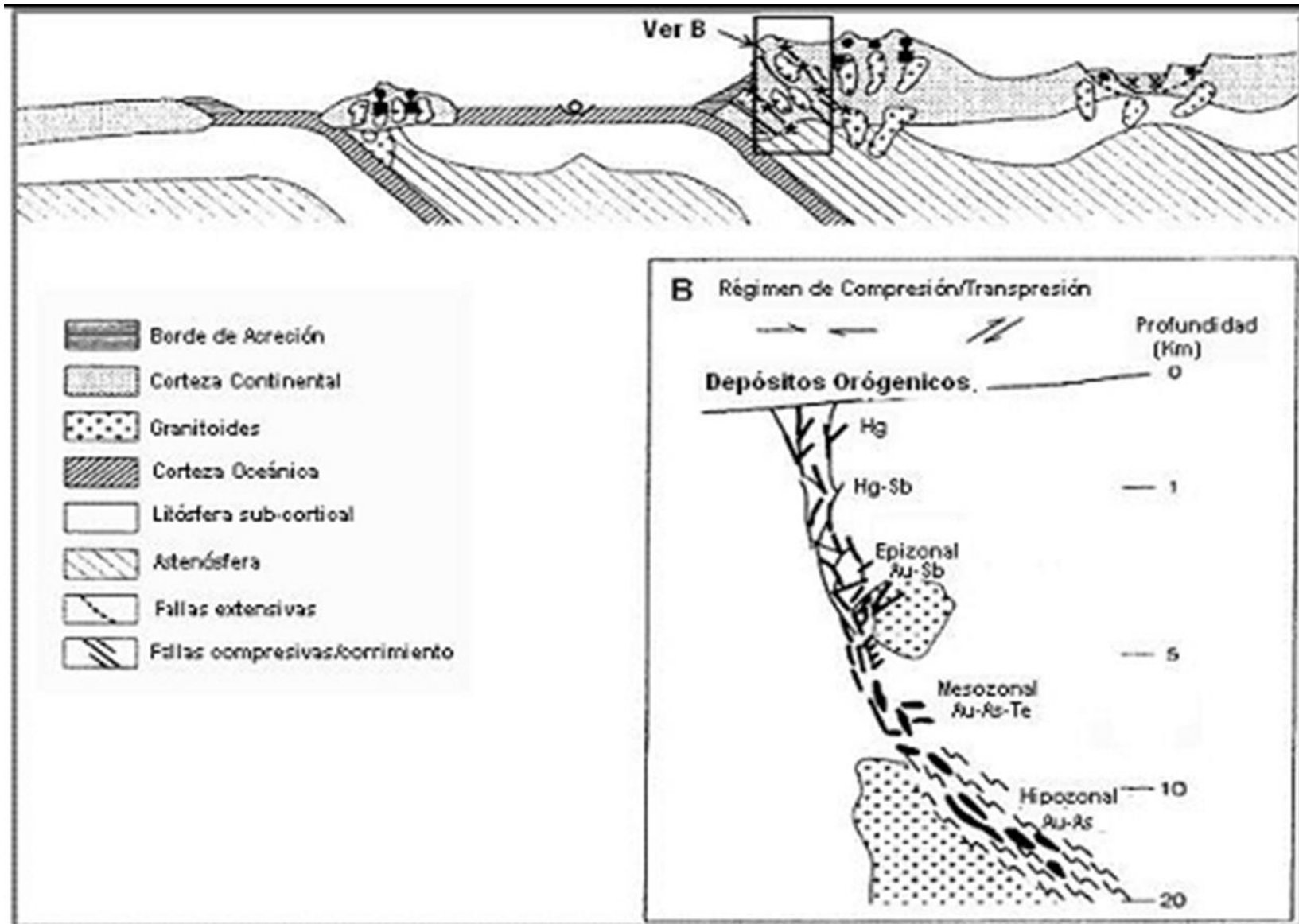


Figura 19. Modelo de yacimientos minerales

Ambiente tectónico.- Se desarrolla en un ambiente de arco magmático continental. En donde el Complejo Oaxaqueño tuvo una evolución tectónica muy activa, se localizaba en un margen activo de Amazonía (1300-900 Ma), la que colisionó con la parte oriental de Laurasia (1200-1000 Ma) (Tohver E. *et al.*, 2002, 2004; Elming S. A. *et al.*, 2009 (en Duncan K. J. *et al.*, 2010). Fue sepultada a una profundidad de 25 a 30 km como producto de la colisión y cabalgamiento del arco Avalonia (Dewey J. F. *et al.*, 1973, (en Ortega G. F., 1981)) y posiblemente también acompañado por la colisión de Amazonía-Báltica (1000-980 Ma). Estas colisiones dieron origen a Rodinia (ver Figura 11). La exhumación del Complejo Oaxaqueño sucede en los (750 y/o 545 Ma) indicando el enfriamiento lento y el rompimiento de Rodinia (Cawood P. A. *et al.*, 2001, (en Duncan K. J. *et al.*, 2010)).

En el Cretácico inferior-superior, los terrenos Maya, Juárez, Oaxaca y Mixteco; constituyen un terreno superpuesto (Abad T., 1975; Sosa M., 1984 (en Ramírez E. J., 1984)). A finales del Cretácico superior y principios de Terciario, actúa el evento tectónico conocido como orogenia Laramide, que da origen a una fase compresiva, generando fallas normales y laterales en rocas precámbricas y mesozoicas de la región.

Con respecto al terreno Xolapa, se ha interpretado como un arco continental alóctono del Jurásico-Cretácico (Campa U. M. F. *et al.*, 1983; Ortega G. F. *et al.*, 1995; Dickinson W. R. *et al.*, 2001, (en Solari L. A. *et al.*, 2007); Corona C. P. *et al.*, 2006), que fue colisionado por el bloque de Chortis (~133 Ma, edad de migmatización (Brueckner H. K. *et al.*, 2005; Martens U. *et al.*, 2007, (en Pérez G. R. *et al.*, 2009)) y posteriormente acrecionado al sur de México (~110 Ma) (Ortega G. F. *et al.*, 2007). La colisión dio origen a las fallas Chacalapa (29 y 23 Ma) y Juchatengo con desplazamiento lateral izquierdo asociadas a zonas de cizalla expuestas en rocas de la corteza media-inferior (Corona C. P. *et al.*, 2006; Tolson J. G., 1998, 2005). Durante el Oligoceno-Mioceno se desarrolló un arco magmático continental en un ambiente transtensional de la cizalla Chacalapa que dio lugar

emplazamiento de granito y granodiorita del Tronco Pochutla.

Ambiente de depósito/ambiente geológico.- La mineralización se desarrolló en un ambiente metamórfico, en donde las fallas, fisuras y fracturas, desarrollados en el ortogneis del Complejo Oaxaqueño, fueron los lugares favorables para el emplazamiento de fluidos mineralizantes.

Edad de la mineralización.- Durante el Oligoceno-Mioceno se desarrolló un arco magmático continental en un ambiente transtensional asociado a la cizalla Chacalapa de desplazamiento lateral izquierdo que dio lugar a la formación de rocas intrusivas de composición granito-granodiorita del Tronco Pochutla, evento al que se pudiera relacionar la mineralización de oro orogénico de la región.

Roca encajonante y rocas asociadas.- En general la roca encajonante es ortogneis, con diques de pegmatita de edad Proterozoico medio, a las que se asocian granito y granodiorita del Tronco de Pochutla.

Forma de los depósitos.- Las estructuras presentes son principalmente vetas, cuerpos lenticulares e irregulares, con rumbo general N 45°-60° W, echados de 50° a 80° al SW y al NE, con longitudes de 10 a 100 m y espesor de 1.20 a 40 m.

Mineralogía de la mena.- La mineralización de las estructuras en el área estudiada, consiste de trazas de esfalerita, calcopirita, rutilo y valores bajos de oro, como en las manifestaciones Cerro Perico, Los Naranjos y La Violeta entre otros.

Mineralogía de ganga.- Los minerales de ganga consisten de pirrotita, marcasita, pirita, hematita, limonita y cuarzo.

Alteraciones.- Las alteraciones presentes consisten en silicificación y oxidación, las que se restringen únicamente a las estructuras, no se observan halos de alteración, una característica de los yacimientos tipo oro orogénico.

VI. GEOQUÍMICA

VI.1. INTRODUCCIÓN

Como parte del programa de cartografía geológica-minera, se lleva a cabo un muestreo de sedimentos activos de arroyo. Se toma en cuenta la densidad del drenaje de la región y se configuran pétalos de captación.

La densidad de muestreo para esta carta es de una muestra por cada 5.40 km².

VI.2. CONDICIONES AMBIENTALES

VI.2.1. Clima y vegetación

Existen dos tipos de clima en la carta: de la parte central hacia el sur predomina el clima semicálido A(A) W2 (W) con una temperatura media anual de 20.9°C, en el mes de enero se registra la menor temperatura, 19.1°C. El segundo clima se encuentra principalmente del centro de la carta hacia el norte y corresponde a un clima templado C (W2) (w) con temperatura media anual de 14.1°C registrándose la más baja en enero con 13.3°C.

El periodo de lluvias se presenta en agosto. La precipitación media anual es de 2026 mm, en el mes de enero se registra el periodo con mayor sequía con 12 mm de precipitación.

La vegetación que predomina es de dos tipos:

El primero presenta pastizal, matorral subtropical, chaparral y selva baja.

El segundo consta de bosques de pino, encino, mixtos y pastizales.

VI.2.2. Hidrografía

La carta está comprendida dentro de la región hidrológica Río Copalita, la cual está constituida por cuatro subcuencas:

Subcuenca hidrológica Tonameca.- Cubre aproximadamente el 60% de la superficie total de la carta, el drenaje que presenta es de tipo sub-dendrítico con variaciones a subparalelo, este último asociado con rocas del Tronco Pochutla, y de la Secuencia Piedras Negras.

Subcuenca hidrológica Río Copalita.- Ocupa alrededor del 20% del área estudiada, tiene drenaje

sub-dendrítico a sub-paralelo, localizados en las partes noroeste y noreste en rocas del Complejo Oaxaqueño, anortosita, caliza y dolomía. Los arroyos tributarios son: San Miguel, Macahuite y Sapo.

Subcuenca hidrológica Río Cozoaltepec.- Ocupa alrededor del 10% de la superficie de la carta, con drenaje sub-dendrítico, asociado a rocas como anortosita, de la secuencia Piedras Negras y del Tronco de Pochutla.

Subcuenca San Pedro Pochutla.- Ocupa alrededor del 10% del área estudiada, presenta drenaje tipo trellis, asociado a granodiorita del Tronco de Pochutla. Sus afluentes son los arroyos Aguacate y Figueroa.

VI.3. PARÁMETROS GEOQUÍMICOS

VI.3.1. Muestreo

Para programar el muestreo geoquímico, se utilizó la carta topográfica San José Chacalapa, clave D14-B18, a escala 1:50,000 de INEGI en la cual se digitalizaron los pétalos de captación. Se consideró la información geológico-minera existente del área, con la finalidad de ubicar los puntos del muestreo que por sus características definan la concentración de iones metálicos en el sedimento de los arroyos de un área específica.

Con la ubicación de las muestras, se inició la colecta del sedimento en los cauces de los arroyos, seleccionando el sedimento activo formado por partículas finas del tamaño de los limos y arcillas, recolectándose con un cucharón de plástico tratando de eliminar todo vestigio de materia orgánica.

En el campo la ubicación de las muestras se realizó con un posicionador (GPS, Garmin), señalando la nomenclatura y número de muestra en un pintarrón, se tomó una fotografía de la localidad muestreada; la muestra colectada se tamizó a -80 mallas, y se embolsó en bolsas de papel kraft, asimismo se llenó ficha de control correspondiente.

El total de muestras colectadas fue de 186 unidades, distribuidas en una superficie de 994 km², lo cual arroja una densidad de una muestra por cada 5.40 km². (*Figura 20*)

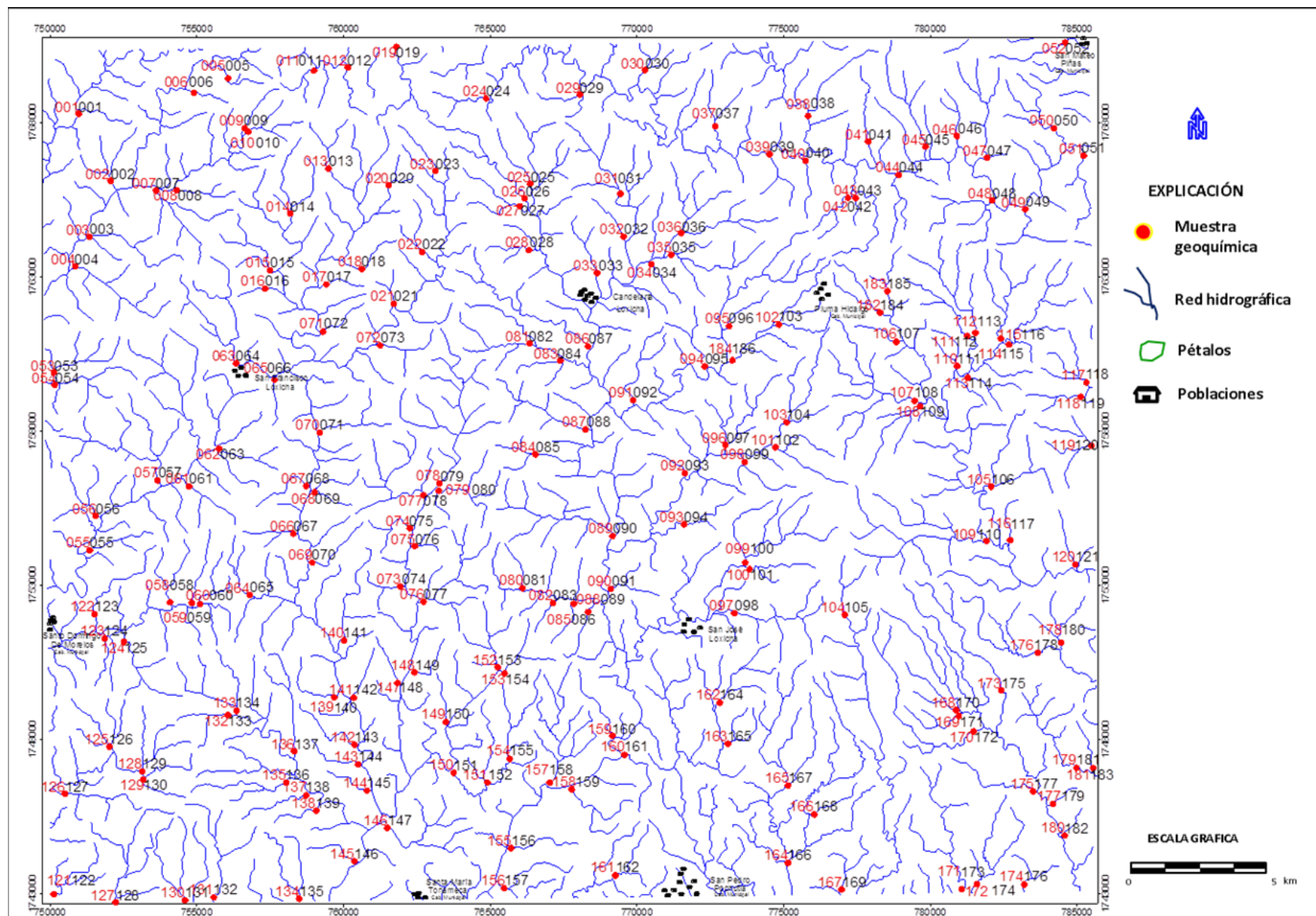


Figura 20.- Mapa de muestreo geoquímico definitivo.

VI.3.2. Análisis

Las muestras se analizaron en el Centro Experimental de Oaxaca, el cual es parte del organismo, mediante el método de emisión de plasma (ICP), consiste en digerir la muestra sólida en horno de microondas, para pasar a solución acuosa a través de una disolución parcial mediante agua regia; una vez que las muestras están en solución, se filtran y se leen en el ICP en forma directa los elementos: Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Sc, Sn, Se, Sr, Te, Ti, U, W y Zn.

El Au se analiza mediante el método combinado ensaye-copelación-lectura en absorción atómica, el cual permite bajar los límites de detección hasta 1 ppb.

VI.4. INTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA

VI.4.1. Estudio de orientación

Como en la superficie de la carta, no se cuenta con yacimientos minerales de interés económico. En el presente trabajo, no se realizó el estudio de orientación geoquímica.

VI.4.2. Componentes principales

Para simplificar el análisis de los elementos químicos, se elaboró el estudio de componentes principales, mostrando en la **Tabla 51** los agrupamientos obtenidos en cada uno de los factores.

ELEMENTO	FAC. 1	ELEMENTO	FAC. 2	ELEMENTO	FACT. 3
P	.913	K	.860	Ti	.835
Co	.846	Ba	.828	Be	.254
Cr	.811	Al	.758	Ni	.192
Ca	.795	Mn	.749	Mn	.114
Cu	.726	Sc	.720	Cr	.088
Mg	.705	Be	.682	Cu	.072
Sr	.686	Mg	.635	P	.046
Ni	.654	Fe	.570	Fe	.046
Fe	.615	Cu	.549	Ca	.044
Sc	.544	Na	.494	Sc	.041
Mn	.473	Zn	.401	Mg	-.002
Al	.426	Co	.316	Na	-.015
Ti	.267	Cr	.309	Al	-.041

Na	.243	Ti	.256	Co	-.067
Zn	.203	Ni	.236	Sr	-.087
Ba	.185	Ca	.189	K	-.125
Be	.154	Sr	.079	Ba	-.166
K	-.094	P	.048	Zn	-.801

Tabla 51. Matriz de componentes de la población principales.

En la **Tabla 51** se muestran en color rojo los elementos que tienen un valor de correlación mayor o igual a 0.5, que indica una asociación importante entre ellos.

Los factores 1 y 2 muestran al elemento cobre, que es considerado calcófilo (elementos que tienen tendencia a combinarse con el azufre más no con el oxígeno) formando sulfuros en la naturaleza pueden encontrarse en estado nativo pero restringidos a ambientes carentes de azufre, (Goldschmidt V., 1923, **Tabla 52**) y por ello es factible que exista mineralización de sulfuros compuestos por estos elementos (calcopirita y pirita, etc.) en la carta.

SIDEROFILOS	CALCOFILOS	LITOFILOS	ATMOFILOS
Fe Co Ni	Cu Ag (Au)	Li Na K Rb Cs	H N (C) (O)
Ru Rh Pd	Zn Cd Hg	Be Mg Ca Sr Ba	(F) (Cl) (Br) (I)
Re Rh Pd	Ga In Tl	B Al Sc Y	GASES INERTES
Mo Ge Sn C P	(Ge) (Sn) Pb	ELEMENTOS TIERRAS RARAS	
(Pb) (As) (W)	As Sb Bi	(C) Si Ti Zr Hf Th	
	S Se Te	(P) V Nb Ta	
	(Fe) (Mo) (Re)	O Cr W U	
		(Fe) Mn	
		F Cl Br I	
		(H) (Tl) (Ga) (N)	

Siderofilo = Afinidad para el hierro metálico
 Calcófilo = Afinidad para el azufre formando sulfuros
 Litófilo = Afinidad para formar silicatos
 Atmofilo = Afinidad a la atmósfera

Tabla 52. Clasificación de elementos (Goldschmidt V, 1923).

En el factor 1 y 2 presenta agrupamiento de elementos litófilos (son aquellos con fuerte afinidad con el oxígeno) y es raro encontrarlos en estado nativo ya que el oxígeno abunda en la naturaleza. Generalmente se encuentran en forma de silicatos (Goldschmidt V., 1923), son propios de las rocas expuestas en el área de estudio.

Una vez determinados los elementos indicadores de la mineralización se definieron los parámetros estadísticos de cada uno de ellos, tomando en consideración la población total de muestreo, lo que permitirá hacer distribuciones de cada uno de ellos en relación al valor de fondo (background), umbral (threshold) y valor anómalo (**Tabla 53**).

Elemento	Background	Threshold	Anomalía
Cu	0-18.46	18.46-29.852	>29.852
Ca	0-.81	.81-1.781	>1.781
Co	0-11.19	11.19-16.301	>16.301
Ba	0-109.52	09.52-164.456	>164.456
Be	0-.31	.31-.554	>.554
Ti	0-79.91	79.31-136.652	>136.65

Tabla 53. Parámetros estadísticos.

Es importante mencionar que aun cuando el Au no se encuentra asociado con otro elemento en la matriz de componentes, es necesario considerarlo en la interpretación de elementos metálicos ya que existe mineralización de este tipo en la carta.

VI.4.3. Interpretación de los elementos metálicos

La interpretación de los elementos con interés minero, se realizó tomando en consideración dos conceptos:

1) realizando mapas de conjunto de anomalías de los elementos indicadores de la mineralización, resultantes del análisis de componentes principales (matriz de componentes principales), tomando en cuenta además la mineralización de los yacimientos de la carta, o bien las manifestaciones minerales que pudieran existir en el área.

2) por otro lado, se realizaron distribuciones de elementos individuales cuya afinidad es netamente calcófila y litófilos (Au, Cu, Ca, Co, Ba y Be). Para estos casos se desarrollaron mapas por elemento; tomando en consideración los parámetros estadísticos citados (background, threshold y valor anómalo). Se utilizaron los pétalos de captación de cada una de las muestras para apreciar las superficies que ocupa cada anomalía.

A partir de esas observaciones y mediante métodos estadísticos (matriz de componentes principales) se obtuvieron los mapas de distribución de asociación de elementos correspondientes a los factores uno y dos.

VI.4.3.1.Descripción de asociaciones

La asociación Cu-Ba-Be-Co, mostrado en la **Figura 21** se localiza en la porción noroeste del área estudiada, se relaciona con ortogneis y anortosita del Complejo Oaxaqueño, intrusionados por granodiorita, se asocia con el área mineralizada San Francisco, en donde se tiene mineralización de calcopirita, pirita, arsenopirita, magnetita, hematita, limonita, cuarzo, y calcita, las alteraciones constan de silicificación y oxidación.

La asociación Cu, Ba y Be en la muestra 006 ubicada en la parte noroccidental de la carta, también se asocia con ortogneis y anortosita, en donde se encuentran estructuras lenticulares con rumbo NW, mineralizados con trazas de rutilo y esfalerita, pirita, arsenopirita y cuarzo; las alteraciones presentes son silicificación y oxidación intensa.

La asociación Cu, Ca y Be, se encuentra en las muestras 013 y 020, situadas en el sector noroeste de la carta, sus arroyos drenan en ortogneis del Complejo Oaxaqueño, se asocia con la manifestación Tierra Blanca, con estructura lenticular de rumbo N 55° W, la mineralización consiste de trazas de rutilo y esfalerita, pirita, arsenopirita, y cuarzo; emplazada en ortogneis, las alteraciones están dadas por silicificación y oxidación intensa.

La muestra 046 localizada en la porción noreste de la carta, tiene una asociación Cu, Ca y Co, se encuentra en ortogneis del Complejo Oaxaqueño, caliza y dolomía de la Formación Teposcolula. La muestra está cerca de la manifestación Cerro León, la que presenta un cuerpo irregular de 200 m de longitud, 50 m de espesor, con mineralización que consiste de trazas de calcopirita, pirita, arsenopirita, hematita y limonita y cuarzo, con alteraciones como silicificación y oxidación.

Las muestras 011 y 029, se encuentran en ortogneis del Complejo Oaxaqueño, la primera se asocia a la manifestación Portillo del Rayo, que consta de un cuerpos irregular, mineralizado con trazas de esfalerita, rutilo diseminado, magnetita, hematita y cuarzo, con alteración de silicificación; la segunda se relaciona con la falla normal Roció de rumbo NW-SE dentro del área mineralizada San Francisco.

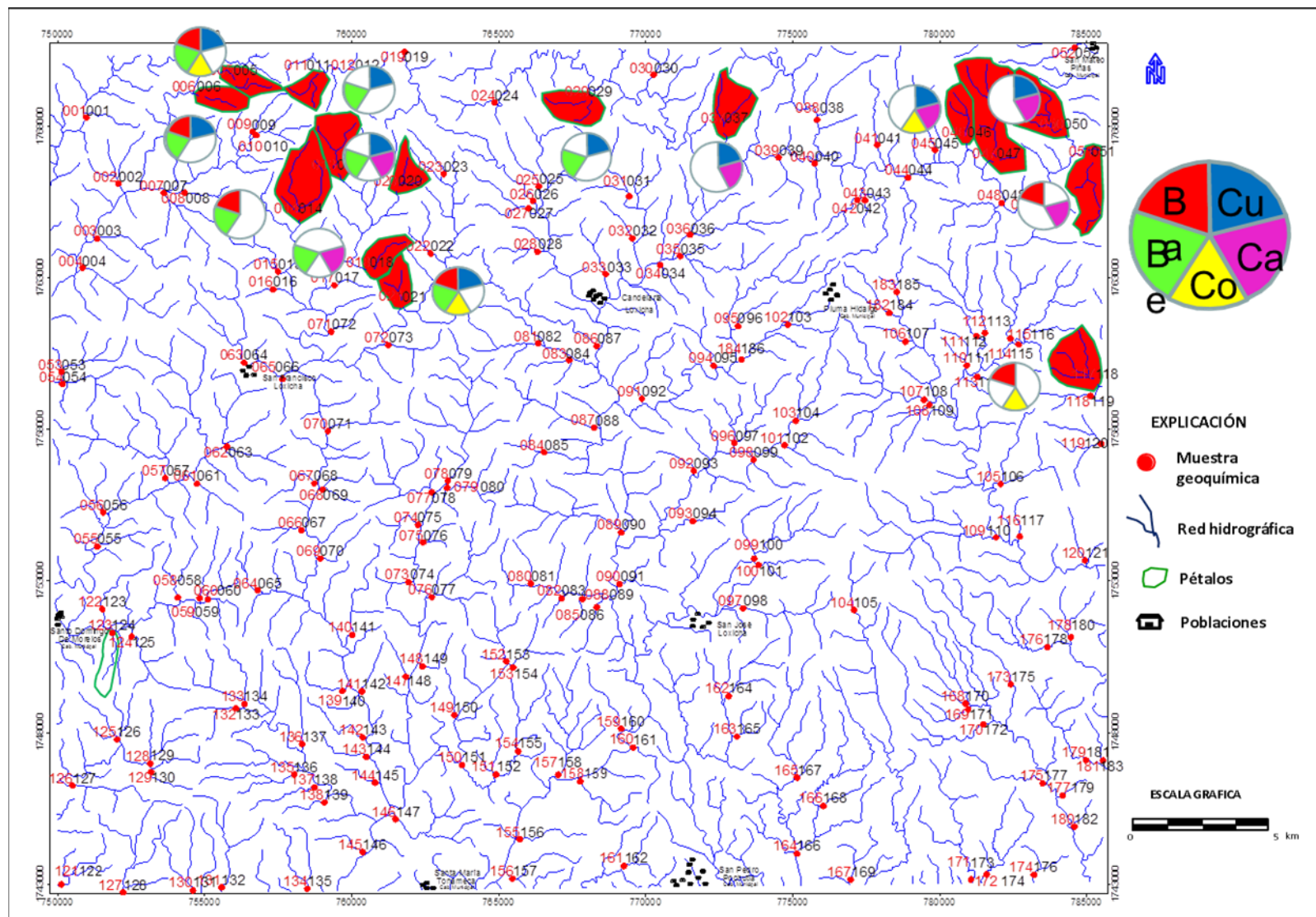


Figura 21.- Mapa de asociaciones geoquímicas.

La muestra 037 localizada en la parte norte de la carta, se asocia a los elementos de Cu-Ca, se encuentra en ortogneis del Complejo Oaxaqueño, caliza y dolomía de la Formación Teposcolula, dentro del área mineralizada Copalita en la manifestación los Naranjos, que consiste en un veta mineralizada con trazas de oro, calcopirita, pirita, limonita, hematita, cuarzo y calcita, las alteraciones presentes son silicificación y oxidación, también se relaciona con la falla normal Los Naranjos de rumbo NW-SE.

Distribución del Ba

El mapa de distribución del Ba con sus rangos más altos de 164.456 ppm (006, 014, 017, 021, 051, 071, 083, 092, 128, 129, 133, 137, 139, 150, 157, 158 y 161), se distribuye principalmente en rocas metamórficas del Complejo Oaxaqueño y rocas intrusivas del Tronco de Pochutla, así como en las áreas mineralizadas de San Francisco y Copalita.

Distribución del Cu

El mapa de distribución del Cu, señala rangos de 29.852 ppm, en las muestras 005, 006, 009, 010, 011, 013, 020, 021, 029, 037, 046, 047, 050 y 106. Se ubican en rocas del Complejo Oaxaqueño, de la Formación Teposcolula y del Tronco de Pochutla, asociadas con las áreas mineralizadas San Francisco y Copalita (**Figura 22**).

Distribución del Ti

Este mapa de degradado, indica en donde se encuentran los rangos más altos a partir de 136.652 ppm. En la porción noreste del área estudiada, se localizan las muestras 106 y 184, relacionadas directamente ortogneis bandeado y anortosita del Complejo Oaxaqueño, en la parte central de la carta, se encuentra la muestra 065 que también sobresale, se encuentra en el mismo tipo de litología. Las muestras 126 y 131 que se localizan en la esquina suroeste de la carta, se asocian a granito-granodiorita del Tronco de Pochutla (**Figura 23**).

Distribución del Au

El oro no se asoció con ningún otro elemento, sin embargo se tomó en cuenta ya que se manifiesta cierta presencia. Se realizaron dos mapas de degradado de este elemento ya que resultó una muestra con 400 ppb, la que provoca que este rango sea más alto y deseché a los demás, es por eso que en el primer mapa sobresale la muestra 173 (**Figura 24**), sin embargo al determinar la media y reducir este valor sobresalen 11 muestras más. Las muestras 015 y 019 localizadas en el área mineralizada San Francisco, en el sector noreste se tiene la muestra 040 dentro del área mineralizada Copalita. Es importante señalar que las muestras que sobresalen son: 097, 162 y 173 en granito y granodiorita del Tronco de Pochutla, en contacto con la secuencia volcanosedimentaria Piedras Negras, también se asocian con la zona milonítica de la falla Chacalapa, que cruza la carta en sentido W-E, con longitud de 35 km y ancho de 3 km, por lo que interpreta que la falla Chacalapa es propicia de contener mineralización tipo oro orogénico (**Figura 25**).

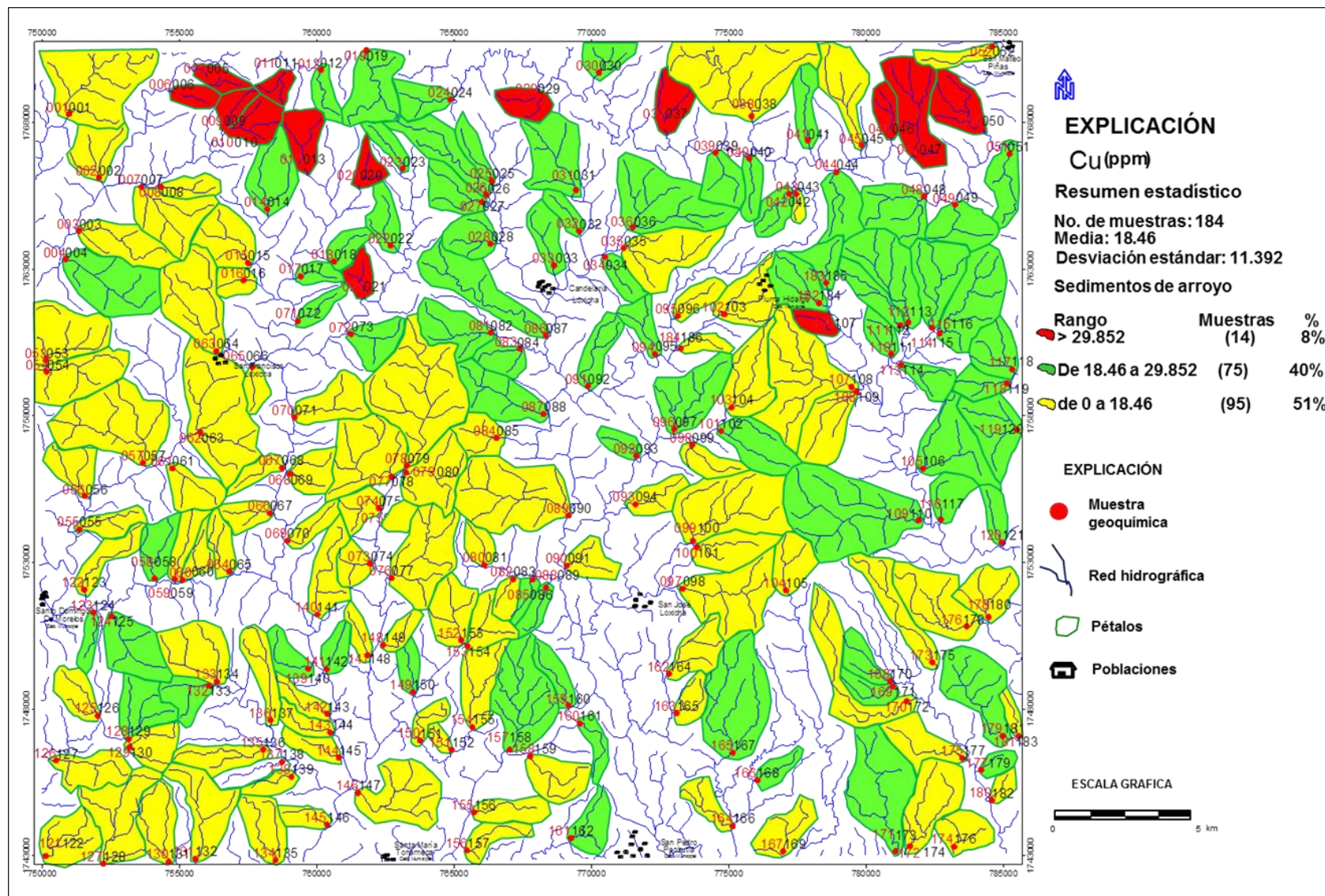


Figura 22.- Mapa de distribución del elemento Cu.

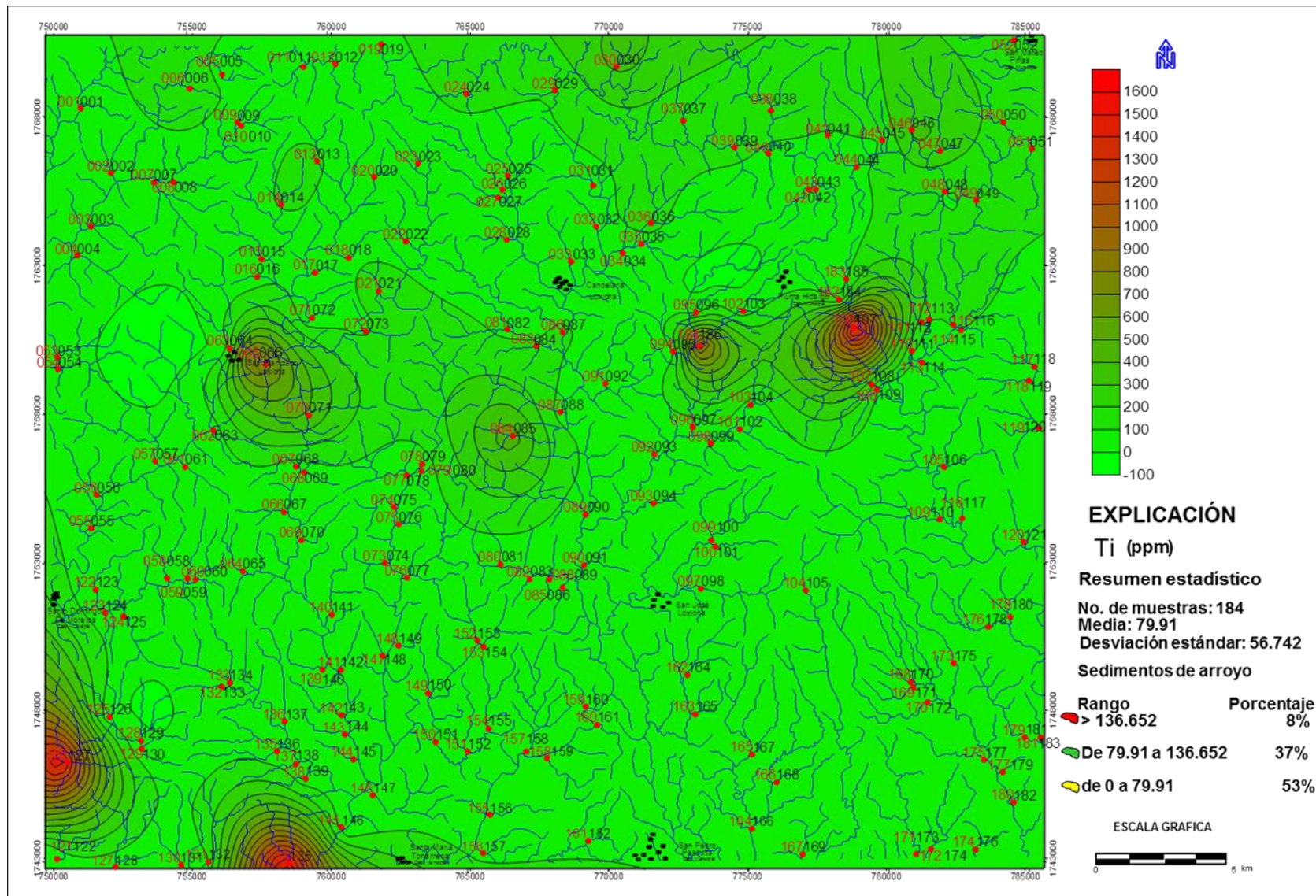


Figura 23.- Mapa de distribución del elemento Ti.

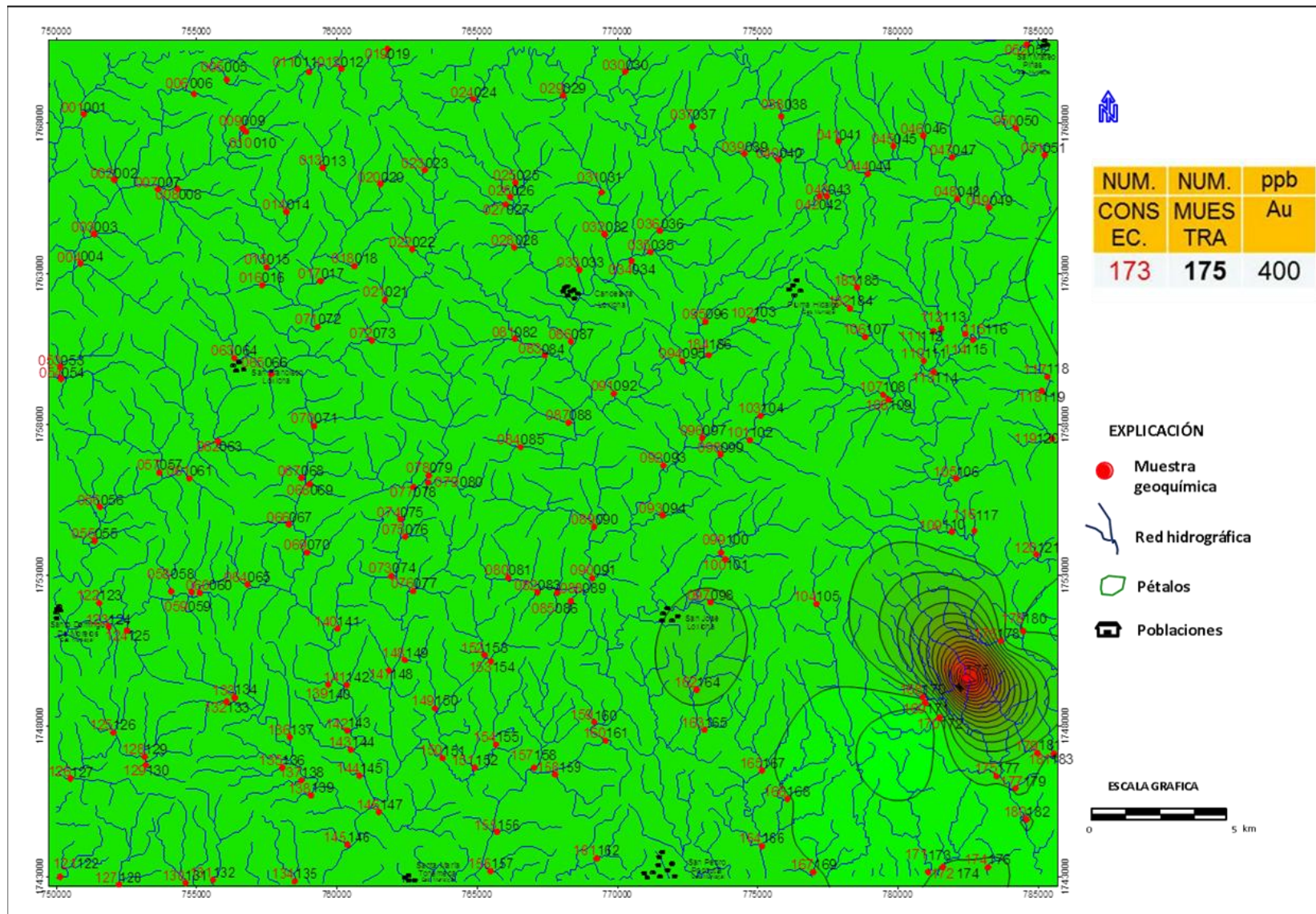


Figura 24.- Mapa de distribución del elemento Au de la muestra 173.

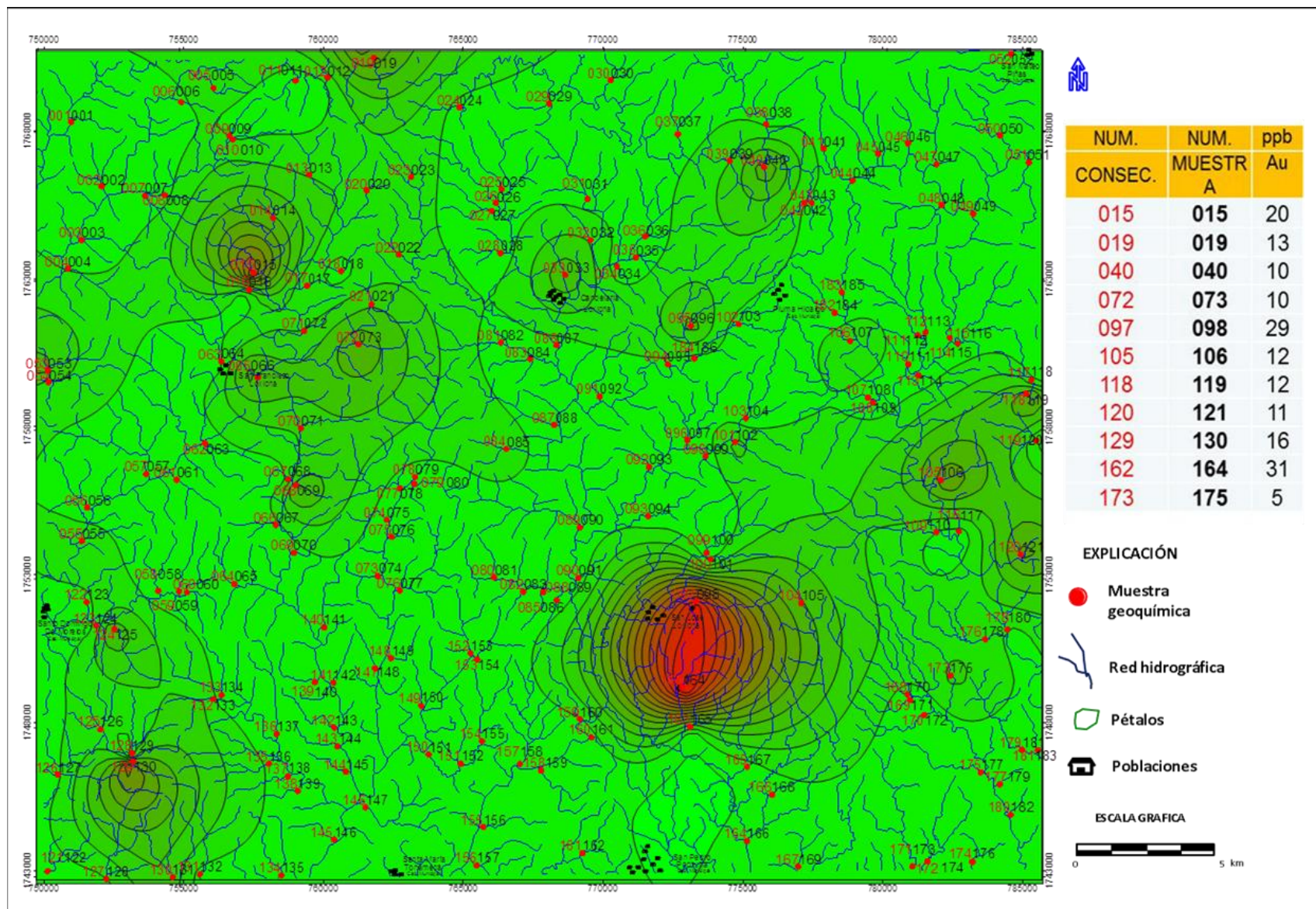


Figura 25.- Mapa de distribución del elemento Au.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La carta, queda comprendida en el terreno Oaxaca o Zapoteco, su basamento es el Complejo Oaxaqueño de edad Proterozoico medio, compuesto por una secuencia de rocas metamórficas que incluyen anortosita, ortogneis y paragneis.

En parte central del área estudiada, se reconoció una secuencia volcanosedimentaria denominada Piedras Negras, que consta de metaarenisca y esquisto de edad Jurásico superior-Cretácico inferior, correlacionable con el Arco Chontal definido por Carfantan J. C. (1986).

La cubierta sedimentaria cretácica está representada por caliza y dolomía, de la Formación Teposcolula de edad Albiano-Cenomaniano. Intrusionado a la columna descrita se tienen rocas del Tronco de Pochutla que consiste de granito y granodiorita de edad Oligoceno-Mioceno, asociadas al magmatismo y vulcanismo de la Sierra Madre del Sur.

Estructuralmente se definió deformación de los regímenes dúctil, dúctil-frágil y frágil, del primero se tiene foliación penetrativa en facies de granulita, desarrollada en rocas del Complejo Oaxaqueño, mientras que en la secuencia volcanosedimentaria Piedras Negras es de menor grado en facies de esquistos verdes, además de la franja milonítica de la falla Chacalapa de desplazamiento lateral izquierdo. El segundo consiste de plegamiento representado por el sinclinal Cerro León. El tercero consta de fallamiento normal y lateral relacionado con eventos tectónicos del Mioceno.

La estructura más sobresaliente dentro de la carta corresponde a la Falla Chacalapa de movimiento lateral izquierdo, consta de una zona de cizalla, intensamente fracturada y milonitizada, se extiende por 35 km con un rumbo sensiblemente E-W.

En cuanto a yacimientos minerales, se definió el distrito minero de Pluma Hidalgo y las áreas mineralizadas San Francisco y Copalita.

En el distrito minero de Pluma Hidalgo se presentan cuerpos irregulares, vetas y disseminaciones, de segregación magmática. La mineralización consta de rutilo, ilmenita magnetita, cuarzo, sericita y calcita. La roca encajonante es anortosita y

ortogneis de hornblenda, con rutilo, y grafito. Las minas de titanio La montaña y Titanio se explotaron en los años 2000-2002, quedando la veta Tizur sin explotarse.

En las áreas mineralizadas de San Francisco y Copalita, se presentan vetas, cuerpos lenticulares e irregulares, la mineralización consta de calcopirita, pirrotita, pirita, hematita, limonita, cuarzo y calcita, emplazada en ortogneis. Esta mineralogía es semejante a las asociaciones de yacimientos tipo oro orogénico. Las manifestaciones de mineral de la carta, no presentan halos de alteración. La silicificación y oxidación se restringen únicamente a las estructuras, característica de yacimientos tipo oro orogénico.

Las asociaciones Cu-Ba-Be-Co, Cu-Ba-Be, Cu-Ca-Be, Cu-Ca-Co, Cu-Be, Cu-Ca determinados en la matriz de componentes principales, sirvieron para identificar áreas de anomalía geoquímica de Au y Cu, asociadas genéticamente a posibles yacimientos tipo oro orogénico.

Todas las asociaciones mineralógicas, apuntan claramente una relación con las áreas mineralizadas de San Francisco y Copalita.

En cuanto a la distribución individual de elementos estas no fueron muy variadas; los cuatro mapas (Ba, Be, Co, Ca y Zn) se relacionan directamente con las tres áreas mineralizadas definidas, que contienen las manifestaciones minerales.

Con respecto al Au resultante en mapas de degradado, se observa que solo se encuentra en la zona milonítica de la falla Chacalapa, desarrolladas en granito-granodiorita y en rocas de la secuencia volcanosedimentaria Piedras Negras. Relacionado a yacimientos tipo oro orogénico.

El mapa de distribución del Ti, se asocia directamente con la mineralización del Distrito Minero Pluma Hidalgo que anteriormente ya fue explotado.

Recomendaciones

Realizar estudios detallados de estratigrafía y geología estructural en la secuencia volcanosedimentaria Piedras Negras, para poder determinar su edad y procedencia, ya que pudiera

tratarse de un fragmento del Arco Chontal de edad Jurásico superior- Cretácico inferior.

Efectuar estudios de geología a semidetalle, en el Distrito Minero de Pluma Hidalgo, específicamente en la veta Tizur, para definir sus leyes y potencial geológico minero.

Realizar estudios de isotopía, mineragrafía, difracción de rayos X, isotopos estables y la edad

de la mineralización en las manifestaciones que reportaron leyes bajas de oro, que permita determinar si las soluciones mineralizantes están asociadas a la dinámica de las fallas con contenido de oro orogénico.

Efectuar estudios de geología a semidetalle, principalmente en la anomalía geoquímica de la muestra 173, que reporto 400 ppb de Au.

VIII. PROBLEMAS NO RESUELTOS

En la unidad granito-granodiorita del Tronco de Pochutla no se pudo establecer el contacto entre

estas dos litologías, por lo que se agrupo en una sola unidad.

BIBLIOGRAFÍA

Antonio A. R., 1994. Informe final de la exploración realizada en el proyecto Pochutla San José del Progreso ubicado en la costa de Oaxaca. Gerencia Regional Zona Sur, Residencia Oaxaca, C.R.M.

Carfantan J. C., 1986. Du systeme cordillerain Nor-Americain au domaine Caraibe. Universite de Savoie. Tesis de Doctorado de Estado (inédita).

Campa U. M. F. et al., 1981. Conjuntos Estratotectónicos de la Sierra Madre del Sur, Región Compreendida entre los Estados de Guerrero, Michoacán, México y Morelos, Boletín Servicio Geológico Mexicano.

Corona C. P. et al., 2006. Syn-deformational migmatites and magmatic arc metamorphism in the Xolapa Complex, southern Mexico, Journal of metamorphic Geology.

Campa U. M. F. et al., 1983. Interpretación tectónica continental de la región Mixteca, PEMEX, México, D.F.

Duncan K. J. et al., 2001. A Grenvillian arc on the margin of Amazonia: evidence from the southern Oaxacan complex, southern Mexico. Precambrian Research 112, 165–181.

Duncan K. J. et al., 2010. 1.3-0.9 Ga Oaxaquia (Mexico): Remnant of an arc/backarc on the northern margin of Amazonia, Journal of South American Earth Sciences.

Elías H. M. et al., 2005. La Falla Caltepec: raíces expuestas de una frontera tectónica de larga vida entre dos terrenos continentales del sur de México.

Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Tomo LVII, Núm. 1, 2005. Pág. 83-109.

Fries C. J., 1962. Nuevos Datos Geocronológicos del Complejo Oaxaqueño, Instituto de Geología, UNAM.

Fries C. J. et al., 1965. Nuevas aportaciones geocronológicas y técnicas empleadas en el laboratorio de geocronometría, Instituto de Geología, UNAM, Bol. 73, pte. 2, Pág. 57-133.

Force R. E., 1991. Geology of titanium mineral deposit, Pluma Hidalgo district Mexico, geological society of America, special paper 259, 35 p.

Goldfarb R. J. et al., 2001. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. Department of Geology and Geophysics, University of Western Australia, Nedlands.

Goldfarb R. J. et al., 2005. Distribution, Character, and Genesis of Gold Deposits in Metamorphic Terranes. Department of Geological Sciences, University of Colorado Campus Box 399.

González H. M. G. et al., 1984. Características estratigráficas y estructurales del límite de los terrenos Mixteco y Oaxaca en la región de los Reyes Metzontla, Puebla.

González R. A. et al., 2000. Carta Geológico-Minera Oaxaca E14-9. Estados de Oaxaca y Puebla. Consejo de Recursos Minerales. SECOFI

Groves D. I. et al., 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types, *Ore Geology Reviews*.

Hernández G. J. F., 1978. Prospección magnetométrica terrestre en la zona titanífera de Pluma Hidalgo, Oaxaca. Gerencia de Exploración Geofísica, C. R. M.

Hernández T. T. et al., 2007. Un Ejemplo de Sobreposición de Eventos Geológicos en la Margen Pacífica del Sur Durante el Paleógeno (65-25 Ma): Sector Chilpancingo-Tierra Colorada, Edo. de Guerrero, Instituto de Geología y el Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Leija C. P., 1999. Informe geológico de evaluación minera del depósito de rutilo-ilmenita unidad minera José Campos Herrera, Pluma Hidalgo, Oaxaca.

Mc Anulty W. N. et al., 1998. Mineral Exploration on the Tizur mining claim Pluma Hidalgo, Oaxaca. Minera Kennecott, S. A. de C. V.

Meschede M. et al., 1996. Stress transmission across an active plate boundary: an example from southern Mexico. Institute of Geology, University of Tiibingen, 72076 Tiibingen, Germany.

Morán Z. D. J. et al., 1996. Uplift and subduction erosion in southwestern Mexico since the Oligocene; pluton geobarometry constrains. *Earth and Planetary Science letters* 141, Page. 51-65.

Morán Z. D. J. et al., 1999. Tertiary arc-magmatism of the Sierra Madre del Sur, Mexico, and its transition to the volcanic activity of the Trans-Mexican Volcanic Belt, *Journal of South American Earth Sciences* 12, Page. 513-535.

Morán Z. D. J. et al., 2000. Geocronología y características geoquímicas de las rocas magmáticas de la Sierra Madre del sur, UNAM.

Morán Z. D. J. et al., 2005. La evolución tectónica y magmática Cenozoica del Suroeste de México: avances y problemas de interpretación, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Volumen Conmemorativo del Centenario, Temas Selectos de la Geología Mexicana, Tomo LVII, Núm. 3, Pág. 319-341.

Motolinía G. O. et al., 2002. Informe Geológico-Minera y Geoquímico, Carta Puerto Escondido, Clave D14-3, Escala 1:250,000. Servicio Geológico Mexicano, Pág. 1-45.

Ochoa L. L. et al., 2011. Depósitos minerales de Sonora, México, in Calmus, Thierry, ed. *Panorama de la geología de Sonora, México*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 118, cap. 9, p. 299–331.

Ordoñez C. O., 2000. Rocas en Zonas de Falla. Departamento de Recursos Minerales, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Ortega G. F., 1977. Los mármoles intrusivos del Complejo Oaxaqueño. Instituto de Geología, UNAM, Vol. 1, Pág. 28-32.

Ortega G. F., 1981. La evolución tectónica Premisisípica del sur de México. UNAM. *Revista del Instituto de Geología*, Vol. 5, Núm. 2, Pág. 140-157.

Ortega G. F., 1981. Metamorphic belts of southern México and their tectonic significance. *Geof. Int.*, Vol. 20-3, Page. 177-202.

Ortega G. F. et al., 1986. The temperature and pressure conditions of Grenville-age granulite facies metamorphism of the Oaxacan Complex, Southern Mexico. Institute of Geology. UNAM. Vol. 6, Page. 222-242.

Ortega G. F. et al., 2007. The Maya-Chortís Boundary: A Tectonostratigraphic Approach, *International Geology Review*, Vol. 49, Page. 996-1024.

Pérez G. R. et al., 2009. Mesozoic Geologic Evolution of the Xolapa Migmatitic Complex North of Acapulco, Southern Mexico: Implications for Paleogeographic Reconstructions, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Vol. 26, Num. 1, Pág. 201-221.

Paulson E. G., 1962. Mineralogy and Origin of the Titanium Deposit at Pluma Hidalgo, Oaxaca, Mexico. Massachusetts Institute of Technology.

Raisz E., 1964. Landforms of Mexico (chart). Geography Branch of the Naval. Research. 2º ed. Cambridge, Mass. USA.

Ramírez E. J., 1984. La acreción de los terrenos Mixteco y Oaxaca, durante el Cretácico Inferior, Sierra Madre del Sur México. Universidad Autónoma de Guerrero, Pág. 7-16.

Rosales G. J. et al., 1979. Estudio Geológico-Minero del proyecto "Titanio Pluma Hidalgo", primera etapa, en Pluma Hidalgo, Oaxaca. Distrito de Pochutla. Residencia Oaxaca, Gerencia de Exploración Geológica. Consejo de Recursos Naturales No Renovables.

Sánchez R. D., 2004. Notas sobre los Yacimientos de Titanio. Compañía Minera José Campos Herrera. México D.F.

Santamaría D. A., 2006. Cartografía geológica de la región de Tamazulapam, Nochixtlán, Chalcatongo, Yosundua, en el sur de México, Instituto de Minería, Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Schulze G., 1959. Estudio benéfico de los Yacimientos de Titanio en Huitzo y en la zona de Pluma Hidalgo-Apango, estado de Oaxaca. Consejo de Recursos Naturales No Renovables.

Schulze H. C. et al., 2004. Mid-Tertiary cooling ages in the Precambrian Oaxacan Complex of southern Mexico: indication of exhumation and inland arc migration, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Vol. 21, Núm. 2, Page. 203-211.

Solari L. A. et al., 2001. The 275 Ma are-related La Carbonera stock in the northern Oaxacan Complex of southern Mexico: U-Pb geochronology and geochemistry. *Revista de Ciencias Geológicas*. Vol. 18, 002. UNAM.

Solari L. A. et al., 2006. Geologic evolution of the Xolapa Complex, southern Mexico: Evidence from U-Pb zircon geochronology: Discussion, 2006 Geological Society of America GSA Bulletin, Vol. 118, Num. 5/6, Pages 764-767.

Solari L. A. et al., 2007. Tectonic significance of Cretaceous-Tertiary magmatic and structural evolution of the northern margin of the Xolapa Complex, Tierra Colorada area, southern Mexico. Instituto de Geología, UNAM.

Tolson J. G. et al., 1993. Naturaleza petrográfica y estructural de las rocas cristalinas de 1a zona de contacto entre los terrenos Xolapa y Oaxaca, región de Santa María Huatulco, Oaxaca. *Unión Geofísica Mexicana*, Monografía, 1, 327-349.

Tolson J. G., 1998. Deformación, exhumación y neotectónica de la margen continental de Oaxaca: datos estructurales, petrológicos y geotermobarométricos, Tesis Doctorado Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM.

Tolson J. G., 2005. La falla Chacalapa en el sur de Oaxaca. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Tomo LVII, Núm. 1, Pág. 111-122.

Torres T. G. et al., 1984. Estudio Microestructural del límite oriental del terreno Mixteco entre Huajuapán de León y Teposcolula, Oax. (Avance de estudio), Gerencia de Exploración zona sur, PEMEX.