



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA
TIERRA**

**Exploración Geológico Minera de la Zona
Norte y Noroccidente de la carta Asunción
Tlacolulita (E15-C71), Estado de Oaxaca.**

TESIS

Que para obtener el título de:

Ingeniero Geólogo

PRESENTA:

Ángel Israel Cayetano García

Director de tesis:

Ing. Miguel Ildefonso Vera Ocampo



Mayo 2014

Dedicatoria

A mis padres Ángel Cayetano Aviles y Teresa García Gil por haberme dado la vida, por el gran apoyo que me brindaron durante mi vida como estudiante, por estar conmigo en todo momento y creer en mí. Por ustedes soy lo que soy, los quiero mucho. Por ustedes he logrado terminar mi carrera profesional, que es para mí la mejor de las herencias. Gracias, porque aunque ya hayamos logrado graduarnos, trabajar y formar un nuevo hogar, ustedes nos siguen brindando su apoyo y su amor. Y como dice mi hijo Sebastián, ustedes son los mejores papás del mundo.

A mis hijos Sebastián y Valentina que son mi gran inspiración en mi vida, son lo más querido y preciado para mí, los amo mucho, gracias por darme la gran felicidad de mi vida al saber de su existencia. Y a mi esposa Olisveth Delgado, por todos los momentos felices que me ha brindado, por su apoyo y comprensión durante la realización de este trabajo y por darme a estos hijos tan hermosos.

A mis hermanos Julio y Fernando por su cariño y apoyo moral que siempre he recibido de ustedes, por haber compartido muchas cosas juntos y por esos recuerdos tan bellos que tengo de nuestra niñez.

A mi familia (tíos, primos y sobrinos) por ser parte de mi vida, por haber compartido muchos bellos momentos. Porque la familia es lo más importante que existe en mi vida y no importa que obstáculo se atraviere, la familia siempre debe de estar unida por siempre.

A mis abuelitos maternos Santiago y Ofelia Gil y paternos Leobardo Cayetano y muy especial a mi abuelita Eladia Aviles que la quise muchísimo y siempre la tendré en mis pensamientos y mi corazón. Me hubiera gustado mucho que estuviera con vida para compartir tantas cosas bellas con ella.

Agradecimientos

A mi alma mater, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), por forjarme como ingeniero y darme la formación de lo que hoy en día soy. Siempre estará la UNAM en mi corazón.

A la Facultad de Ingeniería por permitirme ser parte de ella y recibir parte de su gran sabiduría. Por los gratos momentos que pase a lado de mis amigos y profesores. Siempre la pondré en alto.

A todos y cada uno de los profesores que me dieron clase; por sus enseñanzas, su dedicación y su tiempo.

A todos y cada uno de mis amigos de la Facultad por su apoyo, con quienes conviví tantos años y pase varias experiencias inolvidables en clase y en prácticas de campo, por que estuvieron en las buenas y las malas a mi lado.

A mi director de tesis, el Ing. Miguel Vera por ayudarme y apoyarme, por su asesoría para terminar este trabajo y poder titularme, gracias por todo Ing. y nunca cambie su forma de ser.

A mis sinodales: Ing. Jorge Nieto Obregón, Dr. Carlos Eduardo Garza González Vélez, Dr. Carlos Heinrich Schulze Schreiber, M.I. Alberto Herrera Palomo y al Ing. Ricardo Antonio Villanueva Pérez por sus valiosas sugerencias. Gracias por todo el tiempo invertido en la revisión de esta tesis.

Son muchas las personas a las que quisiera agradecer su amistad, su apoyo y su compañía en las diferentes etapas de mi vida. Algunas están a mi lado y otras en mis recuerdos y mi corazón. Sin importar donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mi vida, por todo lo que me han brindado y compartido conmigo, los quiero mucho.

Israel

**EXPLORACIÓN GEOLÓGICO MINERA DE LA ZONA NORTE Y
NOROCCIDENTAL DE LA CARTA ASUNCIÓN TLACOLULITA (E15-C71),
ESTADO DE OAXACA.**

CONTENIDO

	Pags.
RESUMEN	1
 CAPÍTULO I.- GENERALIDADES	
I.1. Objetivo del trabajo	4
I.2. Trabajos previos.....	4
I.3. Metodología del trabajo	7
 CAPÍTULO II.- GEOGRAFÍA	
II.1. Localización y extensión del área.....	9
II.2. Acceso y vías de comunicación.....	10
II.3. Clima	11
II.4. Flora y fauna.....	13
II.5. Actividades económicas	14
 CAPÍTULO III.- FISIOGRAFÍA	
III.1. Provincia fisiográfica	18
III.2. Rasgos orográficos	19
III.3. Cuencas geohidrológicas.....	20
 CAPÍTULO IV.- GEOLOGÍA	
IV.1. Terrenos tectonoestratigráficos del Sur de México.....	24
IV.2. Terreno Cuicateco o Juárez.....	25
IV.3. Marco geológico regional	27
IV.3.1. Formación Teposcolula	28
IV.3.2. Formación Yucunama	29

IV.3.3. Terciario	30
IV.3.4. Formación Laollaga	30
IV.3.5. Rocas intrusivas	31
IV.3.6. Geología estructural	32
IV.4. Geología local	33
IV.4.1. Subterreno Arco Chontal.....	33
IV.4.1.1. <i>Unidad metavolcánica (Js (?) MV)</i>	33
IV.4.1.2. <i>Unidad metasedimentaria (Knap MS)</i>	36
IV.4.1.3. <i>Unidad metacaliza (Kapa MCz)</i>	38
IV.4.2. Depósitos sedimentarios terciarios.....	39
IV.4.2.1. <i>Limolita-Conglomerado polimíctico (Tpae Lm-Cgp)</i>	40
IV.4.3. Magmatismo de la Sierra Madre del Sur.....	42
IV.4.3.1. <i>Toba andesítica-Toba dacítica (Tm TA-TDa)</i>	42
IV.4.3.2. <i>Riolita-Toba riolítica (Tm R-TR)</i>	45
IV.4.3.3. <i>Granito-Granodiorita (Tm Gr-Gd)</i>	46
IV.5. Estratigrafía.....	47
IV.6. Geología estructural	50
IV.6.1. <i>Descripción de estructuras</i>	50
IV.6.2. <i>Deformación dúctil</i>	51
IV.6.3. <i>Deformación frágil</i>	52
IV.6.3.1. <i>Fallas normales</i>	52
IV.6.3.2. <i>Fallas laterales</i>	54
IV.6.3.3. <i>Lineamientos</i>	54
IV.6.3.4. <i>Curvilineamientos</i>	55
IV.7. Evolución Tectónica	56

CAPÍTULO V.- YACIMIENTOS MINERALES

V.1. Formas y dimensiones.....	63
V.2. Estructuras mineralizadas.....	66
V.3. Alteraciones.....	67
V.4. Mineralización en “Las Minas”	69
V.5. Orígenes de la mineralización	71
V.6. Datos económicos	73

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
ANEXOS	81
BIBLIOGRAFÍA	87

INDICE DE FIGURAS

	Pags.
Figura II.1. Localización del área de estudio.....	9
Figura II.2. Accesos y vías de comunicación (Mapa de carreteras del estado de Oaxaca, Secretaria de Comunicaciones y Transportes, 2006).....	11
Figura II.3. Mapa de climas de la zona de estudio, estado de Oaxaca (imagen de INEGI, 2012)	12
Figura III.1. Mapa de provincias fisiográficas (de Erwin Ruiz, 1964).....	19
Figura III.2. Regiones hidrológicas de la República Mexicana (CONAGUA).....	21
Figura III.3. Mapa de CONAGUA de la Región Hidrológica No.22 Tehuantepec (Secretaria de Recursos Hidráulicos, 1975)	22
Figura IV.1. Terreno Cuicateco en el sur de México (modificado de Solari <i>et, al.</i> , 2004).....	26
Figura IV.2. Columna estratigráfica (modificado del Servicio Geológico Mexicano, 2011).....	48
Figura IV.3. Mapa geológico del área de estudio.....	49
Figura V.1.- Localización de las minas La azucena y La Santa Margarita con dirección de veta.....	64

INDICE DE FOTOFRAFIAS

	Pags.
Fotografía IV.1. Metaandesita masiva con vetillas de calcita y cuarzo, al noreste del poblado Las Minas.....	34
Fotografía IV.2. Metatoba andesítica con fuerte fracturamiento y vetillas de calcita, al noreste del poblado Las Minas	35
Fotografía IV.3. Metalutita con lentes de metaarenisca, al noroeste del poblado San Bartolo Yautepe.....	37
Fotografía IV.4. Metacaliza con desarrollo de bandeamiento, al sureste del poblado Las Minas	38
Fotografía IV.5. Limolita, conglomerado polimíctico y arenisca, expuesto al noreste del poblado Santa María Asunción Lachixonase	41
Fotografía IV.6. Contacto discordante entre el conglomerado polimíctico y toba andesítica, al noreste del poblado Santa María Asunción Lachixonase	42
Fotografía IV.7. Toba dacítica en pseudoestratos medianos a gruesos, con fracturamiento moderado, al sur del poblado Las minas.....	44
Fotografía IV.8. Toba riolítica de estructura masiva, a 3 km al este del poblado de San Bartolo Yautepec	45
Fotografía IV.9. Interpretación de estructuras del modelo digital de elevación.....	51
Fotografía IV.10. Plano de falla normal. A 2.4 km al noroeste del poblado de San Bartolo Yautepec	52
Fotografía IV.11. Plano de falla Las Minas, observado en toba andesítica, al norte del poblado San Bartolo	53
Fotografía IV.12. Falla Cerro Campanario, a 3.7 km del poblado San Bartolo Yautepec	53
Fotografía IV.13. Plano de falla de componente lateral derecha en las inmediaciones del poblado de Santa María Asunción Lachixonaseo.....	54
Fotografía V.1.-Obra de la mina La Azucena, donde se observa la estructura y la mineralización	65

INDICE DE TABLAS

	Pags.
Tabla II.1.- Información estadística de economía del municipio de San Juan Lajarcia (INEGI, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2011).....	17
Tabla V.1.- Resultados de esquiras del socavón, mina La Santa Margarita	74
Tabla V.2.- Resultados de esquiras del tajo a cielo abierto, mina La Santa Margarita	75
Tabla V.3.- Resultados de esquiras del tiro inclinado, mina La Santa Margarita	75
Tabla V.4.- Resultados de esquiras del nivel 1, mina La Azucena	76
Tabla V.5.- Resultados de esquiras del nivel 2, mina La Azucena	77
Tabla V.6.- Resultados de esquiras del socavón, mina La Azucena	77
Tabla V.7.- Resultados de esquiras del tajo, mina La Azucena	78
Tabla V.8.- Resultados de esquiras del terrero, mina La Azucena.....	78

ANEXOS

	Pag.
Tabla general de puntos de control y datos estructurales	81

RESUMEN

El área de estudio se encuentra en la porción sureste del estado de Oaxaca, al noroeste de la ciudad de Jalapa del Márquez, entre las coordenadas geográficas 16° 25' a 16° 30' de latitud norte y 95° 50' a 96° 00' de longitud oeste, comprende una superficie de 165 km².

Este trabajo cubre la parte norte y noroccidental de la carta de INEGI Asunción Tlacolulita escala 1:50,000 con clave E15-C71.

El área estudiada queda comprendida dentro de la subprovincia Tierras Altas de Oaxaca, que pertenece a la provincia Sierra Madre del Sur, (Raíz E., 1964). En esta zona se tiene un elemento tectónico, el Terreno Juárez (Campa y Coney, 1983) con cobertura cretácica y terciaria, así como rocas volcánicas e intrusivos del arco magmático de la Sierra Madre del Sur. El Terreno Juárez (Campa y Coney *op. cit.*) o Cuicateco (Sedlock *et al.*, 1993) corresponde el subterreno Arco Chontal de Carfantan (1981).

El subterreno Arco Chontal se presenta en la carta Asunción Tlacolulita, este bloque tectónico se constituye como el arco volcánico más oriental con respecto a los situados al occidente de México. El basamento de este bloque no se reconoció, sin embargo Carfantan, (1986) y Tolson, (1998), consideran que su basamento puede estar formado por rocas pertenecientes al Complejo Xolapa.

El Arco Chontal, consiste de una secuencia vulcanosedimentaria formada por andesitas, areniscas, lutitas y limolitas con intercalaciones de lentes calcáreos; la parte superior está compuesta por estratos delgados de caliza marmorizadas, conglomerados polimícticos constituidos por clastos calcáreos y andesitas, con fragmentos de rudistas, contenidos en mármoles intercalados hacia la cima de la secuencia, probablemente caprotínidos del género Caprotina, le dan una edad Neocomiano-Turoniano o Pochytriga del Cretácico Temprano (Carfantan, 1981, 1983.).

Entre el Jurásico Superior y Cretácico Inferior se desarrolla una cuenca (Cuicateca), que algunos autores la relacionan como consecuencia de una falla transformante (Sedlock, *op. cit*), aunque otros la consideran como una zona de apertura (rifting), durante la separación de Norteamérica y Suramérica (Carfantan, 1983). Bordeando a ésta se originaron dos cuencas vulcanosedimentarias, una de ellas es el Arco Chontal.

A partir del Paleoceno-Eoceno, el Terreno Maya y el Bloque Chontal comparten una cubierta terciaria representada por molasas continentales formadas por conglomerados polimícticos con clastos de rocas metamórficas, calizas, fragmentos de cuarzo y arenisca. Sobreyace en discordancia al conglomerado, una secuencia volcánica constituida por tobas andesíticas, andesitas, dacitas y riolitas con intercalaciones delgadas de arenisca y calizas lacustres pertenecientes a la Formación Laollaga. Durante el Pleistoceno se depositan arenas, arcillas y limos mal consolidados, por último se tienen depósitos de aluvión, palustre litoral y eólico de edad Holoceno.

El Arco Chontal, tiene una deformación dúctil con desarrollo de milonitas, con desplazamiento lateral izquierdo. La Falla Astata con rumbo general N 80° W, pertenece al mismo sistema de desplazamiento.

El Arco Chontal, se relaciona con el desarrollo de un arco de islas, cuyo emplazamiento probablemente inició en el Jurásico Superior-Cretácico Inferior, su deformación y acreción a la placa de Norteamérica, ocurrió durante la Orogenia Laramide.

Del Arco Chontal se identificaron tres unidades: una secuencia metavolcánica (Js(?) MV) constituida por metaandesita y metatoba andesítica de edad Jurásico superior, otra secuencia metasedimentaria (Knap MS) compuesta por filita, metalutita, metaarenisca y pizarra de edad Neocomiano-Aptiano. Sobreyaciendo de igual forma se encuentra la unidad metacaliza Metacaliza (Kapa MCz) constituida principalmente por caliza bandeada y foliada, en ocasiones con lentes de pedernal de edad Aptiano- Albiano. En el Paleógeno se deposita Limolita-Conglomerado polimíctico (Tpae Lm-Ggp) compuesto por limolita,

arenisca y conglomerado polimíctico de edad Paleoceno-Eoceno, la cual sobreyace discordantemente a las unidades del Arco Chontal.

Las rocas del volcanismo y magmatismo de la Sierra Madre del Sur afloran ampliamente en casi toda la zona de estudio, conformada por una secuencia volcánica del Mioceno (Tm TA-TDa) que incluye toba andesita, andesítica, toba dacítica, dacita y toba lítica andesítica, coronada por flujos de depósito piroclásticos de composición riolítica de la unidad Riolita-Toba riolítica del Mioceno (Tm R-TR). Edad en la que se emplazaron cuerpos intrusivos de composición granito-granodiorita (Tm Gr-Gd) que afectan a la mayor parte de la columna estratigráfica. Esta unidad se considera como la generadora de la mineralización del cerro Las Minas

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

I.1. Objetivo del trabajo

El objetivo del presente estudio consistió en obtener la cartografía geológico-minera de la zona norte y noroccidente de la carta Asunción Tlacolulita (clave E15-C71), escala 1:50,000; para alcanzar este objetivo se hicieron estudios de interpretación de imagen satelital (Landsat TM), mapeo de unidades litoestratigráficas y zonas de alteración y se tomaron muestras para análisis químicos; paralelamente se realizó un estudio geoquímico de sedimentos activos de arroyo. Dentro del reconocimiento geológico se muestrearon afloramientos con evidencias de elementos metálicos y de las estructuras mineralizadas observadas en el interior y exterior de las obras mineras abandonadas en la zona de Las Minas.

I.2. Trabajos previos

En el desarrollo de las actividades de cartografía se hizo la compilación de información geológica-minera de la región; se analizaron, para el presente estudio, un total de 14 trabajos. Se describen brevemente en orden cronológico los más relevantes.

Baker, (1930) desarrolló una sección geológica transversal a través del Istmo de Tehuantepec, mencionó algunas litologías presentes en las porciones oriente y noreste de la carta.

Olivella, (1977) presentó la tesis titulada “Estudio geológico petrolero de la porción sur del Istmo de Tehuantepec”, estableció una columna estratigráfica, un marco tectónico y un panorama sobre el aspecto petrolero de la región.

Carfantan, (1980) desarrolló la cartografía geológica de la parte meridional del Istmo de Tehuantepec en donde muestra la distribución de las unidades litoestratigráficas y la geología estructural.

Carfantan, (1981) publicó el trabajo denominado “Evolución estructural del sureste de México, paleogeografía e historia tectónica de las zonas internas mesozoicas”, en donde cita las unidades litoestratigráficas del Arco Chontal y su distribución, la paleogeografía e historia tectónica.

Carfantan, (1985) llevó a cabo el estudio geológico denominado “Du Systeme Cordillerain Nort-American au Domaine Caraibe Etude Geologique du Mexique Meridional. Université de Savoie”, en donde agrupa una serie de unidades y establece su columna estratigráfica, menciona aspectos estructurales y tectónicos de la región.

Sánchez, (1986) realizó la visita de reconocimiento al lote minero Santa Margarita, con la finalidad de evaluar el potencial geológico-minero, identificó 2 obras mineras, definió estructuras tipo hidrotermal con leyes de: 567 g/t de Ag; 5.4% de Pb; 2% de Zn y 1% de Cu, con reservas probables de 5128.75 toneladas y 2957.04 toneladas potenciales.

Valverde, (1988) hizo una visita de reconocimiento al lote minero Santa Margarita donde efectuó una evaluación geológico-minera del yacimiento, determinó estructuras con leyes de 2.0 g/t de Au y 250 g/t de Ag con reservas probadas de 6,000 toneladas.

Mora, (1990) llevó a cabo la tesis de maestría titulada “Evolución geológica del Istmo de Tehuantepec y sus implicaciones petroleras”, en donde expone la estratigrafía, aspectos estructurales y tectónica de la región.

Solana, (1997) hizo una visita de reconocimiento al lote minero La Azucena, en el municipio de San Juan Lajarcia, estado de Oaxaca, donde consideró un yacimiento tipo Skarn formado por un emplazamiento de un cuerpo intrusivo en una roca calcárea, los valores reportados son: 0.08 g/t de Au, 28 g/t de Ag, 0.06% de Pb, 0.18% de Zn, 0.54% de

Cu, 7.18% de Fe en superficie y 0.12 g/t de Au, 38 g/t de Ag, 0.01% de Pb, 0.31% de Zn, 1.31% de Cu, 9.91% de Fe en interior de mina.

El Consejo de Recursos Minerales (1996) (actualmente Servicio Geológico Mexicano) publicó la monografía del estado de Oaxaca, en donde se consignan aspectos como las vías de comunicación, así como la estratigrafía, geología estructural, tectónica y el inventario minero del estado de Oaxaca.

Ferrusquía, (1999) realiza el mapeo geológico del área Laollaga-Lachiviza, en su columna geológica propone rocas que van del pre-cretácico al Reciente.

Castro y Arreola, (2000) hicieron el estudio geológico minero del lote minero La Azucena, en el municipio de San Juan Lajarcia, estado de Oaxaca, en donde determinaron zonas de skarn con depósitos de sulfuros de cobre y hierro, con contenidos metálicos de oro y plata, con leyes promedio de 0.13 g/t de Au, 107 g/t de Ag, 0,38 %de Zn, 0.223 %de Pb, 1.75 % de Cu, 0.033% de Sb, 0.034% de Mo y 0.039% de W.

Martínez *et al.*, (1999), en su informe geológico-minero de la carta Juchitán, clave E15-10 D15- 1, escala 1:250,000, estados de Oaxaca, y Veracruz establecen que el límite tectónico entre el Terreno Xolapa y el Bloque Chontal lo constituye la franja milonítica relacionada con la falla Chacalapa que es de desplazamiento lateral izquierdo, y el límite tectónico entre el Bloque Chontal y el Terreno Maya, está representado por la falla Tehuantepec, que actuó como falla de desplazamiento lateral derecho durante el Cretácico, y se reactiva a una falla normal durante el Terciario.

I.3. Metodología del trabajo

En la primera etapa se compiló información bibliográfica sobre la geología regional del estado de Oaxaca publicada e inédita (libros, tesis, artículos científicos, informes técnicos, boletines e información de internet), con el propósito de recabar, ordenar y clasificar la información para los fines geológicos-mineros y geoquímicos.

Paralelamente, se procedió a la interpretación de la imagen satelital (Landsat TM) y al modelo digital de elevación con especial énfasis en lineamientos, curvilinieamientos, relación estructural, anomalías y zonas de alteración con el propósito de encontrar nuevas áreas prospectivas. En seguida, con el análisis y síntesis de la información y las interpretaciones se estableció el marco geológico-minero y la problemática a resolver.

En la segunda etapa se realizaron los trabajos de campo, donde primeramente se hizo el reconocimiento general del área, incluida la cartografía geológica que tomó en cuenta los contactos litológicos mediante secciones geológicas y las imágenes satelitales. También se llevó a cabo un reconocimiento geológico minero, con muestreo representativo.

Se realizó la cartografía geológica, la que consistió básicamente de:

- a).- Descripción de las unidades litológicas.
- b).-Medición de datos estructurales: estratificaciones, fracturas, foliaciones, fallas, pliegues, etc.
- c).- Determinación de las relaciones estratigráficas y/o tectónicas.
- e).- Obtención de muestras de esquistos, para análisis químico por Au, Ag, Pb, Cu y Zn.

Paralelamente, se hizo la ubicación y toma de datos de los yacimientos minerales que consideraron lo siguiente:

1).- Descripción de las características de cada localidad mineralizada, por ejemplo:

En yacimientos metálicos: situación, obras mineras, sustancia, clave, roca encajonante, forma y dimensiones, mineralogía, etc.

En yacimientos no metálicos: situación, mineral, obras mineras, clave, roca encajonante, unidad estratigráfica, forma y dimensiones, potencial, etc.

Bancos de materiales: situación, roca, unidad estratigráfica y producto.

2).- Medición de las estructuras mineralizadas.

Todos los datos puntuales, como son: datos estructurales, las localidades de muestreo, la ubicación de entidades mineralizadas y los puntos de control, etc., se ubicaron con el receptor satelital GPS. Marca Garmin, modelo GPSmap 60CS.

Se tomaron fotografías representativas de las principales características de las unidades y estructuras, así como de los yacimientos minerales y de la infraestructura minera. Por último se hizo trabajo de gabinete para analizar y sintetizar los datos obtenidos de los trabajos de campo en los mapas correspondientes.

Asimismo, se elaboró la columna estratigráfica en función de las observaciones de campo.

CAPÍTULO II

GEOGRAFÍA

II.1. Localización y extensión del área

Geográficamente la zona de estudio queda localizada en la porción suroriental del estado de Oaxaca, aproximadamente a 75 Km en línea recta al noroeste de la ciudad de Tehuantepec, limitada por las coordenadas geográficas $16^{\circ} 25'$ a $16^{\circ} 30'$ de latitud norte y $95^{\circ} 50'$ a $96^{\circ} 00'$ de longitud oeste, comprende una superficie de 165 km^2 (*Figura II.1.*).

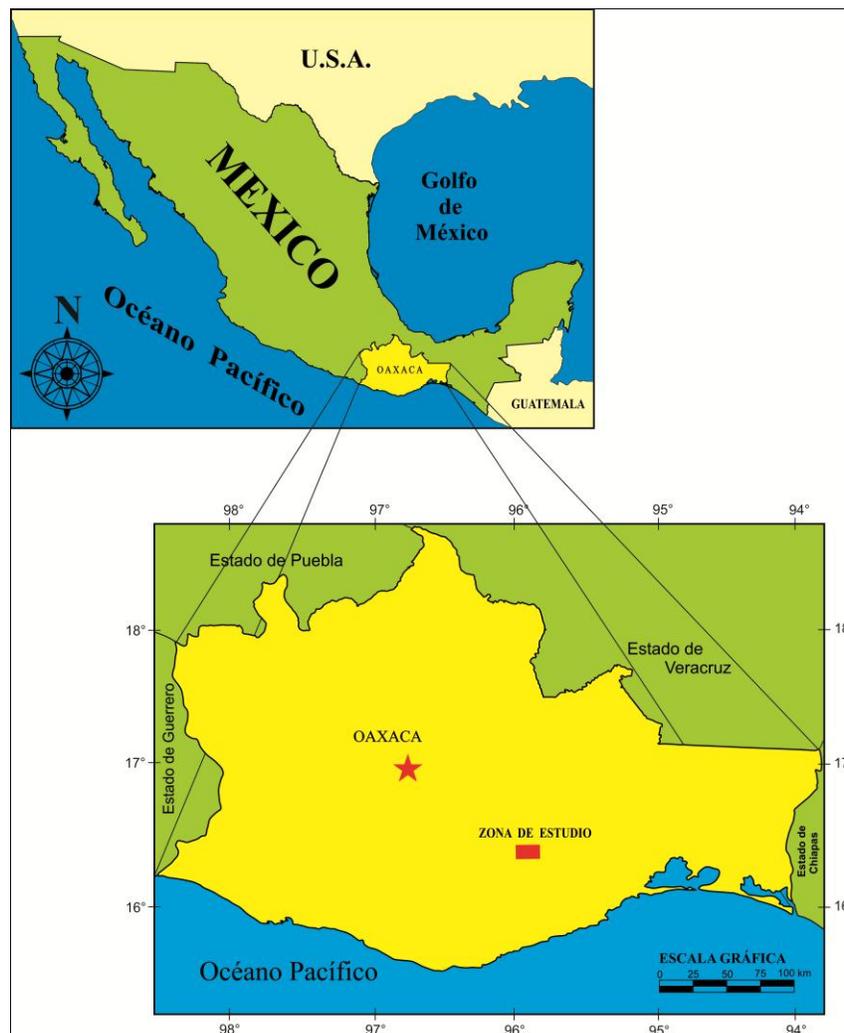


Figura II.1. Localización del área de estudio.

El área está ubicada a 49.5 km en línea recta al oeste de la población de Jalapa del Márquez, perteneciente al municipio de San Juan Lajarcia. Colinda éste con los municipios de San Carlos Yautepec al sur y oeste, Santa Ana Tavela al norte y Nejapa de Madero al noroeste.

II.2. Accesos y vías de comunicación

Para llegar al área de estudio se toma la principal vía de acceso que es la carretera Panamericana No. 190 (Oaxaca-Itsmo), que va desde de la ciudad de Oaxaca con rumbo a la ciudad de Santo Domingo Tehuantepec, pasa por los poblados San Pedro Totolapa, El Camarón, El Coyul, Las Minas, el Puerto San Bartolo y Asunción Lachixonase y Jalapa del Márquez.

En el km 169, entronca la terracería que comunica al poblado de San Bartolo Yautepec y otras pequeñas rancherías. Además existen terracerías y brechas que permiten el acceso en todo tiempo a diferentes poblados en la zona de estudio (*Figura II.2*).

En el km 158 de la carretera Panamericana No. 190 se localiza la ranchería Las Minas en donde se ubica la entrada a la zona mineralizada y que aloja a las minas Santa Margarita y La Azucena.

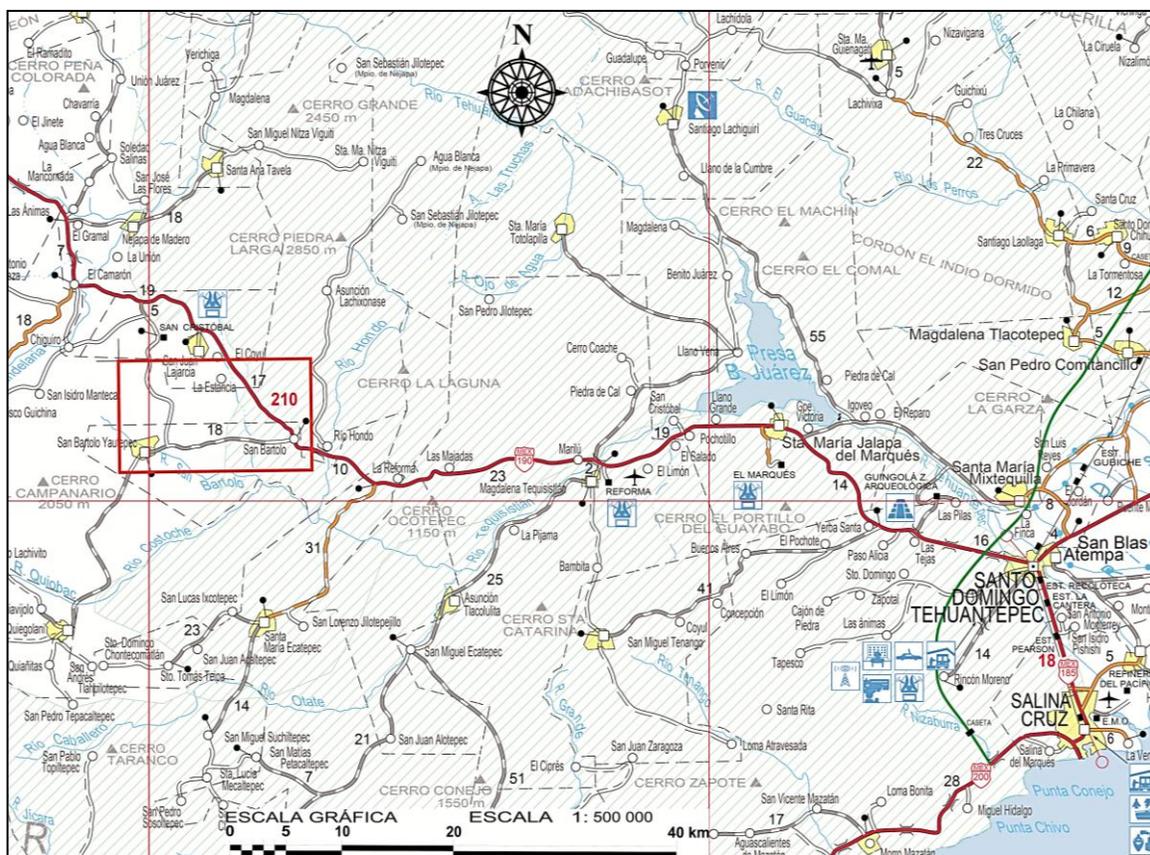


Figura II.2. Accesos y vías de comunicación (Mapa de carreteras del estado de Oaxaca, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2006).

II.3. Clima

Oaxaca presenta gran variedad climática; en su territorio hay climas *crálidos*, *semicálidos*, *templados*, *semifríos*, *semisecos* y *secos*.

El 47% de la superficie del estado presenta clima cálido subhúmedo que se localiza en toda la zona costera y hacia el este; el 22% presenta clima cálido húmedo localizado principalmente en la región norte; el 16% presenta clima templado húmedo en las partes altas orientales de los cerros Volcán Prieto y Humo Grande; el 11% presenta clima seco y semiseco en la región centro sur y noroeste; el restante 4% presenta clima templado

subhúmedo hacia el sur y noroeste del estado en zonas con altitudes entre 2,000 y 3,000 metros.

En la zona de estudio se presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en las estaciones de verano y otoño, con aire dominante de norte a sur. Los climas cálidos se producen en las zonas de menor altitud (1,000 msnm), se caracterizan por sus temperaturas medias anuales que varían de 22° a 28°C y su temperatura media del mes más frío es de 18°C o más. Las lluvias son de tipo torrencial y alcanzan su máxima precipitación en septiembre, cuando se recibe la influencia ciclónica que provoca el aumento de la precipitación pluvial. Las circunstancias climatológicas favorecen algunas veces a la cosecha. El clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, comprende toda la zona costera, desde el límite con el estado de Guerrero hasta el límite con el estado de Chiapas, además de otras áreas de menor extensión localizadas de manera discontinua en el norte; en dichos terrenos se reportan las temperaturas medias anuales más altas (entre 26° y 28°C) y la precipitación total anual varía de 800 a 2,000 msnm (*Figura II.3.*)

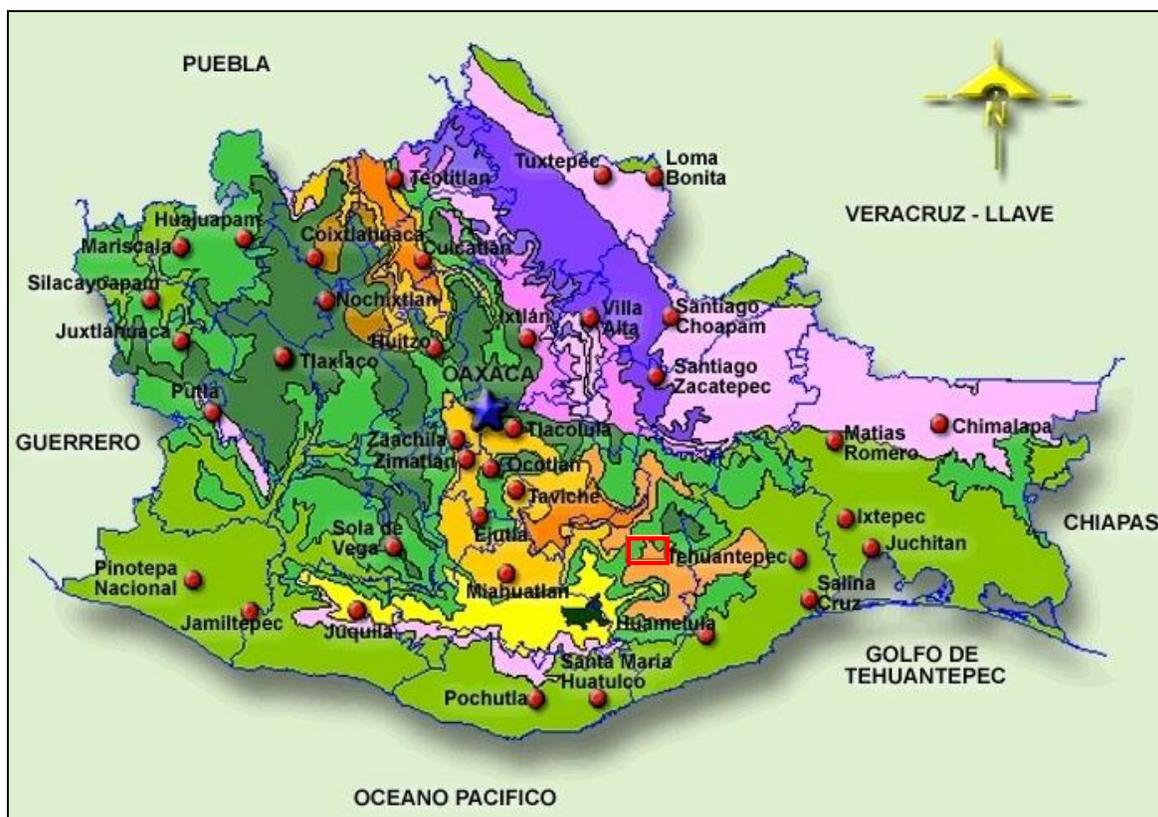


Figura II.3. Mapa de climas de la zona de estudio, estado de Oaxaca (imagen de INEGI, 2012).

II.4. Flora y fauna

La cubierta vegetal en el estado de Oaxaca está formada principalmente por bosques templados y selvas, con una amplia distribución, que en conjunto cubren poco más de tres cuartas partes de la entidad; la porción restante incluye pastizales, zonas para la agricultura y, en menor proporción, otros tipos de vegetación.

Oaxaca es el estado con la mayor biodiversidad del país debido a su ubicación entre los dos grandes bloques que forman el continente americano, lo cual es causa de la accidentada orografía y de la gran variedad de climas y microclimas donde existen un sinnúmero de especies vegetales y animales, muchas de ellas endémicas, es decir, que no existen en alguna otra parte del mundo. Muchas más todavía no están registradas en el medio científico. En cuanto a la vegetación se tiene el registro de:

Plantas comestibles: verdolaga, quintonil, quelite, yerba mora, nopal, miltomate, berro, epazote y huaje.

Árboles: caoba, cedro, granadilla, cuatle, ocote, huanacastle, huaje pinto, encino, pochote, pinos, gavea, tepehuaje, palo liso, laurel y limoncillo.

Frutos: zapote, mango, pitaya, orejón, ciruela, nanches, aguacate, guayaba, guanábana, naranja, mandarina, granada, limas, limón, mamey, tamarindo y plátano.

Plantas medicinales: del cáncer, del negro, cordoncillo, canela, camote de venado, espinosilla, cola de caballo, cuachalalate, palo mulato, mezquite, aguacatillo, ruda, epazote, pirul y guachinala.

Plantas decorativas: carrizo, coateco, cucharilla, laurel, bugambilia, noche buena, tulipán y girasol.

Flores: Flor del campo, flor de mayo, flor de zoobaguio, flor de azucena, flor de quiote, flor de tila, flor de palo de sangre, flor de orquídea y lirios.

Gracias a la abundancia de la fauna, los hombres del campo llevan a cabo en forma fructífera actividades como la cacería de aves y muchas otras especies.

Con respecto a la fauna, se tiene que es muy variado el tipo de especies como los siguientes:

Animales salvajes: venado cola blanca, jabalí, oso hormiguero, mapache, coyote, zorro, zorrillo, gato montés, tigrillo, tejón, conejo, tlacuache, ardilla, puercoespín, armadillo y tortuga.

Animales silvestres: chachalaca, perico, guacamaya, gavián, zopilote, zenzontle, primavera, paloma, pájaro carpintero, ceniztonle, urraca, calandria y tecolote.

Animales domésticos: ganado bovino, chivos, pollos, gallinas, patos, guajolotes, puercos, perros y gatos.

Insectos: arañas, alacranes, avispas, abejas, chapulines, zancudos, moscos, garrapatas.

Especies acuáticas: ranas, sapos, tortugas, anguilas, charales, bagres.

Reptiles: víbora de cascabel, coralillo, boa, escorpión, iguana, lagartijas,

II.5. Actividades económicas

En esta comunidad, la actividad económica más importante es la agricultura. Se produce principalmente maíz, frijol, calabaza, chile, maguey y diversas frutas. En menor escala,

algunos pobladores se dedican a la crianza de ganado porcino, caprino, bovino y aves de corral.

Debido a la falta de ríos o sistemas de riego, la agricultura depende totalmente de la temporada de lluvias; es en esta fecha cuando se aprovecha la humedad para la siembra de productos tales como tomate, miltomate (tomate verde con cascara), cilantro, papaya, caña, coco y diferentes variedades de flores.

Las madres de familia por regular dedican un pequeño espacio de su casa, para la siembra de algunas hortalizas y hierbas que utilizan para la preparación de sus comidas como son epazote, hierba buena, hierba santa, orégano, etc. Otras madres de familia se dedican a vender comida sobre la carretera poniendo sus fondas aprovechando el paso de turistas ya que esa carretera es el paso hacia el Istmo de Thuntepec, Chiapas, Huatulco etc. Por mencionar las más importantes.

Es importante señalar que los poblados de San Juan Lajarcia, El Coyul, Las Minas etc. al no tener terrenos idóneos para la siembra de otros cultivos a gran escala, tradicionalmente se ha cultivado el maguey, mismo que es utilizado para la preparación del mezcal, una bebida típica oaxaqueña. El mezcal del distrito de Yautepec, es uno de los de más calidad debido al proceso artesanal utilizado en su elaboración. En este ramo, debido a la apertura de los mercados nacionales a los productos extranjeros, el mezcal ha perdido su valor económico, ya que no es rentable para los productores locales, por este motivo se ha buscado apoyo para el financiamiento de parte de autoridades gubernamentales para la producción de productos alternativos como la miel.

Algunos pobladores tienen oficios tales como carpintería, albañilería y ganadería. Los carpinteros son dedicados a hacer los muebles que la comunidad demande, debido a que la población es pequeña, el trabajo es poco.

La albañilería es el oficio que más demanda tiene en la actualidad, ya que un gran número de personas trababan en los Estados Unidos y con frecuencia construyen, reconstruyen, pintan y remodelan sus casas.

Los ganaderos son pocos y por lo regular tienen vacas de raza cebú, criollo y algunas suizas.

A continuación se presenta la tabla de las actividades económicas primarias del municipio de San Juan Lajarcia, información presentada por INEGI (información nacional por entidad federativa y municipios 2009).

ECONOMÍA

Actividades primarias	San Juan Lajarcia	Oaxaca
Superficie sembrada total (Hectáreas), 2009	1108	1,383,749
Superficie sembrada de alfalfa verde (Hectáreas), 2009	0	5,223
Superficie sembrada de avena forrajera (Hectáreas), 2009	0	480
Superficie sembrada de chile verde (Hectáreas), 2009	0	2,201
Superficie sembrada de frijol (Hectáreas), 2009	0	42,829
Superficie sembrada de maíz grano (Hectáreas), 2009	423	606,060
Superficie sembrada de pastos (Hectáreas), 2009	315	338,064
Superficie sembrada de sorgo grano (Hectáreas), 2009	0	22,279
Superficie sembrada de tomate rojo (jitomate) (Hectáreas), 2009	0	775
Superficie sembrada de tomate verde (Hectáreas), 2009	0	383
Superficie sembrada de trigo grano (Hectáreas), 2009	0	16,216
Superficie sembrada del resto de cultivos nacionales (Hectáreas), 2009	370	349,241
Superficie cosechada total (Hectáreas), 2009	778	1,185,740
Superficie cosechada de alfalfa verde (Hectáreas), 2009	0	5,223
Superficie cosechada de avena forrajera (Hectáreas), 2009	0	480
Superficie cosechada de chile verde (Hectáreas), 2009	0	2,201
Superficie cosechada de frijol (Hectáreas), 2009	0	36,814
Superficie cosechada de pastos (Hectáreas), 2009	315	327,150
Superficie cosechada de sorgo grano (Hectáreas), 2009	0	22,279
Superficie cosechada de tomate rojo (jitomate) (Hectáreas), 2009	0	775
Superficie cosechada de tomate verde (Hectáreas), 2009	0	383
Superficie cosechada de trigo grano (Hectáreas), 2009	0	11,861
Superficie cosechada del resto de cultivos nacionales (Hectáreas), 2009	40	310,960
Volumen de la producción de alfalfa verde (Toneladas), 2009	0	394,797
Volumen de la producción de avena forrajera (Toneladas), 2009	0	8,986
Volumen de la producción de chile verde (Toneladas), 2009	0	10,258
Volumen de la producción de frijol (Toneladas), 2009	0	24,203
Volumen de la producción de pastos (Toneladas), 2009	7860	8,289,722
Volumen de la producción de sorgo grano (Toneladas), 2009	0	67,613
Volumen de la producción de tomate rojo (jitomate) (Toneladas), 2009	0	27,326
Volumen de la producción de tomate verde (Toneladas), 2009	0	3,769
Volumen de la producción de trigo grano (Toneladas), 2009	0	18,664
Superficie sembrada de temporal (Hectáreas), 2009	1093	1,302,800
Superficie mecanizada (Hectáreas), 2009	No disponible	555,124
Volumen de la producción de carne en canal de ovino (Toneladas), 2009	No disponible	1,656
Volumen de la producción de carne en canal de caprino (Toneladas), 2009	No disponible	4,485
Volumen de la producción de carne en canal de gallináceas (Toneladas), 2009	No disponible	9,014
Volumen de la producción de carne en canal de guajolotes (Toneladas), 2009	No disponible	422
Volumen de la producción de leche de bovino (Miles de litros), 2009	No disponible	146,406
Volumen de la producción de huevo para plato (Toneladas), 2009	No disponible	7,624
Volumen de la producción de miel (Toneladas), 2009	No disponible	3,512
Superficie sembrada de riego (Hectáreas), 2009	15	80,949

Tabla II.1.- Información estadística de economía del municipio de San Juan Lajarcia (INEGI, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2011).

CAPÍTULO III

FISIOGRAFÍA

III.1. Provincia fisiográfica

Parte de cinco provincias fisiográficas pertenecen al estado de Oaxaca: a) **Eje Neovolcánico**, al noroeste con la subprovincia *Sur de Puebla*; b) **Sierra Madre del Sur**, con las subprovincias *Cordillera Costera del Sur*, *Costa de Sur*, *Sierras Orientales* (en donde queda comprendida el área de estudio), *Sierras Centrales de Oaxaca*, *Sierras y Valles de Oaxaca* y *Mixteca Alta*; c) **Llanura Costera del Golfo Sur** con la subprovincia *Llanura Costera Veracruzana*; d) **Sierras de Chiapas y Guatemala** con la subprovincia *Sierras del Norte de Chiapas*; e) **Cordillera Centroamericana**, con la subprovincia *Sierras del Sur de Chiapas* en la parte oriente del estado.

El área estudiada se localiza en el terreno Juárez (Campa, U. M. F. *et al.*, 1983) o Cuicateco (Sedlock, L. R. *et al.*, 1993), queda comprendida dentro de la subprovincia Tierras Altas de Oaxaca, que pertenece a la provincia Sierra Madre del Sur, de acuerdo a la clasificación de Raíz E. (1964) (*Figura III.1.*).

Esta Subprovincia se caracteriza por haber sufrido intensos movimientos que originaron plegamientos los cuales formaron valles intermontanos, entre los que se incluye a la erosión que ha transformado en bloques montañosos y algunos lomeríos redondeados y sierras altas escarpadas que alcanzan elevaciones de 2,600 a 3,100 msnm.

La morfología de la región está representada por el sistema montañoso que se ubica entre las porciones noroccidental y norte del área de estudio, con dirección NE-SW entre las localidades de Santiago Vargas, Las Minas y San Bartolo, sus principales prominencias topográficas son los cerros: Chuparrosa, La Estancia, La Muralla, Los Monos, Lachalias, Guilluna, Las Minas, Nizaguvilla, Campanario, El Calabazo, Piña, Tigre con elevaciones de 700 a 1,600 msnm.

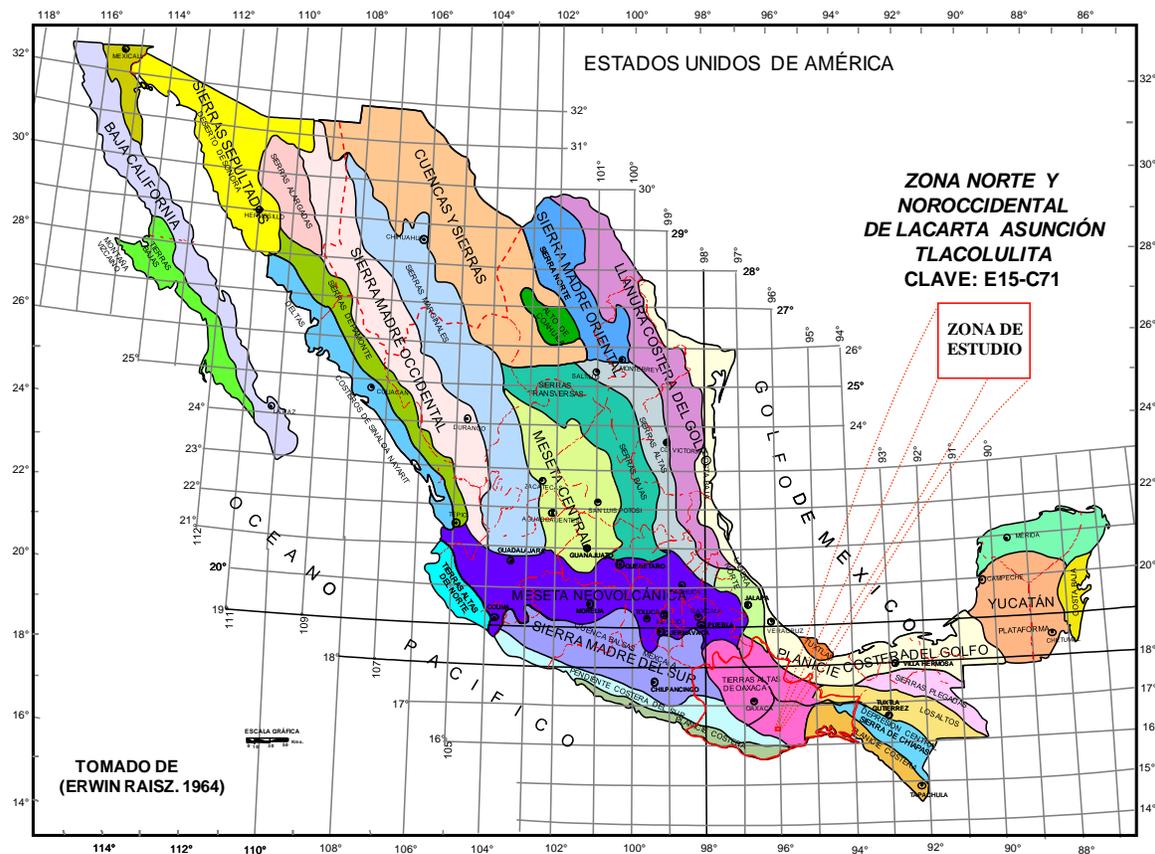


Figura III.1. Mapa de provincias fisiográficas (de Erwin Raisz, 1964).

III.2. Rasgos orográficos

El estado de Oaxaca se caracteriza por tener una accidentada orografía que torna difícil los accesos a las diferentes poblaciones rurales, principalmente en la temporada de lluvias.

En su territorio se encuentran tres grandes sierras, a saber: la Sierra Madre del Sur, que se extiende a lo largo del Pacífico con una longitud de 1,200 kilómetros; la Sierra Madre Oriental; también conocida como Sierra de Oaxaca, con una longitud de 300 kilómetros; y la Sierra Atravesada, que tiene una longitud de 250 kilómetros.

Es de hacer notar que en la Sierra Madre Oriental se encuentran Sierras más pequeñas como la Sierra Mazateca o de Huautla, la de Cuicatlán, la Chinanteca, la de Juárez o de Ixtlán y la Mixe.

Se resalta que en el estado de Oaxaca, se encuentra una parte del llamado Istmo de Tehuantepec, el cual comparte con el estado de Veracruz. Es la zona considerada como la más estrecha porción terrestre que separa al Océano Pacífico del Golfo de México.

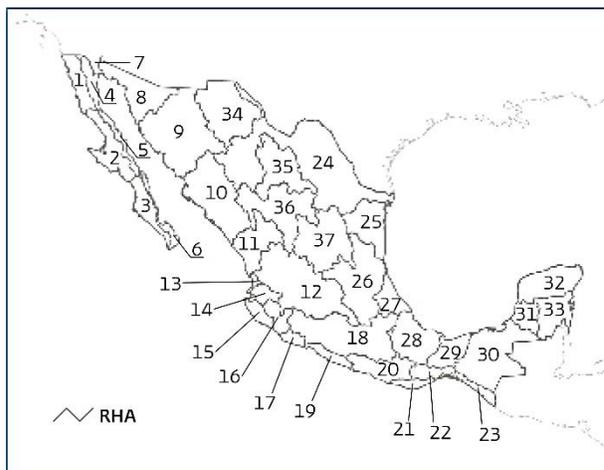
El cerro de La Muralla procedente de los terrenos de San Juan Lajarcia se extiende hacia el sur con una ligera dimensión al poniente y con una curva al sur oeste hasta unirse con el cerro llamado San Bartolo y el del Trapiche. Este es el mismo que el de San Bartolo que corre de norte a oeste y del sur al este y se une con el peñasco que se distribuye hacia el oriente por los terrenos de Tlacolulita; Al oeste está una cordillera procedente de la chixonose y Lajarcia que corre de norte a sur; lo nombran el campanario y forma parte de los ramales que nacen en el elevado cerro del Capulín; dicha cordillera se une a los que se han mencionado y termina al oeste con los terrenos de Tlacolulita.

III.3. Cuencas hidrológicas

La Republica Mexicana está distribuida en cuencas hidrográficas en donde se tienen 314 cuencas hidrológicas en las cuales fluyen los numerosos ríos y arroyos del país. La CONAGUA ha agrupado tales cuencas en 37 regiones hidrológicas con base principalmente en los rasgos orográficos e hidrológicos, de tal manera que cada región se distingue por su relieve y escurrimiento (*Figura III.2.*).

El sistema hidrológico oaxaqueño es tan complicado y extenso como el orográfico, con el cual está muy interrelacionado, y que el sistema montañoso del estado dan origen a una intrincada red de ríos; ésta corre tanto al Golfo de México como al Océano Pacifico.

Oaxaca es uno de los estados con una amplia extensión de territorio, en el cual se encuentran 8 regiones hidrológicas. La región hidrológica que corresponde al área de estudio es la No.22 Tehuantepec que se ubica al centro-este de la entidad con dos cuencas, una de ellas es el río Tehuantepec de 240 km de longitud que se encuentra delimitada al norte por la cuenca hidrológica del río Los Perros, al Sur por la región hidrológica No. 21 Costa de Oaxaca, al este por la cuenca hidrológica del río Los Perros y al oeste por la cuenca hidrológica del río Tequisistlán.



1. B.C. Noroeste	20. Costa Chica de Guerrero
2. B.C. Centro-Oeste	21. Costa de Oaxaca
3. B.C. Suroeste	22. Tehuantepec
4. B.C. Noreste	23. Costa de Chiapas
5. B.C. Centro-Este	24. Bravo-Conchos
6. B.C. Sureste	25. San Fernando-Soto La Marina
7. Río Colorado	26. Pánuco
8. Sonora Norte	27. Norte de Veracruz (Tuxpan-Nautla)
9. Sonora Sur	28. Papaloapan
10. Sinaloa	29. Coatzacoalcos
11. Presidio-San Pedro	30. Grijalva-Usumacinta
12. Lerma-Santiago	31. Yucatán Oeste
13. Río Huicicila	32. Yucatán Norte
14. Río Ameca	33. Yucatán Este
15. Costa de Jalisco	34. Cuencas Cerradas del Norte
16. Armería-Coahuayana	35. Mapimí
17. Costa de Michoacán	36. Nazas-Aguanaval
18. Balsas	37. El Salado
19. Costa Grande de Guerrero	

Figura III.2. Regiones hidrológicas de la República Mexicana (CONAGUA).

También se encuentra la cuenca hidrológica Tequisistlán que lleva el nombre de la corriente que lo forma, la cual inicia su recorrido con dirección noroeste y a 30 km aguas arriba de la ciudad de Santo Domingo Tehuantepec sirve de afluente junto con la corriente del río Tehuantepec a la presa Benito Juárez, la segunda presa más importante en el estado. El río tequisistlán se le denomina en sus principios como río Amarillo, en su tramo medio como río El Carrizal u Otates y aguas abajo en la localidad de Asunción Tlacolulita, recibe el nombre de río Tequisistlán. Este río se encuentra delimitada al Norte por la cuenca

El patrón de drenaje rectangular se encuentra representando por el río Costoche ubicado al sur del área de estudio, con sus arroyos secundarios tales como Cascabel, Iglesia, Naranja, Pajaritos, Las Flores, Nopal, La Sombra, Jazmín, El Chorro, Chinche, El Infierno, Coyote y Tejón.

CAPÍTULO IV

GEOLOGÍA

Con el propósito de integrar una visión general del marco geológico regional, se muestra a continuación una revisión de los terrenos tectonoestratigráficos que componen la Sierra Madre del Sur.

El concepto de terrenos se utiliza para nombrar bloques limitados por fallas que tienen una historia geológica diferente con la de los bloques adyacentes (Coney *et al.*, 1980). La diferencia estratigráfica de cada terreno, registrando una historia geológica diferente, con respecto a los terrenos adyacentes, sugiere que los terrenos se transportaron tectónicamente y se acresionaron, al continente o a un terreno adyacente, después de su formación. Por otro lado, el estudio de las secuencias estratigráficas y de las deformaciones ocurridas en dos terrenos adyacentes, además del análisis estructural de la falla que los limita, pueden ayudar a entender la evolución de dos terrenos después de su amalgamación.

IV.1. Terrenos tectonoestratigráficos del sur de México

La Sierra Madre del Sur ha sido dividida en terrenos tectonoestratigráficos (Campa y Coney, 1983; Sedlock *et al.*, 1993; Dickinson y Lawton, 2001; Keppie, 2004; Centeno-García *et al.*, 2008). Los nombres de algunos terrenos varían según el autor; por ejemplo, al Terreno Oaxaca, se le nombra Zapoteco (Sedlock *et al.*, 1993) y Oaxaquia (Keppie, *op. cit.*, 2004; Centeno-García *et al.*, 2008). El Terreno Juárez de Campa y Coney, (1983), es nombrado como Cuicateco por Sedlock *et al.* (1993) y al Terreno Xolapa le nombran Chatino. El principal desacuerdo entre trabajos está en la ubicación de las subdivisiones del Terreno Guerrero y el límite poniente del Terreno Mixteco, pero en general la mayoría coincide en la presencia y ubicación de los Terrenos Mixteco, Oaxaquia y Juárez en el centro de la Sierra Madre del Sur.

IV.2. Terreno Cuicateco o Juárez

El Terreno Cuicateco (Sedlock *et al.*, 1993) o Juárez (Campa y Coney, 1983) se ubica en el sureste de México, entre los Terrenos Zapoteco y Maya. Es una franja con orientación noroeste-sureste con una longitud mayor a los 230 km y está formada por una secuencia de rocas vulcanosedimentarias con metamorfismo de bajo grado que han sido consideradas hasta ahora como del Jurásico-Cretácico (Carfantan, 1983; Campa y Coney, 1983; Delgado-Argote, 1988; Barboza-Gudiño, 1994; Ángeles-Moreno, 2006).

La asociación litológica del Terreno Cuicateco incluye serpentinitas, leucogranitos, metagranitoides, migmatitas, metalavas y sedimentos vulcanogénicos (Carfantan, 1985; Delgado-Argote, 1989; Ángeles-Moreno, 2006). Las rocas ígneas presentan un comportamiento químico atípico, ya que presentan una tendencia que varía desde un carácter toleítico (Delgado-Argote, 1989) hasta uno alcalino (Ángeles-Moreno, 2006). La edad cretácica de estas rocas ha sido determinada por varios métodos: Delgado-Argote *et al.*, (1992) obtuvieron una edad promedio de 130 Ma (Cretácico Inferior) para hornblendas de una diorita y clinopiroxenita; mientras que Alzaga-Ruiz y Pano (1989) determinaron la edad de sedimentación vulcanoclástica en el intervalo Titoniano-Barremiano con base en microfauna: *Crassicolaria* sp., *Tintinnopsella* sp. y *Lorenzielle* sp. En la región del Istmo de Tehuantepec, Carfantan (1985) planteó que la cuenca Cuicateca sería pre-albiana, al considerar que el depósito de las rocas carbonatadas del Albiano marcó el cese del vulcanismo en la zona.

El metamorfismo y metasomatismo parcial que sufrieron algunas de las rocas del terreno Cuicateco ha sido considerados de origen sintectónico y asociados con un evento transtensional dextral de edad Titoniano-Barremiano (Ángeles-Moreno, 2006) o bien producto de una fase compresiva sub-Herciniana en el Coniaciano (Carfantan, 1985).

La secuencia del terreno Cuicateco define un cinturón de pliegues y cabalgaduras NNO–SSE con vergencia al oriente, cuyo origen se ha atribuido a la Orogenia Laramide durante el Cretácico Tardío-Terciario temprano (Carfantan, 1985; Delgado-Argote, 1989; Barboza-

Gudiño y Schwab, 1996; Ángeles-Moreno, 2006). Los eventos tectónicos más jóvenes están caracterizados por una deformación frágil definida por fallamientos laterales y normales del Eoceno- Mioceno (Carfantan, 1985; Ángeles-Moreno, 2006). Los límites tectónicos que se han establecido para el terreno Cuicateco corresponden a dos estructuras importantes: en el borde occidental, la falla Oaxaca como límite con el terreno Zapoteco, y en el oriente, la falla Vista Hermosa que constituye el límite con el terreno Maya (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1991; Barboza-Gudiño y Schwab, 1996). (*Figura IV.1.*).

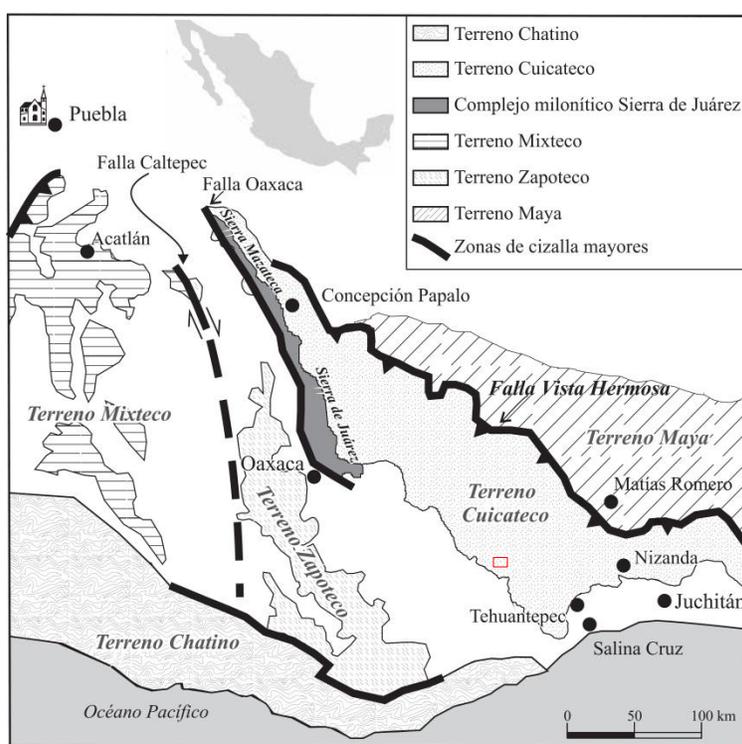


Figura IV.1. Terreno Cuicateco en el sur de México (modificado de Solari *et al.*, 2004).

Las características litológicas, químicas y escasos datos geocronológicos del Terreno Cuicateco han permitido plantear tres hipótesis para explicar el origen y evolución de este Terreno:

1) Una cuenca oceánica marginal pre-albiana, caracterizada por rocas básicas y ultrabásicas con afinidad de piso oceánico, cubiertas por depósitos de clásticos provenientes de

dominios continentales emergidos y de procedencia relacionada a los basamentos de Chiapas y de Oaxaca (Carfantan, 1983,1985).

2) Una cuenca tras-arco o de arco volcánico del Jurásico Superior–Cretácico Inferior relacionada a una serie de cuencas menores con asociaciones de lavas andesíticas, tobas y rocas sedimentarias, en un escenario de zona de subducción hacia el occidente y con una aparente polaridad hacia el oriente (Delgado- Argote, 1989; Ángeles-Moreno, 2006).

3) una secuencia vulcanosedimentaria que se depositó en una cuenca de *rift*, o cuenca *pull-apart* establecida durante el Jurásico Superior al Albiano-Cenomaniano relacionada a un sistema de cizalla lateral izquierda en la margen occidental del Golfo de México (Sedlock *et al.*, 1993; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1994), y/o asociada a un régimen transtensional dextral relativamente contemporáneo (Ángeles-Moreno, 2006).

IV.3.1. Marco geológico regional

La zona de estudio se localiza en el terreno Juárez (Campa y Coney, 1983) o Cuicateco (Sedlock *et al.*, 1993); asimismo, queda comprendida en el Arco Chontal (Carfantan, 1981), compuesto por una serie de rocas metamórficas; Este arco es considerado como el más oriental de los terrenos acrecionados, con características de arco volcánico situados al occidente de México.

En el borde de la cuenca Cuicateca se originaron dos cuencas vulcanosedimentarias, una en la porción poniente (cuenca occidental) y otra al oriente (cuenca ístmica), donde se ubica el Arco Chontal, que se prolonga hacia el norte en la Sierra de Juárez. En este sitio la secuencia vulcanosedimentaria parece desaparecer en los alrededores de Tehuacán (Carfantan, *op. cit.*).

El Arco Chontal consiste de una secuencia vulcanosedimentaria constituida por traquiandesitas, brechas con fragmentos volcánicos, sedimentarios así como un esquisto de

color negro e intercalaciones de calizas en estratos delgados, con metamorfismo de bajo grado; se agrupa en tres unidades denominadas Ecatepec, Huamelula y Astata (Carfantan, 1985).

En el Arco Chontal se pueden diferenciar las unidades metavolcánica, metasedimentaria, un miembro calcáreo y uno conglomerático (Martínez *et al.*, 1999 y Jiménez y Motolinía, 2006). La unidad metavolcánica consiste de metaandesita, traquiandesita y riodacita; la metasedimentaria consta de metaconglomerado, metatoba, metarenisca y filitas, con niveles de metandesita (Martínez, *op cit*).

El miembro calcáreo se encuentra coronando a la secuencia vulcanosedimentaria del Arco Chontal y lo representan estratos delgados a medianos de caliza de edad Cretácico (Neocomiano). El miembro conglomerático está constituido por clastos de caliza y andesita principalmente.

La secuencia del Arco Chontal se habría acumulado en una cuenca oceánica marginal, entre un arco insular ubicado al occidente y el borde oriental del bloque continental. Esta cuenca se unía hacia el sur con la cuenca de Tehuacán-Istmo de Tehuantepec (Martínez, *op cit*).

La cubierta del Arco Chontal está representada por calizas y dolomías pertenecientes a la Formación Teposcolula, la sobreyacen en concordancia la Formación Yucunama, compuesta por calizas y lutitas.

La Formación Teposcolula y la Yucunama no se encuentran aflorando en el área de estudio, pero se correlacionan con la unidad Metacaliza (Kapa MCz).

IV.3.1 Formación Teposcolula

El Arco Chontal está cubierto discordantemente por la Formación Teposcolula, cuyo nombre original fue Caliza Teposcolula, dado por Salas (1949), quien las consideró del

Jurásico Superior; posteriormente, López (1969), rectifica su edad para el Cretácico Medio, con la aclaración que Hisazumi (1932), ya había descrito a esta unidad como del Cretácico Medio.

Erben (1956) describió a la Formación Teposcolula en la sierra de Petlalcingo y la menciona como calizas Petlalcingo Inferior y calizas Petlalcingo Superior; le asigna un intervalo de edad entre el Cenomaniano y el Turoniano. Ferrusquía (1976), le da un intervalo de edad entre el Albiano al Coniaciano. Quezada (1979), le asignó un intervalo de edad de Albiano Superior y el Turoniano.

Martínez *et al.*, (1999) las describen al suroccidente de la falla Tehuantepec, como una secuencia de caliza y dolomía con nódulos y bandas de pedernal, en estratos gruesos a masivos, con amonitas, bivalvos, fragmentos de moluscos, espículas de erizos, equinodermos, gasterópodos, pelecípodos y ostrácodos. Jiménez y Motolinía (2006), en la carta de Santa María Jalapa del Marqués, mencionan que se presenta en paquetes masivos parcialmente marmolizados y con niveles de brecha calcárea, de edad Albiano-Cenomaniano.

IV.3.2. Formación Yucunama

La Formación Yucunama fue propuesta de manera informal por González (1969), quien describe una secuencia calcárea terrígena, de marga y caliza de aspecto conglomerático de edad Campaniano-Maastrichtiano; ubica su localidad tipo en las inmediaciones del poblado de Yucunama, Oaxaca. Posteriormente Ferrusquía (1999) la define de manera formal.

Martínez *et al.*, (1999) describe a la Formación Yucunama como una secuencia calcárea arcillosa compuesta por limolita micácea, marga, caliza nodular y arcillosa de estratificación laminar a delgada, limolita con cristales retrabajados de mica. Esta unidad se observa muy plegada, con un espesor aproximado de 450 m.

Esta formación tiene un intervalo entre el Turoniano-Maastrichtiano de acuerdo a la fauna: *Pithonella ovalis*, *Calcisphaerula innominata*, *Heterohelix noremani* y *Dicarinella sp.* Quezada (1979), le asigna una edad Turoniano-Santoniano con base en los siguientes microfósiles: *Calcisphaerula inominata*, *Pithonella Ovalis*, *Globigerinolloides sp.* *Hetrohelix sp.*, *Marginotruncana sp.*, *Hedbergella sp.*

IV.3.3. Terciario

Para el Terciario se tiene la unidad de limolita-conglomerado polimíctico de edad Paleoceno-Eoceno, sin embargo, en trabajos anteriores realizados por Ojeda (1966); INEGI (1984); Ortuño, A. *et al.*, 1985 y Ortega, G. F *et al.*, 1992, fue considerada como capas o lechos rojos de la Formación Todos Santos y le asignaron una edad Jurásico Medio.

Sobreyace discordantemente a la secuencia metavolcánica del Arco Chontal y subyace a toba andesítica y andesita de la Formación Laollaga

Se correlaciona en edad con la Formación Yanhuatlán de edad Paleoceno tardío-Eoceno de la cuenca Tlaxiaco en la zona de la mixteca Oaxaqueña (Ferrusquia, 1976), así como con la Formación El Bosque del Eoceno temprano en la región de Ixtapa, Chiapas (Ferrusquia, 1999 y Jiménez y Motolinía, *op. cit.*). El ambiente de depósito es netamente fluvial con cierta predominancia de facies de baja energía (planicies de inundación y charcas).

IV.3.4. Formación Laollaga

El magmatismo de la Sierra Madre del Sur está representado en la región del Istmo por toba andesítica-dacítica, andesita, brecha volcánica, caliza lacustre y arenisca tobácea, de la Formación Laollaga y por cuerpos intrusivos de granito-granodiorita del Mioceno.

González (1969) define la Formación Laollaga como una secuencia de toba, ceniza y

brecha volcánica finamente estratificadas, con esporádicos cuerpos de caliza lacustre y emisiones riolíticas incluidas, determina como localidad tipo los afloramientos expuestos en el camino La Primavera–Laollaga y le da una edad Mioceno. Mientras que Martínez *et al.* (1999) la describen como un paquete de rocas volcánicas ácidas e intermedias, tales como: dacita, pórfido dacítico, riolita, andesita, pórfido andesítico y traquiandesita. Jiménez y Motolinía (2006), la definen como una secuencia de toba andesítica, toba dacítica, andesita, riolita, dacita, arenisca volcánica, limolita, pórfido riolítico y dacítico. El espesor mínimo dado por Ferrusquía (1999), es de 1600 m.

IV.3.5. Rocas Intrusivas

Martínez *et al.*, (1999) reportan en el área de San Miguel Ecatepec una roca granítica de muscovita y augita, que afecta a calizas del Cretácico Inferior y a rocas del Arco Chontal y le asignan una edad Cretácico Superior, así como a la granodiorita que aflora en los alrededores de Jalapa del Marqués (Ojeda, 1964, en Martínez *op. cit.*).

Con relación a rocas ígneas intrusivas, en el área de Guelatao, Ham (1982), menciona la presencia de rocas que gradúan de plutónicas a hipabisales. García (1982), cita que aflora granito, granodiorita de biotita, pórfidos tonalíticos, diques y cuellos volcánicos.

Martínez *et al.*, (1999) y Jiménez y Motolinía (2006) definieron la presencia de rocas intrusivas representadas por granodiorita de biotita y hornblenda, así como cuerpos hipabisales andesíticos de edad Mioceno. García *op. cit.*, reporta edades de 20.1 Ma (Mioceno), los correlacionan con los troncos graníticos de la costa del Pacífico ocasionados por la migración del bloque Chortis.

El magmatismo terciario (granitos-granodiorita) es producto del paso hacia el sureste del punto triple trinchera-trinchera-transformante que acompañó al desplazamiento del bloque Chortis, lo que ocasionó el truncamiento de la margen continental del sur de México (Morán *et al.*, 2000.). Como consecuencia, en el Mioceno medio, se llevó a cabo un

régimen tensional, acompañado por una intensa actividad volcánica representada por una secuencia piroclástica, intermedia a félsica de gran diversidad textural y el emplazamiento de cuerpos hipabisales de composición intermedia a máfica (Ferrusquía, 1999).

Los depósitos minerales presentes en la porción norte de la carta Asunción Tlacolulita E15-C71, en las minas Santa Margarita y La Azucena son cuerpos de forma irregular y mantos (Sánchez, 1986); mientras que Castro y Arreola (2000), los describen de forma tabular (vetas) de tipo hidrotermal.

IV.3.6. Geología estructural

Estructuralmente la región se encuentra afectada por esfuerzos compresionales producidos por la orogenia Laramide durante el Cretácico Superior-Terciario inferior y su posterior relajación relacionada con eventos extensivos del Terciario (Morán *et al.*, 2005).

La deformación dúctil-frágil se refleja principalmente en las secuencias cretácicas, en donde se formaron pliegues simétricos y asimétricos observados en rocas de la Formación Teposcolula y Yucunama.

Desde el punto de vista tectónico, entre el Jurásico Superior y Cretácico Inferior, se tiene el desarrollo de la cuenca Cuicateca, producto de una tectónica extensiva (rifting) asociada a la apertura del Golfo de México (Carfantan, 1981), o relacionada como consecuencia de una falla transformante que corre en la margen oeste del Macizo de Chiapas (Sedlock, 1993).

En el Cretácico Superior con el desarrollo de la orogenia Laramide que finalizó en el Terciario inferior se tuvo el origen de pliegues oblicuos y cizallamientos (Carfantan, *op. cit.*). Otro evento de deformación progresiva por acortamiento, con dirección de transporte predominante de este-noreste, provocó plegamiento y cabalgamiento de las secuencias marinas del Mesozoico y anteriores (Morán *et al.*, 2005).

Posterior al estiramiento que generó el desplazamiento del bloque de Chortis y el plegamiento que produjo la orogenia Laramide, se desarrolló un engrosamiento cortical, el cual produjo una violenta regresión y posteriormente un ajuste estructural que dio lugar a una tectónica distensiva que originó los rasgos de carácter regional y local; esto propició una gran erosión y depósito de facies molásicas como limolita, arenisca y conglomerado polimíctico, durante el Paleoceno y Eoceno (Morán *et al.*, 2000).

IV.4. Geología local

IV.4.1. Subterreno Arco Chontal

Su distribución va de Tehuacán al norte, donde se pierde al quedar cubierto por la Franja Volcánica Transmexicana, hasta el sur en la región del Istmo de Tehuantepec.

Las unidades litoestratigráficas de este elemento son: metavolcánica, metasedimentaria y metacaliza con edades del Jurásico Superior al Albiano.

IV.4.1.1. Unidad Metavolcánica (Js (?) MV)

Fue descrita inicialmente por Carfantan, (1981, 1983 y 1985), conformada por derrames andesíticos algunos con estructura en almohadilla, posteriormente, Martínez y Mendoza, (2006); Loaeza y Fitz, (2006) en las cartas Ciudad Ixtepec y Santo Domingo Tehuantepec respectivamente, mencionan que está constituida por metaandesita y metatoba de composición andesítica.

Se encuentra expuesta en las porciones norte y nororiental y oriental del área de estudio, y otro pequeño afloramiento en la parte central de la carta Asunción Tlacolulita E15-C71.

Sección cerro Las Minas.- Se localiza en la porción norte y noreste de la zona de estudio, al noreste del poblado Las Minas, en las coordenadas UTM 15Q 190,600E - 1,825,200N y 191,450E - 1,824,538N, la metaandesita es de color verde al fresco que intemperiza en tonos castaño y amarillo rojizo, con textura lepidoblástica y estructura masiva, constituida por plagioclasa, hornblenda alterada, clorita y sericita, con vetillas de calcita y cuarzo, con fuerte fracturamiento; la metatoba es de color verde y gris que intemperiza en tonos marrón y castaño, con textura lepidoblástica y estructura foliada, constituida por plagioclasa, sericita y cuarzo, con fuerte fracturamiento con vetillas de cuarzo y calcita (**Fotografía IV.1.**).



Fotografía IV.1. Metaandesita masiva con vetillas de calcita y cuarzo, al noreste del poblado Las Minas.

Sección Las Minas.- Se ubica en el sector norte del área estudiada, al noreste del poblado Asunción Tlacolulita, en las coordenadas UTM 15Q 192,396E - 1,826,168N y 194,460E - 1,821,812N aflora metaandesita y metatoba; la metaandesita de color verde en superficie fresca que intemperiza a tonos gris oscuro y castaño, con textura lepidoblástica y estructura foliada, constituida por plagioclasa, clorita y epidota, con vetillas de calcita y lentes de cuarzo de segregación, con fuerte fracturamiento; la metatoba es de color verde y gris que intemperiza en tonos marrón y castaño, con textura lepidoblástica y estructura foliada, constituida por plagioclasa, sericita y cuarzo, con fuerte fracturamiento con vetillas de calcita (**Fotografía IV.2.**).

El espesor medido para la unidad metavolcánica es de 650 m, de acuerdo al desnivel que existe entre el arroyo Las Palmas y el cerro Las Minas en las inmediaciones del poblado de Las Minas.



Fotografía IV.2. Metatoba andesítica con fuerte fracturamiento y vetillas de calcita, al noreste del poblado Las Minas.

En las cercanías de San Pedro Huamelula, Carfantán, (1981, 1983 y 1985) le asigna una edad Tithoniano-Neocomiano con base en la presencia de lentes calcáreas, y por los fragmentos de rudistas contenidos en mármoles de la secuencia, con Caprotínidos del género *Caprotina*, los que determinan una edad Neocomiano-Turoniano, o *Pochytriaga* del Cretácico temprano.

Se correlaciona con la secuencia de arco del subterreno Teloloapan (terreno Guerrero) localizado en la región de Teloloapan, estado de Guerrero.

El ambiente de depósito de esta unidad está asociado con la evolución de un arco insular.

Esta unidad se relaciona con las estructuras en forma de manto y pequeñas zonas de oxidación.

IV.4.1.2. Unidad Metasedimentaria (Knap MS)

Esta unidad fue descrita por Carfantan, (1981, 1983 y 1985), como una secuencia constituida por metalutita y metaarenisca, con cuerpos de metaconglomerado, posteriormente Martínez y Mendoza (2006), mencionan que está compuesta por filita y metaarenisca con lentes de metacaliza; Loaeza y Fitz (2006), la consideraron constituida por metalutita y metaarenisca.

Aflora principalmente en la porción suroccidental de la zona de estudio.

Está constituida por filita, metalutita, metaarenisca y pizarra.

Sección arroyo San Bartolo.- Se localiza en la porción suroccidental del área estudiada, al oeste y noroeste del poblado de San Bartolo Yautepec, entre las coordenadas UTM 15Q 180,915E - 1,819,698N y 181,634E - 1,819,052N, y se observaron metalutita con lentes de metaarenisca y metacaliza. La metalutita es de color gris al fresco que intemperiza en tono gris oscuro y marrón, con textura lepidoblástica y estructura foliada, constituida por sericita y cuarzo, con lentes de cuarzo de segregación, fuertemente fracturada y desarrollo de pliegues kink-band; los lentes de metaarenisca son de color gris al fresco e intemperiza en tonos marrón y gris oscuro, con textura nematoblástica y estructura foliada, constituida por cuarzo, feldespatos y sericita, con vetillas de calcita y cuarzo de segregación, con moderado fracturamiento; la metacaliza es de color gris que intemperiza en tonos marrón y gris oscuro, con textura lepidoblástica y estructura foliada y bandeada, constituida por calcita, con lentes de pedernal y moderado fracturamiento (*Fotografía IV.3.*).

El espesor medido en el presente trabajo es de 400 m, si se considera el desnivel que existe entre el arroyo San. Bartolo y el cerro San Bartolo en la porción occidental del área de estudio.

Se correlaciona con rocas de la secuencia vulcanosedimentaria del subterreno Teloloapan perteneciente al Terreno Guerrero, localizado en la región de Teloloapan, Gro.



Fotografía IV.3. Metalutita con lentes de metaarenisca, al noroeste del poblado San Bartolo Yautepec.

En la región del Istmo no se encontraron fósiles en esta unidad, pero en su prolongación noroccidental, a lo largo de la carretera Oaxaca-Ixtlán de Juárez, aflora una secuencia con las mismas características petrográficas y metamórficas compuesta por pizarras negras, intercaladas con tobas y grauvacas sericíticas, las que proporcionaron polen del género *Classopulis* (*Pflug*) (Dr. E. Martínez, comunicación escrita del 15- III-79 en Carfantán, (1981), con un alcance estratigráfico desde el Jurásico hasta el Terciario temprano y es más abundante en el Cretácico temprano. En la misma región cerca de San Matías, se tiene caliza micrítica negra intercalada con esquisto negro y con los fósiles *Tintinopsella* cf. *T. oblonga*, *Microcalamoides diversus*, *Calpionellopsis simplex*, *C. oblonga*, así como radiolarios calcificados y globigerináceos (M. R. Palacios-Fest, comunicación escrita del 16-XI-79, en Carfantán, *op. cit.* 1981), con la presencia de *Calpionellopsis oblonga* se determina una edad de Berriasiano-Valanginiano.

La edad que se tiene para esta secuencia es reportado por Vila, (1973), en Carfantán, (1981), donde menciona el fechamiento de minerales filíticos, por el método K-Ar, y proporcionaron una edad de 82.5 Ma (Campaniano) que puede corresponder a la edad de metamorfismo.

El ambiente de depósito de esta unidad, está asociado con la evolución de un arco insular.

En esta unidad no se encontraron relaciones geológico-mineras, con algún tipo de yacimientos minerales.

IV.4.1.3. Unidad Metacaliza (Kapa MCz)

Esta unidad fue definida en Martínez y Mendoza (2006); Loeza y Fitz (2006), como metacaliza; aflora principalmente en las porciones nororiental, oriental y suroccidental de la zona de estudio.

Se constituye principalmente de metacaliza bandeada y foliada, en ocasiones con lentes de pedernal, en espesores finos a medianos como desarrollo de plegamiento de moderado a intenso.

Sección cerro Las Minas 2.- Se ubica en la porción norte de la carta, al noroeste del poblado Las Minas, en las coordenadas UTM 15Q 192,631E - 1,822,843N y 192,706E - 1,822,286N, aflora una caliza de color gris y blanco que intemperiza en tonos gris claro y marrón, con textura lepidoblástica y estructura foliada, constituida por calcita, con lentes de pedernal, vetillas de calcita, y moderado a fuerte fracturamiento (***Fotografía IV.4.***).



Fotografía IV.4. Metacaliza con desarrollo de bandeamiento, al sureste del poblado Las Minas.

El espesor que se reporta para este trabajo es de 1100 m, con base en el desnivel topográfico que presenta el arroyo Mapache y el cerro Señorita en la porción sur de la carta Asunción Tlacolulita.

Sobreyace discordantemente a las unidades metavocánicas y de forma concordante y transicional, a la unidad metasedimentaria y es intrusionada por la unidad granito-granodiorita.

Un estudio paleontológico realizado en la Universidad de Nuevo León,, campus Linares, Nuevo León, a una muestra colectada sobre la carretera transístmica en el tramo Ixtaltepec-Mazahua, reportó biomicrita, tipo mudstone a wackestone, con alto contenido de óxidos de hierro y con cristales de dolomita, contiene bioclastos de moluscos y ostrácodos (Martínez *et al.*, 1999). Los fósiles identificados fueron *Calpionosella Maldonadoi*, *Microcalamoides diversus*, *Colomiella recta* y *Pithonella ovalis*, que en conjunto sugieren una edad Albiano temprano-medio, pero algunos autores le dan un alcance desde el Aptiano (Martínez *et al.*, *op. cit.*).

Se correlaciona con rocas carbonatadas de las formaciones Amatepec y Teloloapan en el estado de Guerrero, con base a las características litológicas y la presencia de fauna que presenta, se considera que se depositó en un ambiente de plataforma somera.

En esta unidad se emplazan las vetas de cuarzo de tipo hidrotermal, con mineralización de hematita, limonita, calcopirita, esfalerita existentes de la mina La Azucena.

IV.4.2. Depósitos sedimentarios terciarios

Estos depósitos son el resultado de la erosión que se llevó a cabo debido a la deformación que originó la Orogenia Laramide, los cuales rellenan fosas y pilares.

IV.4.2.1. Limolita-Conglomerado polimíctico (T_{pae} Lm-Cgp)

Fue propuesta de manera informal por Ferrusquía (1999), como Filarenita Guichixú en las cercanías del poblado de Santiago Laollaga. Ortuño y Ruiz (1985), en las cercanías del poblado Laollaga, lo describe como conglomerado Las Tejas de edad Eoceno-Oligoceno. Por otra parte, Martínez *et al.*, (1999), en la carta Juchitán, y Jiménez Motolinía (2006), en la carta Santa María Jalapa del Marqués, la describen como conglomerado polimíctico-arenisca con niveles de arenisca conglomerática y la consideran de edad Paleoceno-Eoceno, el espesor estimado para esta unidad es de 400 a 500 m (Ferrusquia, 1999). Islas *et al.* (2006); Martínez y Mendoza (2006), la describieron como Limolita-Conglomerado polimíctico con intercalaciones de arenisca, de estructura estratificada masiva, con moderado a fuerte fracturamiento.

Aflora principalmente en las porciones nororiental, oriental suroriental y suroccidental, y en menor proporción en la parte central del área de estudio.

Está constituida por una secuencia clástica de limolita, arenisca y conglomerado polimíctico.

Afloramiento río Hondo.- Se localiza en la porción noreste de la zona de estudio, al noreste del poblado de Santa María Asunción Lachixonase, en las coordenadas UTM 15Q 197,372E - 1,825,996N, aflora limolita, arenisca y conglomerado polimíctico; la limolita es de color marrón en corte fresco e intemperiza a tono marrón oscuro y morado, con textura clástica y estructura en capas de 1 a 30 cm de espesor, constituida por limo, arcilla y cuarzo, de moderada a fuertemente deleznable; la arenisca es de color marrón y morado claro en corte fresco e intemperiza a tono morado y marrón oscuro, con textura epiclástica y estructura en capas de 4 a 60 cm de espesor, constituida por feldespatos y cuarzo, contenidos en una matriz arcillosa, con vetillas de calcita y moderado fracturamiento; el conglomerado polimíctico es de color marrón, que intemperiza en tonos morado y castaño rojizo, con textura epiclástica y estructura en capas de 10 cm a 1.50 m de espesor, constituido por clastos subredondeados a redondeados de 1 a 8 cm de diámetro de metaandesita,

metacaliza, metaarenisca, filita, cuarzo y pedernal, soportados por una matriz arcillo-arenosa, con moderado fracturamiento y medianamente deleznable (*Fotografía IV.5.*).



Fotografía IV.5. Limolita, conglomerado polimíctico y arenisca, expuestas al noreste del poblado Santa María Asunción Lachixonase.

El espesor estimado en el presente estudio es de 580 m. Ferrusquía (1999), en la región de Laollaga, cerca de Las Tres Cruces, reportó 250 m, Islas *et al.*, *op. cit.*, le dieron 340 m; Jiménez y Motolinía, *op. cit.*, midieron 350 m; Martínez y Mendoza, *op. cit.*, estimaron 400 m.

Sobreyace de manera discordante a las unidades metavolcánica y metasedimentaria del Arco Chontal, es sobreyacida a su vez por la unidad toba andesítica-toba dacítica (*Fotografía IV.6.*). En las coordenadas UTM 15Q 201,195E - 1,819,844N, se tiene un contacto discordante entre conglomerado polimíctico y toba lítica andesítica, con fuerte fracturamiento.

El ambiente de depósito de esta unidad es de tipo fluvial, incluido en todo el espectro sedimentológico con facies de baja energía (planicies de inundación y charcas) la presencia de micrita, calcita espática y microespatita, indican que la sedimentación ocurrió en un ambiente marino somero o transicional de baja energía, una laguna costera, lo que implicaba que la red fluvial que drenaba en el área, descargara en el litoral parte de sus sedimentos (Ferrusquía, *op. cit.*).



Fotografía IV.6. Contacto discordante entre el conglomerado polimíctico y toba andesítica, al noreste del poblado Santa María Asunción Lachixonase.

Se correlaciona con las formaciones Balsas (cuenca Morelos-Guerrero), Tamazulapan (cuenca Tlaxiaco), Yanhuitlán del Paleoceno tardío-Eoceno temprano en el estado de Oaxaca y El Bosque del Eoceno temprano (cuenca Chiapaneca) Ferrusquía (1999).

La unidad presenta algunas vetas de cuarzo de tipo hidrotermal, sin interés económico.

IV.4.3. Magmatismo de la Sierra Madre del Sur

El vulcanismo de la Sierra madre del Sur está representado por la unidad toba andesítica-toba dacítica y toba riolítica de edad Mioceno, mientras que el plutonismo lo conforman intrusivos de composición granito-granodiorita, así como por cuerpos hipabisales de composición andesítica.

IV.4.3.1. Toba andesítica-Toba dacítica (Tm TA-TDa)

Fue propuesto por González (1969), para definir a una secuencia de tobas, cenizas y brechas volcánicas finamente estratificadas con esporádicos cuerpos de caliza lacustre y emisiones riolíticas incluidas, tienen como localidad tipo los afloramientos expuestos en el

camino La Primavera–Laollaga. Posteriormente Ferrusquía (1999), en la región de Santiago Laollaga, la define como Formación Laollaga.

Esta unidad se distribuye ampliamente en casi toda la zona de estudio.

Consiste principalmente de toba andesítica, toba dacítica, andesita y toba lítica andesítica.

Sección arroyo Palmar-río Lima.- Se localiza entre las porciones norte de la zona de estudio, al sur del poblado Las Minas, entre las coordenadas UTM 15Q 189,937E - 1,824,960N y 195,260E - 1,813,649N, afloran toba lítica andesítica, toba dacítica, toba andesítica y andesita. La toba lítica andesítica es de color gris y verde al fresco que intemperiza en tonos castaño, marrón y gris oscuro, con textura piroclástica y estructura en pseudoestratos de 2 a 40 cm de espesor, constituida por plagioclasa, hornblenda y fragmentos angulosos de andesita de 1 a 8 cm de diámetro, con fuerte fracturamiento; la toba dacítica es de color gris y rosa claro, que intemperiza en tonos marrón y gris oscuro, con textura piroclástica y estructura en pseudoestratos de 5 a 60 cm de espesor a masiva, constituida por plagioclasa, cuarzo, biotita y esporádicos fragmentos angulosos de andesita de 1 mm a 1.5 cm de diámetro, soportados por una matriz microcristalina; la andesita es de color verde y marrón al fresco, que intemperiza en tonos castaño rojizo y amarillento, con textura porfídica y estructura masiva, constituida por plagioclasa y hornblenda, soportados por una matriz cristalina, con amígdalas rellenas por cuarzo, con fuerte fracturamiento; la toba andesítica es de color verde que intemperiza en tonos gris y marrón, con textura piroclástica y estructura masiva, constituida por plagioclasa, cuarzo y celadonita, soportados por una matriz microcristalina, con fuerte fracturamiento (**Fotografía IV.7.**).

En el presente estudio se determinó un espesor de 1450 m, de acuerdo al desnivel que existe entre el cerro Laguna y el arroyo Los Naranjos en la parte oriental de la carta Asunción Tlacolulita.

Ferrusquía (1999), estimó un espesor de 1600 m en la región de Santiago Laollaga. Islas *et al.* (2006) reportaron un espesor promedio de 840 m, Jiménez y Motolinía (2006), estimaron 850 m; Martínez y Mendoza (2006), midieron 1500 m.



Fotografía IV.7. Toba dacítica en pseudoestratos medianos a gruesos, con fracturamiento moderado, al sur del poblado Las Minas.

Sobreyace discordantemente a la unidad metavolcánica y limolita-conglomerado polimíctico y es intrusionada por la unidad granito-granodiorita.

La edad de esta unidad fue determinada por paleontología y geocronología mediante el método K-Ar. La primera fue reportada por Ojeda (1964), sobre el hallazgo de restos óseos referidos al équido *Merychippus* sp., en el área de Nejapa de Madero, realizado por Stirton (1954), le asignó una edad Mioceno Medio-Mioceno Tardío.

La segunda fue realizada en una toba dacítica colectada en el km 39.8 de la carretera Santiago Laollaga-Santa María Guenagati, practicada en plagioclasa y biotita, reportó edades de 14.74 ± 0.23 y 13.46 ± 0.32 respectivamente, otro a una toba riodacítica, colectada en el km 49.9 de la carretera Santiago Laollaga-Santa María Guenagati, con el mismo método se aplicó a una plagioclasa que arrojó una edad de 16.92 ± 0.32 ; edades que corresponden al Mioceno medio-Mioceno tardío, (Ferrusquía, 1999). Se correlaciona con la Formación Suchilquitongo del valle de Oaxaca.

Las características texturales y composicionales de esta unidad indican un origen piroclástico de erupciones de intensidad media a partir de un magma intermedio a silíceo (Ferrusquía, *op. cit.*).

En esta unidad se encuentran asociadas algunas zonas de alteración de bajo interés económicos como son: La Asunción (sobre carretera a 900 m del puerto San Bartolo) y San Bartolo 2 (sobre carretera), ubicadas en la inmediaciones del cerro Las Minas

IV.4.3.2. Riolita-Toba riolítica (Tm R-TR)

Esta unidad fue descrita por Martínez *et al.*, (1999), como cuerpos subvolcánicos y flujos; posteriormente fue descrita por Martínez y Mendoza (2006), quienes la determinaron como cuerpos subvolcánicos y emisiones de composición riolítica.

Su litología consiste de riolita en forma de cuerpos subvolcánicos, derrames y tobas.

Afloramiento cerro Campanario.- Se ubica en la porción noroccidental de la carta, a 3.3 km al noreste del poblado San Bartolo Yautepec, en las coordenadas UTM 15Q 185,758E - 1,818,592N, aflora toba riolítica de color verde claro que intemperiza en tonos amarillo, rojizo y castaño, con textura piroclástica y estructura masiva, constituida por plagioclasa, biotita, cuarzo y fragmentos angulosos de andesita de 3 mm a 5 cm de diámetro, en una matriz cristalina, con moderado fracturamiento y ligeramente deleznable (*Fotografía IV.8.*).



Fotografía IV.8. Toba riolítica de estructura masiva, a 3 km al este del poblado de San Bartolo Yautepec.

El espesor medido en esta unidad es de 240 m, de acuerdo al desnivel que existe entre el cerro Ocotepec y el arroyo Las Majas.

Sobreyace a la unidad de toba andesítica-toba dacítica.

Sus relaciones estratigráficas son de intrusión con las demás unidades, así como en forma de flujos.

La edad de esta unidad no se conoce, pero por la posición estratigráfica que guarda con la unidad Toba andesítica-Toba dacítica se le asignó una edad Mioceno superior.

Su emplazamiento está asociado a zonas de debilidad estructural como fallas y fracturas, durante la evolución del vulcanismo y magmatismo de la Sierra Madre del Sur.

No presenta relaciones geológico mineras con ningún tipo de yacimiento mineral.

IV.4.3.3. Granito-Granodiorita (Tm Gr-Gd)

García (1982) definió como granito y granodiorita de biotita, pórfido tonalíticos y microtonalíticos, diques y cuellos en el área de Lachiguirí. Posteriormente, Jiménez y Motolinía (2006), lo describen como granito, granodiorita, diorita, microgranito y monzonita.

Presenta afloramientos pequeños no cartografiables en las porciones nororiental y pequeños afloramientos en la porción norte de la carta. Su litología consiste principalmente de granodiorita.

Esta unidad se considera como la generadora de la mineralización de las minas La Santa Margarita y La Azucena, las que presentan vetas mineralizadas con esfalerita, azurita, espeularita, pirita, hematita, limonita y galena.

IV.5. Estratigrafía

La columna estratigráfica de la zona de estudio está compuesta por rocas del Terreno Juárez (Campa y Coney, 1983) o Cuicateco (Sedlock *et al.*, 1993), así como dentro del subterreno Arco Chontal, representadas por varias unidades como metavolcánica, metasedimentaria y metacaliza, de edad Jurásico Superior-Cretácico Inferior; depósitos clásticos de edad Paleoceno-Eoceno, rocas volcánicas e intrusivas del Mioceno y depósitos sedimentarios del Pleistoceno y Holoceno (*Figura IV.2., Figura IV.3.*).

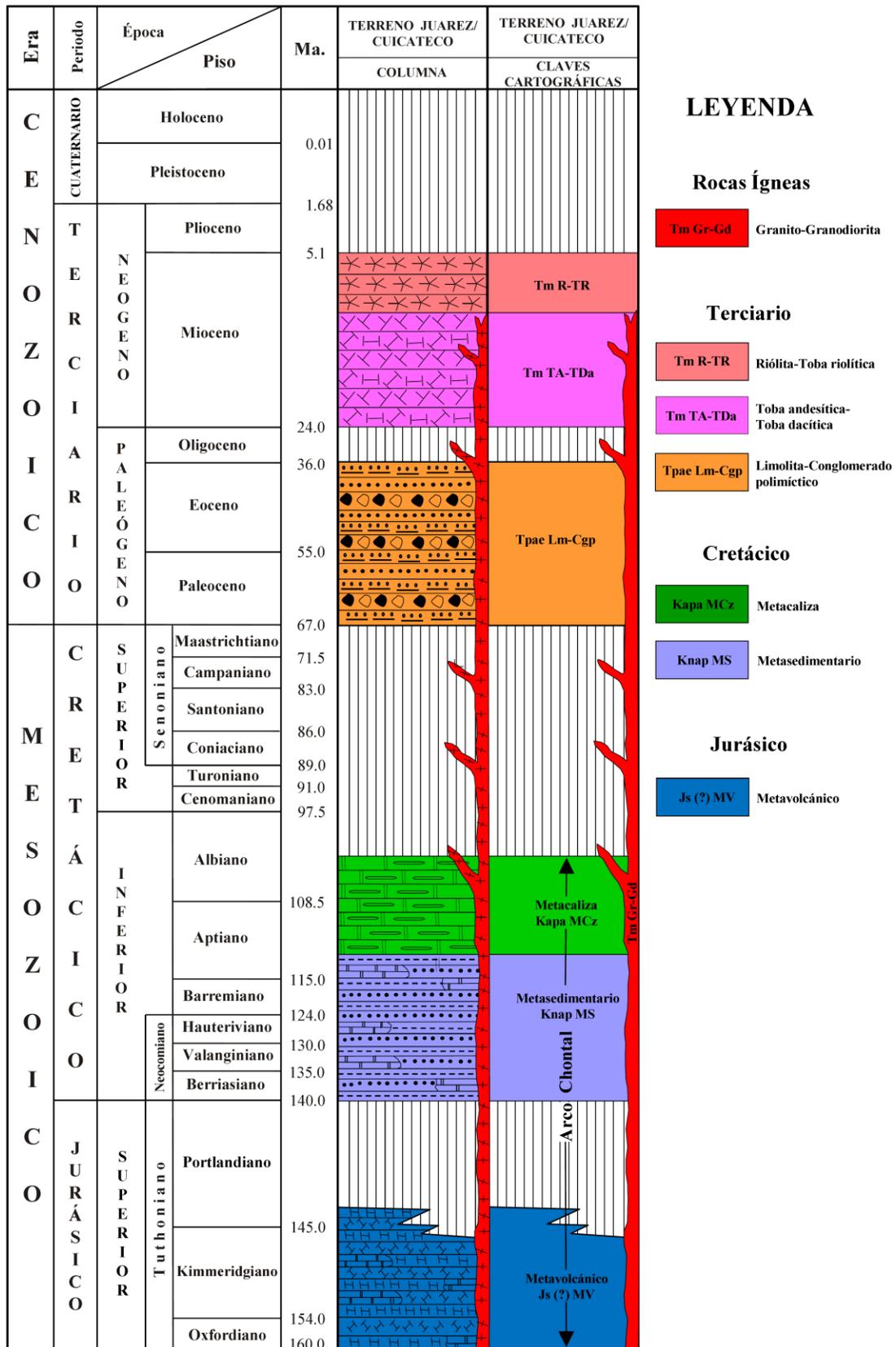


Figura IV.2. Columna estratigráfica (modificada de Servicio Geológico Mexicano, 2011).

IV.6. Geología estructural

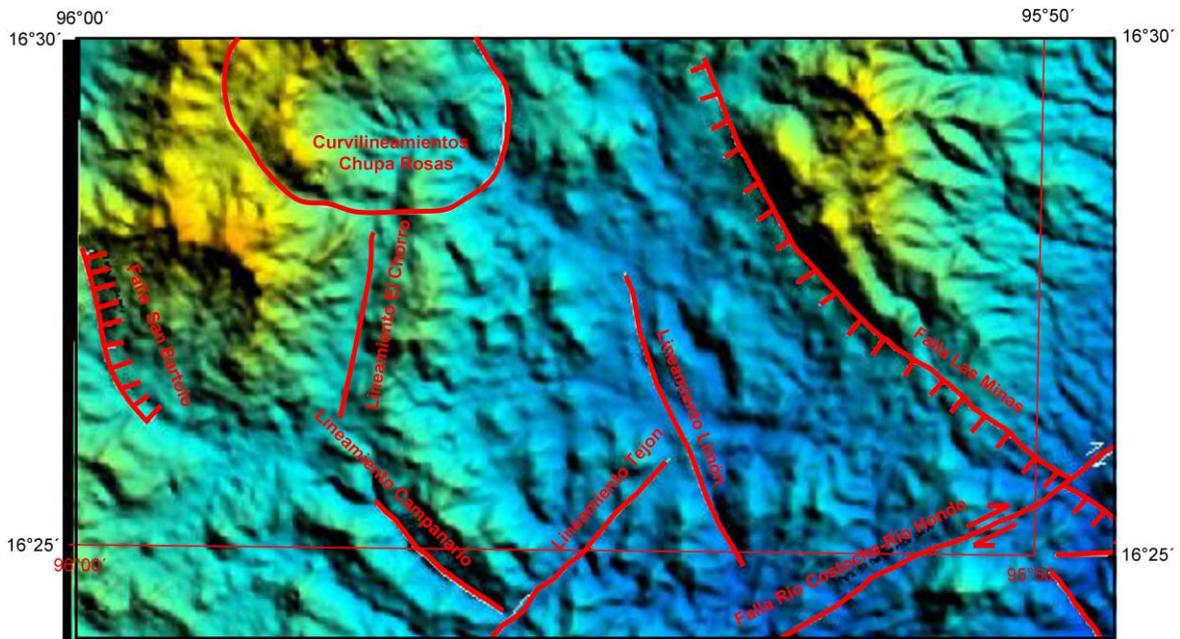
El área estudiada está afectada por sistema de fallas tanto laterales dextrales, sinestrales y normales. Durante el Mioceno al reciente se producen dos tipos de lineamientos, el primero de tendencia E-W y el segundo N-S ligado a los movimientos laterales izquierdos posiblemente relacionados con la subducción de la Cordillera de Tehuantepec bajo la Placa de Norte América en la margen pacífica (Zaldivar *et al.*, 1993).

El mapeo de las estructuras geológicas fue delimitado con base en la interpretación de la imagen de satélite y el modelo de elevación, con verificación en campo; se corroboraron las estructuras de régimen dúctil (foliación) y frágil (fallas normales y laterales).

Del régimen dúctil se tiene la foliación (S1) de tipo penetrativo desarrollada en el gneiss del Complejo Xolapa, y en las unidades metavolcánica, y metacaliza que forman parte del Arco Chontal, con dirección general NW-SE y escasamente NE-SW.

IV.6.1. Descripción de estructuras

Con la interpretación del modelo digital de elevación y las imágenes de satélite y epipolar, se realizó el mapeo de las estructuras geológicas y se interpretaron una serie de lineamientos, los que posteriormente se verificaron en campo y de esta manera se pudieron determinar las diferentes estructuras, localizadas dentro del área estudiada en donde se pudieron definir los siguientes regímenes de deformación: dúctil (foliación) y frágil (fallas normales, laterales, lineamientos y curvilineamientos) (*Fotografía IV.9.*).



Fotografía IV.9. Interpretación de estructuras del modelo digital de elevación.

IV.6.2. Deformación dúctil.

El Terreno Ciucateco ha sido considerado como franja de pliegues y cabalgaduras orientada con dirección norte-noroeste con vergencia al oriente y afectada por procesos de metamorfismo de grado bajo. El origen de esta deformación se ha atribuido a la Orogenia Laramide en el Cretácico tardío-Terciario temprano (Carfantán, 1985; Delgado-Argote, 1988; Barboza-Gudiño y Schwab, 1996; Ángeles, 2006).

La deformación presente en rocas del Arco Chontal se presenta en dos formas: penetrativa e incipiente, éstas se desarrollan en las unidades metavolcánica, metasedimentario y metacaliza, con una dirección preferencial NW-SE y en menos proporción al NE-SW.

La deformación dúctil está reflejada por la foliación (S_1) de tipo penetrativa desarrollada en la secuencia volcanosedimentaria del Arco Chontal, con dirección general NW-SE y escasamente NE-SW (Carfantán, *op. cit.*).

IV.6.3. Deformación frágil

La deformación frágil está representada por fallas laterales dextrales y sinestrales, y por fallas normales, ambas en dirección NW-SE y NE-SW, principalmente en rocas volcánicas (Martínez *et al.*, 1999).

Las estructuras resultantes de este régimen son fallas normales y laterales con direcciones NE-SW y NW-SE y curvilineamientos.

IV.6.3.1. Fallas normales

Las fallas normales presentan un sistema en dos direcciones: NW-SE y NE-SW.

Las fallas con orientación NW-SE son:

San Bartolo.- Se localiza en la porción oeste de la zona de estudio, a 2.4 km al noroeste del poblado San Bartolo Yautepec, en las coordenadas UTM 15Q 180,177E - 1,820,405N, donde se observó un reliz con rumbo N 12° W y echado de 68 al NE, con un pitch de 80° al NW, longitud de 2.8 km; afecta a las unidades Metasedimentaria, limolita-conglomerado polimíctico y toba andesítica-toba dacítica (***Fotografía IV.10.***).



Fotografía IV.10. Plano de falla normal. A 2.4 km al noroeste del poblado de San Bartolo Yautepec.

Las Minas. Se sitúa en la porción sur, este y sureste de la zona de estudio, a 700 m al norte del poblado Puerto San Bartolo Yautepec, en las coordenadas UTM 15Q 195,629E - 1,820,066N, donde se observó un reliz con rumbo N 70° W y echado de 68° al SW, un pitch de 70° al NW, y una longitud de 8.0 km; afecta a las unidades metavolcánica, metacaliza, limolita-conglomerado polimíctico y toba andesítica-toba dacítica (*Fotografía IV.11.*)



Fotografía IV.11. Plano de falla Las Minas, observado en toba andesítica, al norte del poblado San Bartolo.

Cerro Campanario.- Se localiza en la porción sur y suroeste del área de estudio, a 3.7 km al este del poblado San Bartolo Yautepec, en las coordenadas UTM 15Q 86,060E y 1,818,878N; se observaron indicadores cinemáticos como estrias y brecha de falla con generación de calcita, con rumbo N 83° E, echado de 72° SE, pitch de 70° al NE, una longitud de 4.3 km; afecta a rocas de la unidad toba andesítica-toba dacítica (*Fotografía IV.12.*)



Fotografía IV.12. Falla Cerro Campanario, a 3.7 km del poblado San Bartolo Yautepec.

IV.6.3.2. Fallas laterales

Las fallas laterales presentan un sistema en dos direcciones: NW-SE y NE-SW.

Las fallas laterales derechas de rumbo NE-SW son:

Río Costoche-río Hondo.- Se presenta entre las porciones sur y sureste del área de estudio, entre las poblaciones del poblado Santa María Asunción Lachixonase y al suroeste del poblado San Bartolo Yautepec, medida en las coordenadas UTM 15Q 198,498E y 1,818,848N, donde se observa un plano de la falla de rumbo N 46° E echado de 68 al SE pitch de 18° al NE, con longitud de 24 km, afecta a rocas de las unidades metavolcanosedimentario, metacaliza, limolita-conglomerado polimíctico y toba andesítica-toba dacítica (*Fotografía IV.13.*)



Fotografía IV.13. Plano de falla de componente lateral derecha en las inmediaciones del poblado de Santa María Asunción Lachixonaseo.

IV.6.3.3. Lineamientos

El Chorro.- Se localiza en la parte central del área de estudio, al este del poblado San Bartolo Yautepec, con rumbo general N 22° W y longitud de 4.2 km, afecta a la unidad y toba andesítica-toba dacítica.

Limón.- Se sitúa en la porción central y sur de la zona de estudio, al noreste del poblado San Bartolo Yautepec, con rumbo general N 15° E y longitud de 3.4 km; afecta a la unidad y toba andesítica-toba dacítica.

Arroyo Campanario.- Se localiza en la porción sur y suroeste del área estudiada, al oeste del poblado puerto San Bartolo, con rumbo general N 50° W y longitud de 3.2 km; afecta a la unidad toba andesítica-toba dacítica.

Arroyo El Tejón.- Se ubica en la porción sur de la zona de estudio, al suroeste de San Bartolo Yautepec, con rumbo general N 52° W y longitud de 2.5 km; afecta a la unidad metasedimentaria.

IV.6.3.4. Curvilineamientos

Chupa Rosa.- Se localiza en la porción norte y noroeste del área estudiada, en los alrededores del poblado Santiago Vargas, tiene un diámetro de 4.0 km, relacionado con un cuerpo porfídico de composición andesítico-dacítico que afecta a rocas de la toba andesítica-toba dacítica.

IV.7. Evolución Tectónica

Entre el Jurásico Superior y Cretácico Inferior, tiene lugar el desarrollo de la cuenca Cuicateca, cuyo origen es aún discutible, toda vez que algunos autores la relacionan como consecuencia de una falla transformante que corre en la margen oeste del Macizo de Chiapas (Sedlock *et al.*, 1993) aunque otros la consideran como una zona de apertura (rifting) durante la separación de las placas de Norteamérica y Sudamérica (Carfantan, 1983).

En el borde de la cuenca Cuicateca se originaron dos cuencas vulcanosedimentarias; una en la porción poniente como cuenca occidental y la cuenca oriental denominada cuenca Ístmica, donde se ubica el Arco Chontal, que se prolonga hacia el norte en la Sierra de Juárez y desaparece en los alrededores de Tehuacán (Carfantan, 1981). La cobertura mesozoica del Arco Chontal se inicia en el Albiano con una transgresión marina, que dio origen al depósito de potentes espesores de carbonatos en ambientes de plataforma, condiciones que prevalecieron hasta el Cenomaniano (Vázquez, 1982).

A fines del Cretácico Superior se inició el evento más importante que afectó rocas mesozoicas de la región del Istmo, reconocido como Orogenia Laramide, el cual finalizó en el Terciario inferior. Dió origen a pliegues oblicuos y cizallamientos (Carfantan, 1981). Otros sugieren que ocurrió un evento de mayor deformación progresiva por acortamiento, con dirección de transporte predominante de este-noreste, que provocó plegamiento y cabalgamiento de las secuencias marinas del mesozoico y anteriores (en Morán *et al.*, 2005).

Se ha propuesto que la Orogenia Laramide es respuesta a una reorganización en el movimiento relativo de las placas tectónicas durante el Cretácico tardío y que por la misma causa finalizó en el Eoceno (Coney, 1978). Este modelo implica que la placa de Farallón redujo su velocidad de movimiento y la placa de Norteamérica cambió su dirección, lo que redujo la transmisión de deformación contráctil y cambió el régimen de deformación intraplaca a un sistema transcurrente bajo el cual existió alargamiento. Otros factores como

el movimiento de bloques corticales (*e.g.* bloque de Chortis), la configuración de la costa del Pacífico en el sur de México y la litología de la corteza que experimentó la deformación (*e.g.* bloque Acatlán-Oaxaca), influyeron en la cinemática y el control estructural ocurrido durante el Cenozoico en el sur de México. En general, los mecanismos de deformación de esta región compleja no han sido del todo entendidos (Morán- Zenteno *et al.*, 2005).

Para el Terciario se tiene la cobertura terciaria durante el Paleoceno-Eoceno, donde continúa la actividad tectónica, que ocasiona levantamiento y hundimiento de bloques, lo que da lugar a la formación de fosas y erosión de las unidades preexistentes, con depósito de facies molásicas.

Para la deformación post-Laramide se han identificado dos eventos principales, uno transcurrente con acortamiento horizontal NE-SW. Éste fue caracterizado por fallas laterales, preferentemente izquierdas, activas entre el Eoceno al Oligoceno. Un segundo evento durante el Oligoceno-Mioceno produjo fallas normales y algunas laterales, fue interpretado como respuesta a extensión horizontal NE-SW (Nieto-Samaniego *et al.*, 2006). La cizalla lateral izquierda del Paleógeno documentada en algunas zonas del sur de México (*e.g.* región de Taxco; Alaniz-Álvarez *et al.*, 2002b), se ha señalado como respuesta a la migración del bloque de Chortis (Cerca *et al.*, 2004).

El bloque de Chortis es un elemento paleogeográfico, para el cual se ha postulado que durante el Eoceno-Oligoceno se ubicaba en el borde de la costa Pacífico del sur de México (Schaaf *et al.*, 1995; Morán-Zenteno *et al.*, 1996), y comenzó a migrar en esta época con un movimiento lateral izquierdo, controlando la deformación y volcanismo del sur de México (Morán- Zenteno *et al.*, 1999; Cerca *et al.*, 2004). Trabajos recientes consideran una trayectoria diferente para el movimiento del bloque de Chortis (Morán-Zenteno *et al.*, 2005), la hipótesis alternativa que se propuso para la migración la hicieron sobre la base de un polo de rotación calculado para la placa del Caribe (Pindell *et al.*, 1988), el cual fue ubicado en Santiago de Chile.

Morán-Zenteno *et al.*, (2005), señalaron que el bloque de Chortis comenzó a migrar de una posición oeste-suroeste, a través del margen transcurrente de la Fosa Cayman, con movimiento izquierdo y rotación en sentido del movimiento de las manecillas del reloj; las características tectónicas del sur de México que habían sido atribuidas al movimiento del bloque de Chortis, estos autores las adjudicaron a la implicación de cadenas marinas durante la subducción en la Trinchera de Acapulco.

Las dos hipótesis mencionadas para la migración del bloque de Chortis contemplan deformación intraplaca bajo un régimen transcurrente durante el Terciario. Pero el modelo propuesto por Schaaf *et al.* (1995), con cizalla lateral izquierda producto del desprendimiento del bloque de Chortis, a partir de la costa mexicana del Océano Pacífico, parece ajustarse de mejor forma a la migración de las direcciones de máxima extensión documentadas para el Cenozoico en el sur de México (Nieto-Samaniego *et al.*, 2006).

El desarrollo del magmatismo en la región, según datos geocronológicos, indica que el arco magmático de la Sierra Madre del Sur migró durante el Paleoceno-Eoceno, con predominio en las regiones de Michoacán y occidente de Guerrero; posteriormente, se desplaza hacia el oriente de Guerrero y occidente de Oaxaca; sin embargo, en el intervalo Oligoceno tardío-Mioceno medio se desplazó hacia el oriente del estado de Oaxaca. La culminación del magmatismo puede ser explicada como resultado del paso hacia el sureste del Bloque de Chortis (Morán *et al.*, 2000).

Hacia el sur, la provincia del Istmo de Tehuantepec alcanzó su máxima actividad tectónica a partir del Mioceno. Esto se refleja por la presencia de rocas volcánicas del Mioceno y en el rápido hundimiento del basamento. También se manifiesta en la formación del Golfo de Tehuantepec, como consecuencia de la reactivación del movimiento del Bloque Chortis que se desplazaba a lo largo del sistema de fallas Polochic-Motahua, hacia el noreste en la subplaca chiapaneca; la secuencia estratigráfica del mesozoico también fue afectada por sistemas de fallas transcurrentes con orientación NE 55° SW y a la vez generó pliegues en abanico.

CAPÍTULO V

YACIMIENTOS MINERALES

La actividad minera de la zona de estudio, se desarrolló entre las décadas de los sesentas y setentas del siglo pasado, cuando se llevó a cabo la exploración y explotación en la localidad del cerro Las Minas, donde se localizan los lotes La Azucena y La Santa Margarita, según datos aportados por la gente que vive en la zona.

Valverde (1988), hizo una visita de reconocimiento al lote minero Santa Margarita, con el propósito de hacer una evaluación geológico-minera del yacimiento, en ésta, determinó estructuras tipo veta y mantos de origen hidrotermal, con leyes de 2.0 g/t de Au y 250 g/t de Ag.

Solana (1997) también hizo una visita de reconocimiento al lote minero La Azucena, con la finalidad de evaluar los cuerpos irregulares, producto de los procesos de metasomatismo de contacto, que generaron yacimientos tipo skarn así como vetas hidrotermales, con mineralización de galena, esfalerita, malaquita, azurita, hierro, plata y oro en menor proporción, los valores reportados son: 0.08 g/t de Au, 28 g/t de Ag, 0.06% de Pb, 0.18% de Zn, 0.54% de Cu, 7.18% de Fe, 93.03% en superficie y 0.12 g/t de Au, 38 g/t de Ag, 0.01% de Pb, 0.31% de Zn, 1.31% de Cu, 9.91% de Fe en interior de mina.

Castro y Arreola (2000), realizaron el estudio geológico minero del lote minero La Azucena; determinaron la existencia de yacimientos de vetas hidrotermales, con leyes promedio de 0.13 g/t de Au, 107 g/t de Ag, 0.38 % de Zn, 0.223 % de Pb, 1.75 % de Cu, 0.033% de Sb, 0.034% de Mo y 0.039% de W.

Martínez *et al.*, (1999) hicieron el estudio de reconocimiento y muestreo en las minas Santa Margarita en donde se presentan cuerpos hidrotermales, de relleno de fisura como vetas y mantos, en donde presenta dos vetas:

Veta I de rumbo N 60° E, echado de 78° SE con longitud de 100 m, espesor de 1.10 m. Las leyes obtenidas son: 56 g/t de Ag; 6.28% de Pb; 3.40 % de Zn; 1.92 % de Cu (Martínez, *op. cit.*).

Veta II de rumbo N 73° E, echado de 70° NW, longitud de 200 m, espesor de 1.2 m. Las leyes obtenidas son: 262 g/t de Ag; 2.28 % de Pb; 6.5 % de Zn; 2.11 % de Cu (Martínez, *op. cit.*).

Así mismo, realizaron un muestreo en la mina La Azucena en donde determinaron un cuerpo irregular, orientado N 37° W, echado de 76° NE, longitud errática, espesor de 0.60 m a 1.03 m. Las leyes obtenidas fueron: 33 g/t de Ag; 0.03 % de Pb; 0.24 % de Zn; 0.92 % de Cu (Martínez, *op. cit.*).

Actualmente la región, no cuenta con minas en explotación

En el área de estudio existe un prospecto minero, con presencia de elementos metálicos, ubicado en la porción nororiental de la zona, en las proximidades del poblado Las Minas. En el lote La Azucena se localizan varios afloramientos mineralizados con sulfuros principalmente de cobre y hierro con contenidos de oro, plata, zinc, plomo y antimonio que fueron afectados por intrusiones de granito-granodiorita a los que se les atribuye la mineralización y la generación de una aureola de metamorfismo (Solana, 1997).

La mineralización se encuentra alojada en rocas carbonatadas y está representada por los siguientes minerales: calcopirita, pirita, esfalerita y escasa galena. La mineralización también se presenta en vetas hidrotermales, en zonas de brecha y de manera diseminada, tanto en el pórfido como el skarn de la unidad metacaliza de edad Aptiano-Albiano (Castro y Arreola, 2000).

Ambiente geológico.- Los elementos geológicos se formaron en un ambiente de arco magmático, relacionado con la génesis de la Sierra Madre del Sur; Está asociado a la zona de subducción entre las placas de Cocos y la de Norteamérica. En estas condiciones se

emplazaron intrusivos de composición intermedia (microdiorita) y ácida (granito-granodiorita) que afectaron a las diferentes unidades del Arco Chontal, así como a las unidades sedimentarias y piroclásticas (limolita, conglomerado polimíctico y toba andesítica dacítica). Se generaron estructuras como consecuencia de los procesos de origen hidrotermal como vetas, mantos y cuerpos irregulares, asociados a estructuras como fallas normales y laterales, con rumbos NW-SE y NE-SW.

Los depósitos hidrotermales se pueden describir en términos de la profundidad y la temperatura de formación en tres grupos: los que se forman a gran profundidad a temperaturas de 300 y 500 °C, y los que se forman a temperaturas de 200 y 300 °C y a profundidades menores a 2 km y los que se forman a profundidades menores a 1 km y a temperaturas entre 100 y 200 °C.

En el presente estudio, las rocas que afloran en el área mineralizada del Cerro Las Minas son la metaandesita y metatoba andesítica de la unidad metavolcánica de edad Jurásico Superior (*Js (?) MV*), y la metacaliza de edad Aptiano-Albiano (*Kapa MCz*), ambas pertenecientes al Arco Chontal en donde solo en la unidad metavolcánica se observan evidencias de yacimientos hidrotermales de baja sulfuración, por relleno de fisuras. Las estructuras consisten de mantos, vetas y zonas de alteración. Las vetas presentan una dirección preferencial NE y echados al SE y NW, con espesores variables.

La mayoría de los depósitos de baja temperatura de México pertenecen a los tipos de sulfuración intermedia (SI) o baja (BS), y sólo se han descrito algunos depósitos de alta sulfuración (AS) en la parte noroccidental del país (*e. g.* El Sauzal, Mulatos, Santo Niño, La Caridad Antigua, todos ellos en Sonora y Chihuahua). Están situados alrededor del margen Circum-Pacífico, asociados al termalismo tardío de los sistemas volcánicos operantes en dicho margen desde el Terciario (White *et al.*, 1995). La mayoría de los depósitos epitermales se formaron durante el Mioceno superior, el Paleoceno y Cuaternario (White *op. Cit*). En los depósitos de baja temperatura mexicanos (todos ellos netamente terciarios) su edad disminuye, a grandes rasgos, hacia el sur y hacia el este, en relación con la

migración general del vulcanismo ácido de la Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre del Sur (e. g. Damon *et al.*, 1981, 1983; Clark *et al.*, 1982; Camprubí *et al.*, 2003b).

Existen dos tipos de depósitos en un sistema hidrotermal ubicados en el ambiente epitermal y que en su mayoría son activados por intrusiones situadas hasta 5 ó 6 km bajo superficie, estas intrusiones pueden ser muy próximas a la superficie e inclusive llegar a ser eruptivas. En algunos casos puede haber una transición entre ambos ambientes geoquímicos a solo 1 ó 2 km de profundidad en donde los fluidos hipogénicos ácidos ascienden hasta sistemas de pH neutro (Reyes *et al.*, 1993). Recientemente, se han redefinido los tipos de depósitos epitermales, con la introducción del término de sulfuración intermedia (Hedenquist *et al.*, 2000; Einaudi *et al.*, 2003; Sillitoe y Hedenquist, 2003). Los depósitos del subtipo de sulfuración intermedia son estructuralmente muy similares a los de baja sulfuración, pues no en balde ambos conforman el conjunto de epitermales alcalinos de acuerdo con Sillitoe (1977).

La mineralización epitermal de metales preciosos puede formarse a partir de dos tipos de fluidos químicamente distintos. Los de “baja sulfuración” son alcalinos y se originan a partir de fluidos reducidos y de pH aproximadamente neutro (en donde el azufre presenta un estado de oxidación de -2) y los fluidos de “alta sulfuración” originados de fluidos de carácter oxidado y ácido (azufre en estado de oxidación +6 ó +4).

En ambos tipos de depósitos (BS y AS) los fluidos circulan hacia la superficie a través de fracturas en las rocas y la mineralización a menudo se presenta en esos conductos (mineralización controlada estructuralmente), pero también pueden circular por niveles de rocas permeables y eventualmente mineralizar ciertos estratos. Los fluidos de BS generalmente forman vetas de relleno con metales preciosos o series de vetas/vetillas más finas, denominadas “stockwork” o “sheeted-veins”.

Los fluidos de AS más calientes y ácidos penetran más en las rocas huéspedes y originan cuerpos mineralizados vetiformes; pero también, existe una diseminación en las rocas. Los depósitos de oro de BS pueden contener cantidades económicas de Ag y cantidades

menores de Pb, Zn y Cu, mientras los de sistemas auríferos de AS a menudos producen cantidades económicas de Cu y algo de Ag. Otros minerales asociados con los de BS son cuarzo (incluyendo calcedonia), carbonato, pirita, esfalerita y galena, mientras los de AS contienen cuarzo, alunita, pirita y enargita.

V.1. Formas y dimensiones

El área mineralizada Las Minas se localiza en la parte este y noreste de la zona de estudio donde el acceso principal es por la carretera panamericana No. 190 tramo de Oaxaca-Itsmo de Tehuantepec, se toma un camino de terracería que se encuentra en el poblado de las Minas. El camino de terracería conecta directo a las minas, La Santa Margarita y La Azucena con un recorrido de 4.16 km de distancia y la distancia entre cada mina es de 309 m.

En las inmediaciones del cerro las minas se observa gran alteración por oxidación tanto en la metaandesita y metatoba de la unidad metavolcánica (*Js (?) MV*), y en la caliza y metacaliza de la unidad metacaliza (*Kapa MCz*). En las imágenes satelitales se observa una gran área que abarca esta alteración de aproximadamente 15.20 km².

Los depósitos minerales presentes en la porción norte del área de estudio, en las minas Santa Margarita y La Azucena, son cuerpos de forma irregular y mantos (Sánchez, 1986), así como los de forma tabular (vetas) de tipo hidrotermal (Castro y Arreola 2000), (*Figura V.1.*).

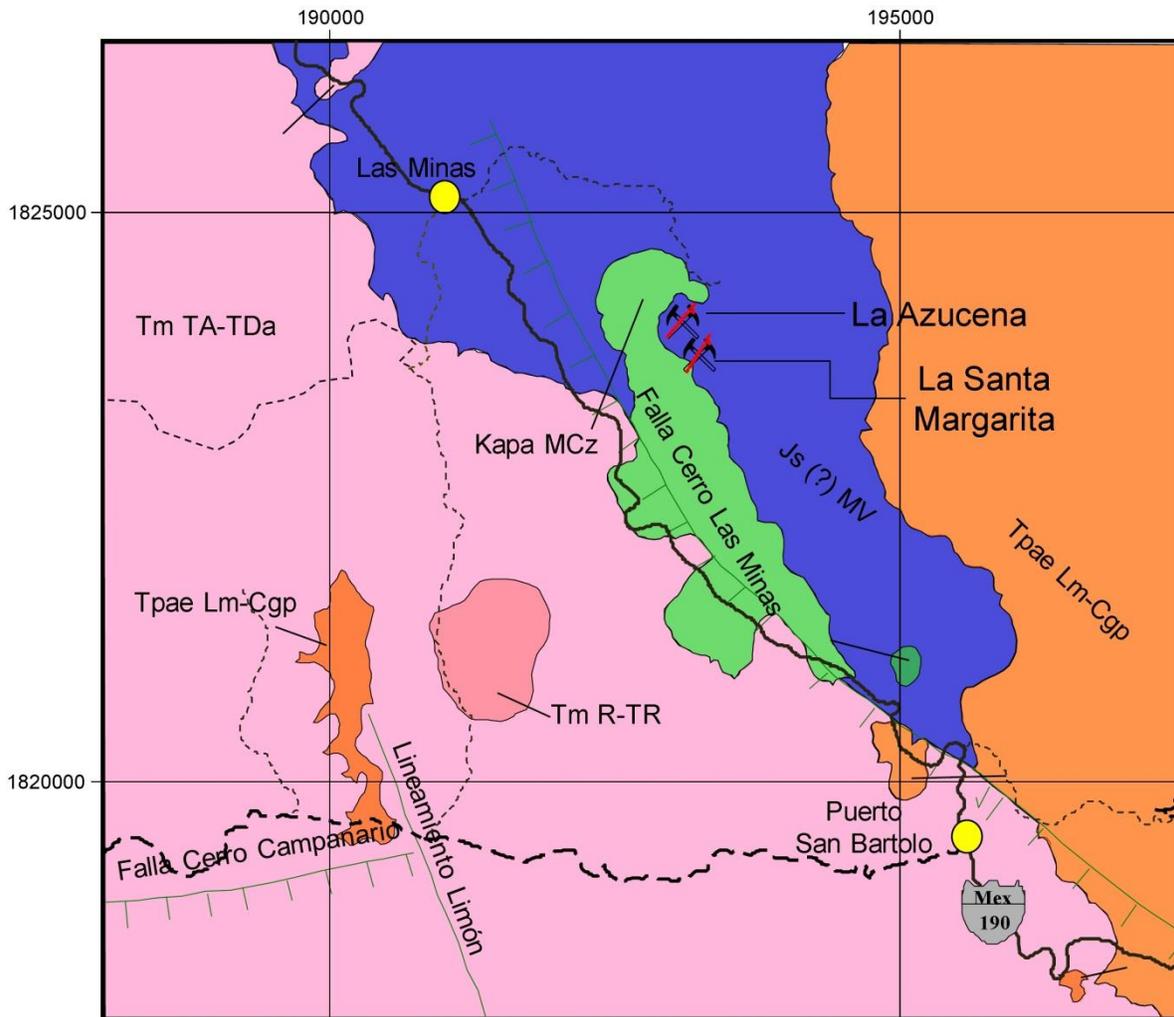


Figura V.1.- Localización de las minas La azucena y La Santa Margarita con dirección de vetas.

La mina **La Azucena** se localiza en la parte norte de la carta, a 2.4 km al suroeste del poblado Las Minas, en las coordenadas UTM 15Q 193,093E y 1,824,040N, donde aflora metatoba andesítica de color gris y verde en superficie fresca que por intemperismo adopta tonos marrón y castaño, con textura afanítica y estructura foliada, constituida por plagioclasas, hornblenda, con cuerpos de metacaliza, vetas y vetillas de cuarzo y calcita, con cantidades notables de fracturas y una fuerte alteración por oxidación tanto en el interior como el exterior de la mina, forma parte de la unidad Metavolcánica (*Js (?) MV*) (*Fotografía V.1.*).



Fotografía V.1.- Obra de la mina La Azucena, donde se observa la estructura y la mineralización.

Esta mina cuenta con *dos niveles, un socavón y un tajó*; En donde los dos niveles se encuentra en la misma elevación de 1349 m sobre la misma bocamina pero en direcciones diferentes. En donde el *nivel 1* tiene 50.60 m de longitud, y sección de 1.70 m por 1.60 m, con rumbo S 45° W; El *nivel 2* tiene 25 m de desarrollo, con sección de 1.10 m por 1.60 m, con rumbo S 25° W; El *socavón* se encuentra a 6m de la bocamina donde presenta 6 m de longitud y sección de 1.40 m por 1.5 m; El *tajó* tiene 12 m de longitud, 5 m de ancho y 1.5 de profundidad. Las vetas presentan un rumbo preferencial NE y echado SE, NW con longitudes de 10 hasta 50 m, profundidades de 5 a 28 m y espesores de 0.8 a 1.35 m.

La mina *La Santa Margarita* se ubica en la porción norte de la carta, a 2.9 km al suroeste del poblado Las Minas, en las coordenadas UTM 15Q 193,244E y 1,823,750N donde aflora metaandesita de color gris y verde en corte al fresco que intemperiza en tonos marrón y castaño, con textura afanítica y estructura con foliación, constituida por plagioclasas, hornblenda cloritizada, con vetas de cuarzo, cuerpos mantiformes y vetillas de cuarzo y calcita, presenta gran cantidad de fracturas, forma parte de la unidad Metavolcánica (*Js (?) MV*).

Esta mina cuenta con *un socavón, un tajo a cielo abierto y un tiro inclinado*; En donde el *socavón* tiene 60.50 m de desarrollo y una elevación de 1362 m, con rumbo S 55° W y una deflexión al N 38° W, con 2 cruceros, el primero de 12.4 m de longitud con rumbo S 30° E, el segundo de 3.5 m de rumbo S 30° E; El *tajo a cielo abierto* es de 12.60 m de largo y 3.20 m de ancho y profundidad de 2.50 m; El *tiro inclinado* de 12 m de longitud, 1.40 m de ancho y 1.20 m de alto. La veta presenta un rumbo NE y echado NW con longitud de 12 m, profundidad de 9 m y espesor de 0.60 m. Los cuerpos mantiformes presentan un rumbo NE y echado de SE con longitudes de 8 hasta 60 m y espesores de 0.40 a 0.90 m.

V.2. Estructuras mineralizadas

Las estructuras vetiformes y mantiformes presentes en las minas, La Santa Margarita y La Azucena están alojadas en metatoba, normalmente están controladas por fallas de alto o moderado ángulo de buzamiento que cortan la roca encajonante. Las vetas mayores pueden extenderse hasta varios km y están caracterizadas por una dirección principal de NE.

Las estructuras mineralizadas de origen epitermal de la mina La Azucena están constituidas por vetas de cuarzo. En el **nivel 1** se tiene una veta de cuarzo de 50 m de longitud, 28 m de profundidad y 1.20 m de espesor, con rumbo de N 40° E y echado de 85° SE. En el **nivel 2** la veta tiene 25 de longitud, 12 m de profundidad y 1.35 m de espesor, con un rumbo de N 35° E y echado de 85° SE. En el **socavón** se observa una veta de 20 m de longitud, 10 m de profundidad y 0.80 m de espesor, con un rumbo de N 12° E y echado de 38° NW. En el **tajo** se tiene una veta de 10 m de longitud, 5 m de profundidad y 0.80 de espesor, con un rumbo de N 50°E y echado de 88° NW

Las estructuras mineralizadas de tipo epitermales de la mina La Santa Margarita están constituidas por vetas de cuarzo y cuerpos mantiformes. En el **socavón** se presenta una veta de cuarzo de 60 m longitud, 30 m de profundidad y con un espesor reducido de 0.90 m, con rumbo N 32° E y echado de 22° SE. En el **tajo a cielo abierto** se observa un manto de 12.60 m de longitud, 8 m de profundidad y espesor de 0.40 m, con rumbo N 08° E y echado

de 35° SE. El **tiro inclinado** fue desarrollado para cortar una veta de cuarzo de 12 m de longitud, 9 m de profundidad y 0.60 m de espesor.

V.3. Alteraciones

La alteración hidrotermal es la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a un cambio en términos químicos y de temperatura, en la presencia de agua caliente, vapor o gas. La alteración hidrotermal ocurre a través de la transformación de fases minerales, crecimiento de nuevos minerales, disolución de minerales y/o precipitación y reacciones de intercambio iónico entre los minerales constituyentes de una roca y el fluido caliente que circuló por la misma.

Aunque la composición litológica inicial tiene una influencia en la mineralogía secundaria (hidrotermal), su efecto es menor que el debido a la permeabilidad, temperatura y composición del fluido. En efecto, la temperatura del fluido y el pH del mismo son los factores más relevantes en la asociación mineralógica resultante de los procesos de alteración hidrotermal.

La alteración hidrotermal es la transformación parcial o total de la roca a nuevos minerales más estables bajo las condiciones hidrotermales. La característica distintiva de la alteración hidrotermal es la importancia del fluido hidrotermal en transferir constituyentes y calor.

La zona de alteración hidrotermal generalmente se encuentra limitada tanto hacia la roca encajonante y se distribuye a manera de halos relacionados a las estructuras mineralizadas y su extensión depende de la cantidad de estructuras mineralizadas así como el grado de intensidad de mineralización.

Las alteraciones que presentan las zonas de contacto dentro de la zona de estudio son las siguientes:

Silicificación: La química de esta alteración es variada y depende esencialmente del tipo de roca afectada. En los carbonatos hay generalmente una mayor introducción de sílice. En rocas silicatadas, el sílice puede ser redistribuido entre la roca encajonante. Se asocia al depósito de sulfuros principalmente. La alteración se presenta en la matriz de fuerte a moderada, es notoria la silicificación no solo en los alrededores de las vetas sino también se observa esta alteración en gran parte del cerro Las minas, en algunos sectores, como en algunas muestras tomadas se observan vetillas de sílice gris a gris oscuro.

Oxidación: El proceso de alteración supergénica de depósitos minerales hidrotermales involucra la liberación de cationes metálicos y aniones sulfato mediante la **oxidación de sulfuros** hipógenos (lixiviación). La oxidación se presenta en los cuerpos mineralizados.

Argilización: Proceso de transformación de minerales y rocas no arcillosas en minerales arcillosos. Se forman importantes cantidades de **caolinita, montmorillonita y arcillas** amorfas, principalmente reemplazando a plagioclasas; puede haber sericita acompañando a las arcillas; el feldespato potásico de las rocas puede estar fresco o también argilitizado. La alteración argílica intermedia representa un grado más alto de hidrólisis relativo a la alteración propilítica. Se observa en toda la zona de mineralización y sobre el desarrollo de la obra se observa de forma fuerte a moderada.

Cloritización: Derivada por la alteración hidrotermal de minerales ferromagnesianos. Este es un tipo que consiste en el reemplazamiento de minerales ferromagnesianos por clorita. Se observa en las estructuras mineralizadas con una intensidad de ligera a moderada al igual que sobre el desarrollo de las obras mineras con una intensidad ligera. En algunos puntos de la cima del cerro se observa a la andesita cloritizada.

En el sector de las minas La Santa Margarita, La Azucena y sus alrededores existe una predominante alteración por oxidación y en las estructuras mineralizadas se observa una asociación mineralógica correspondiente a la cloritización en las vetas con una intensidad que va de ligera a moderada. En el interior de las minas se observan vetillas de calcita como de 1 a 2 cm aproximadamente a lo largo de la obra, también se observa pirita diseminada en

varios puntos de interés en algunas partes se observa intensamente la disseminación a lo largo del desarrollo de las obras, inclusive sobre la carretera No. 190 (Oaxaca-Itsmo) se observa la disseminación de pirita en afloramiento de andesita.

También tanto en el interior como el exterior de las minas se observa la roca encajonante alterada por silicificación aproximadamente a 400 m a la redonda.

La agilitización observada en el interior de las dos minas, se encuentra con intensidad alta en las estructuras mineralizadas y a lo largo del socavón se encuentra con intensidad de baja a intermedia.

V.4. Mineralización en “Las Minas”

Las mineralizaciones pueden diferenciarse según tres tipos de control (Sillitoe, 1993):

1.- Control estructural: vetas masivas o bien individualizadas (e. g. Pachuca-Real del Monte, México o El Indio, Chile), “enjambres de vetas” (e. g. Hishikari, Japón), en *stockwork* (e. g. Mc Laughlin, E.U.A. o Chinkuashih, Taiwan) y vetas de bajo ángulo asociadas a fallas anulares.

2.- Control hidrotermal: brechas hidrotermales (e. g. Kerimenge, Papúa-Nueva Guinea), y cuerpos de sílice residual (típicos de alta sulfuración (AS), e. g. Kasuga, Japón).

3.- Control litológico: disseminaciones bajo acuitardos en ignimbritas o rocas sedimentarias clásticas (e. g. Round Mountain, E.U.A.), reemplazamientos ligados a contrastes de permeabilidad o de reactividad en el caso de rocas huésped calcáreas (e.g. Taxco y San Francisco del Oro, México), y disseminaciones en brechas de diatrema (e.g. Montana Tunnels, E.U.A.).

La mineralización se emplaza en metaandesita y metatoba andesítica de la unidad Metavolcánica (*Js (?) MV*), donde se han reconocido zonaciones con diferentes cuerpos mineralizados de origen epitermal.

Los depósitos de tipo hidrotermal de metales preciosos que se tiene en la zona de estudio están asociados a actividad volcánica. A estos yacimientos se asocia una mineralización principal de oro y plata con una presencia mayor o menor de sulfuros de metales base como son: cobre, plomo y zinc. La mineralización se da principalmente en vetas y vetilla asociadas. También se pueden presentar en forma diseminada.

La mineralización se encuentra estrechamente asociada a cuerpos irregulares, mantos y vetas hidrotermales en el cerro Las Minas, estas manifestaciones minerales se observan como relleno de fisuras y de forma diseminada. La mineralización en la mina La Santa Margarita y La Azucena constan de carbonatos de cobre, pirita, calcopirita, galena, esfalerita, bornita, crisocola, hematita, limonita, cuarzo y calcita. Los minerales de azurita y malaquita, que son carbonatos de cobre, en donde la azurita es de color azul y la malaquita de color verde, sus hábitos y su asociación del uno con el otro los distinguen de la mayoría de los minerales, el ambiente de formación se da en zonas de oxidación de sulfuros de cobre. También presente la crisocola que se forma en zonas de oxidación de yacimientos de cobre, asociado a la azurita, malaquita y cuprita. La bornita en donde el ambiente de formación se da en ambientes hidrotermales y en zonas de oxidación de los yacimientos, asociada a la malaquita.

También se presentan pirita y calcopirita diseminada en zonas de mineralización en donde uno de sus ambientes de formación fueron yacimientos hidrotermales relacionados con volcanismo. La pirita también se observa diseminada en la roca encajonante, esta se haya en filones hidrotermales asociados a la blenda y a la galena; sola o junto al oro, se encuentra en filones de cuarzo hidrotermales a temperatura media-baja. La galena se observa muy escasamente, es un mineral hidrotermal típico en filones de temperatura media, asociado con esfalerita, calcopirita, pirita y cuarzo principalmente.

La blenda o esfalerita que es casi visible, es de origen hidrotermal y ortomagmático, se da en un ambiente de formación en vetas hidrotermales en yacimientos de baja y alta temperatura, se encuentra asociada a la galena, argentita, calcopirita, barita y fluorita.

La limonita presente en mayor proporción sobre todo el desarrollo de las obras mineras y en el exterior, es una mezcla de minerales del grupo de los óxidos, que se encuentra con mucha frecuencia en zonas oxidadas con depósitos de minerales de hierro. Se origina por la descomposición de la pirita, entre otros minerales de hierro.

La calcita que está presente como vetillas de 1 a 3 cm de espesor sobre todo el interior de las minas, ya sea solas o en grupos con una separación de 5 a 10 cm entre ellas o se pueden ver en diferentes direcciones y cruzadas, se encuentra también en filones hidrotermales de baja temperatura, asociada a sulfuros.

V.5. Orígenes de la mineralización

Los depósitos epitermales son definidos como productos relacionados a volcanismo con actividad hidrotermal a poca profundidad y bajas temperaturas, (Guilbert y Park, 1986). Simmons *et al.*, (2005), especificaron que aquellos depósitos epitermales de baja profundidad, en sistemas hidrotermales de altas temperaturas se desarrollaron en arcos volcánicos; por otro lado, Sillitoe (1977), asegura que en su totalidad, los depósitos epitermales están asociados directamente a márgenes de subducción activos, en diferentes épocas geológicas.

Así mismo, existe un importante control de éste tipo de depósitos por parte de fallas de escala regional, en zonas de abundantes fracturas dentro de un régimen extensional (Nieto-Samaniego *et al.*, 2005).

Se considera que las condiciones de formación de la mayoría de yacimientos epitermales comprenden temperaturas entre $<150^{\circ}\text{C}$ y $\sim 300^{\circ}\text{C}$ (y eventualmente mayores), y a

profundidades desde la superficie hasta 1 ó 2 km, con presiones de hasta varios centenares de bares (Berger y Eimon, 1983; Heald *et al.*, 1987; Sillitoe, 1988; Reyes, 1990, 1991).

Según White y Hedenquist (1990), los principales factores que influyen las condiciones físicas del ambiente epitermal y que, en último término, determinan el carácter y la localización de la mineralización son:

1) La geología regional de la zona en la que se halla el depósito en cuestión, como su estructura, la estratigrafía, las intrusiones a las que se asocia la mineralización y la naturaleza de dichas rocas ígneas, factores que controlan directamente el tipo y el grado de permeabilidad, así como la reactividad de la roca o rocas encajonantes.

2) Las características hidrológicas de la zona, es decir, la relación existente entre la permeabilidad y la topografía que controla el movimiento de los fluidos, y las características de los fenómenos de recarga/descarga de fluidos, así como el acceso de aguas calentadas por vapor (“steam-heated waters”)

3) Las condiciones de presión y temperatura de los fluidos mineralizantes, en lo que es el ambiente epitermal, que se hallan estrechamente ligadas al punto de ebullición (cambios de presión litostática a hidrodinámica produciendo ebullición), determinado a su vez por la composición de los fluidos.

4) Las características químicas y el contenido total en gas de los fluidos mineralizantes, que son los factores determinantes en su reactividad, en su capacidad para el transporte de metales y en la paragénesis mineral, tanto por lo que respecta a la alteración del encajonante como la mineralización entre sí.

5) El posible desarrollo de permeabilidad contemporánea al hidrotermalismo y/o cambios en el gradiente hidráulico de la zona. (White y Hedenquist, 1990).

La temperatura del fluido y el pH del mismo son los factores más relevantes en la asociación mineralógica resultante de los procesos de alteración hidrotermal, más que la litología.

La alteración hidrotermal involucra la recristalización de la roca a nuevos minerales más estables bajo las condiciones hidrotermales. La característica distintiva de la alteración hidrotermal es la importancia del fluido hidrotermal en transferir constituyentes y calor. Está alteración involucra la circulación de volúmenes relativamente grandes de fluidos calientes que atraviesan las rocas permeables debido a la presencia de fisuras o poros interconectados.

Los fluidos de baja sulfuración (BS) son una mezcla de aguas meteóricas que han percolado bajo la superficie, y aguas magmáticas (derivadas de una fuente de roca fundida a mayor profundidad en la tierra) que han ascendido hasta la zona de mezcla. Los metales preciosos han sido transportados en solución como iones complejos (en general bi-sulfurados a niveles epitermales; clorurados a niveles más profundos) y para fluidos de baja sulfuración la precipitación de metales ocurre cuando el fluido hierve al acercarse a la superficie (ebullición).

Los fluidos de alta sulfuración (AS) se derivan principalmente de una fuente magmática y depositan metales preciosos cerca de la superficie cuando el fluido se enfría o se diluye mezclándose con aguas meteóricas. Los metales preciosos en solución derivan directamente del magma o pueden ser lixiviados de las rocas volcánicas huéspedes a medida que los fluidos circulan a través de ellas.

V.6. Datos económicos

Con la finalidad de conocer los contenidos y relación de varios elementos, principalmente oro y plata, se han realizado análisis químicos sobre 48 muestras; tomadas para tal fin en los cuerpos irregulares, vetas y mantos de cuarzo de la mina La santa Margarita y La

Azucena. El tamaño de las muestras recolectadas es de aproximadamente de 1.5 a 2 Kg y han sido extraídas de superficie por medio de toma de esquirlas de manera perpendicular a las estructuras, así como el alto y bajo, en sectores escogidos al azar, a lo largo de las principales vetas.

En la mina **La Santa Margarita**, en el **socavón** se presenta una veta de cuarzo con rumbo N 32° E y echado de 22° SE, en donde se colectaron 19 muestras de esquirlas, de las cuales 8 son de la estructura, 7 del bajo y 4 del alto de la veta, de **AT01** a **AT19** para análisis químico por Au, Ag, Pb, Cu y Zn, los resultados obtenidos se muestran en la *Tabla V.1.*

<i>Estructura</i>					
Muestras	Au g/t	Ag g/t	Pb %	Cu %	Zn %
AT01	0.028	419	1.47	23.1	1.4
AT02	0.099	836	3.08	8.87	2.44
AT03	N.D.	53	0.77	4.27	2.71
AT04	0.009	226	1.04	7.62	2.48
AT05	0.024	33	0.48	1.34	1.1
AT06	0.089	290	1.36	5.86	4.91
AT07	0.04	41	0.67	0.35	0.1
AT08	0.065	25	0.66	0.25	0.38
<i>Bajo de la estructura</i>					
AT09	0.026	254	0.51	10.18	0.84
AT10	0.005	113	0.3	0.26	0.75
AT11	0.003	58	0.38	0.6	2.91
AT12	N.D	24	0.07	0.14	0.83
AT13	N.D	6	0.06	0.17	0.09
AT14	0.023	4	0.04	0.02	0.04
AT15	0.053	3	0.04	0.11	0.07
<i>Alto de la estructura</i>					
AT16	N.D.	17	0.14	0.15	0.86
AT17	N.D.	13	0.04	0.05	0.17
AT18	0.076	12	0.18	0.05	0.11
AT19	N.D.	3	0.03	0.06	0.08

Tabla V.1.- Resultados de esquirlas del socavón, mina La Santa Margarita.

En el **tajo a cielo abierto** se observa un manto mineralizado con rumbo N 08° E y echado de 35° SE, donde se colectaron 3 muestras de esquirlas, de las cuales 1 es del alto, 1 de la estructura y 1 del bajo del manto, de **AT20** a **AT22** para análisis químico por Au, Ag, Pb, Cu y Zn, los resultados obtenidos se muestran en la *Tabla V.2.*

<i>Alto de la estructura</i>					
Muestras	Au g/t	Ag g/t	Pb %	Cu %	Zn %
AT20	0.011	94	0.31	0.11	1.95
<i>Estructura</i>					
AT21	0.03	494	2.1	1.18	1.13
<i>Bajo de la estructura</i>					
AT22	N.D	N.D	0.011	0.002	0.012

Tabla V.2.- Resultados de esquirlas del tajo a cielo abierto, mina La Santa Margarita.

En el **tiro inclinado**, el cual se realizó para cortar una veta de rumbo N 10° E y echado de 76° NW, es donde se colectaron 3 muestras de esquirlas, 1 del bajo, 1 de la estructura y 1 del alto de la veta, de **AT23** a **AT25** para análisis químico por Au, Ag, Pb, Cu y Zn, los resultados obtenidos se muestran en la *Tabla V.3.*

<i>Bajo de la estructura</i>					
Muestras	Au g/t	Ag g/t	Pb %	Cu %	Zn %
AT23	N.D	4	0.0226	0.0057	0.14
<i>Estructura</i>					
AT24	0.016	121	0.79	0.56	3.06
<i>Alto de la estructura</i>					
AT25	N.D	246	0.06	0.3	3.08

Tabla V.3.- Resultados de esquirlas del tiro inclinado, mina La Santa Margarita.

En la mina **La Azucena**, el *nivel I* presenta una veta con rumbo N 40° E y echado de 86° SE, en donde se colectaron 9 muestras de esquirlas, 5 de la estructura, 2 del bajo y 2 del

alto de la veta, de **AT26** a **AT34** para análisis químico por Au, Ag, Pb, Cu y Zn, los resultados obtenidos se muestran en la *Tabla V.4.*

<i>Estructura</i>					
Muestras	Au g/t	Ag g/t	Pb %	Cu %	Zn %
AT26	0.0248	22	0.81	0.45	0.30
AT27	0.0054	9	0.04	0.08	0.21
AT28	0.0014	17	0.21	0.02	0.34
AT29	0.001	51	0.35	0.11	0.03
AT30	0.0163	510	12.84	1.89	0.07
<i>Bajo de la estructura</i>					
Muestras	Au g/t	Ag g/t	Pb %	Cu %	Zn %
AT31	0.0064	12	0.17	0.11	0.13
AT32	0.0034	51	0.35	0.11	0.03
<i>Alto de la estructura</i>					
Muestras	Au g/t	Ag g/t	Pb %	Cu %	Zn %
AT33	0.0026	44	0.63	0.24	0.17
AT34	0.0153	920	18.58	0.13	0.05

Tabla V.4.- Resultados de esquiras del nivel 1, mina La Azucena.

En el *nivel 2* se tiene una veta con rumbo N 35° E y echado de 85° SE, donde se colectaron 6 muestras de esquiras, 4 de la estructura, 1 del bajo y 1 del alto de la veta, de **AT35** a **AT40** para análisis químico por Au, Ag, Pb, Cu y Zn, los resultados obtenidos se muestran en la *Tabla V.5.*

<i>Estructura</i>					
Muestras	Au g/t	Ag g/t	Pb %	Cu %	Zn %
AT35	N.D	N.D	0.0019	0.0036	0.0042
AT36	0.0027	N.D	0.0041	0.0037	0.0062
AT37	0.001	7	0.0420	0.0658	0.33
AT38	0.0020	3	0.0069	0.0199	0.25
<i>Bajo de la estructura</i>					
Muestras	Au g/t	Ag g/t	Pb %	Cu %	Zn %
AT39	0.0007	N.D.	0.0091	0.0068	0.0106
<i>Alto de la estructura</i>					
Muestras	Au g/t	Ag g/t	Pb %	Cu %	Zn %
AT40	0.0002	N.D.	0.0053	0.0042	0.0066

Tabla V.5.- Resultados de esquiras del nivel 2, mina La Azucena.

En el *socavón* se tiene una veta con rumbo N 12° E y echado de 38° NW, donde se colectaron 3 muestras de esquiras, 1 de la estructura, 1 del bajo y 1 del alto de la veta, de **AT41** a **AT43** para análisis químico por Au, Ag, Pb, Cu y Zn, los resultados obtenidos se muestran en la *Tabla V.6.*

<i>Bajo de la estructura</i>					
Muestras	Au g/t	Ag g/t	Pb %	Cu %	Zn %
AT41	0.022	45	1.20	0.28	0.20
<i>Estructura</i>					
Muestras	Au g/t	Ag g/t	Pb %	Cu %	Zn %
AT42	0.0007	87	3.64	0.73	0.26
<i>Alto de la estructura</i>					
Muestras	Au g/t	Ag g/t	Pb %	Cu %	Zn %
AT43	N.D	14	0.41	0.30	1.60

Tabla V.6.- Resultados de esquiras del socavón, mina La Azucena.

El *tajo* presenta una veta con rumbo N 50° E y echado de 88° NW, en donde se colectaron 3 muestras de esquirlas de la estructura, de **AT44** a **AT46** para análisis químico por Au, Ag, Pb, Cu y Zn, los resultados obtenidos se muestran en la *Tabla V.7*.

<i>Estructura</i>					
Muestras	Au g/t	Ag g/t	Pb %	Cu %	Zn %
AT44	0.4	184	8.14	1.09	0.10
AT45	0.0085	112	5.13	0.66	0.13
AT46	0.0224	54	4.57	1.11	0.42

Tabla V.7.- Resultados de esquirlas del tajo, mina La Azucena.

Por último se colectaron 2 muestras de terrero, de **AT47** a **AT48**, para análisis químico por Au, Ag, Pb, Cu y Zn, los resultados obtenidos se muestran en la *Tabla V.8*.

<i>Terrero</i>					
Muestras	Au g/t	Ag g/t	Pb %	Cu %	Zn %
EAT47	0.0018	73	6.50	2.05	2.46
EAT48	0.0224	51	2.80	1.23	1.15

Tabla V.8.- Resultados de esquirlas del terrero, mina La Azucena.

CONCLUSIONES

La columna estratigráfica está constituida por rocas pertenecientes al terreno Cuicateco (Arco Chontal), que consta de una secuencia volcanosedimentaria de edad Jurásico superior-Cretácico inferior. En el presente trabajo se logró definir algunas unidades que se atribuyen al Arco Chontal: metavolcánico, metasedimentario y metacaliza.

La cobertura terciaria consiste de limolita, arenisca y conglomerado polimíctico de edad Paleoceno-Eoceno, así como una secuencia volcánica compuesta por toba andesítica, andesita, dacita, toba dacítica, riolita y toba riolítica, intrusionadas por granito, granodiorita, todos de edad Mioceno, cuyo emplazamiento está relacionado con la evolución del vulcanismo y magmatismo de la Sierra Madre del Sur.

Se definió deformación de los regímenes dúctil y frágil, el primero está representado por las unidades del Arco Chontal donde la foliación es de menor grado en facies de esquistos verdes, el segundo consiste de fallamiento normal y lateral relacionado con eventos tectónicos del Mioceno.

Con la prospección minera realizada se localizó un área mineralizada denominada Las Minas, donde se definieron vetas mineralizadas. Las leyes promedio obtenidas con el muestreo que se realizó en esta área mineralizada, son de interés económico en plata, plomo, cobre y zinc.

Se ha determinado que los lotes mineros La Azucena y La Santa Margarita son depósitos epitermales de plata, de tipo baja sulfuración, constituidos por vetas cuarcíferas que se emplazan en andesita de la unidad metavolcánica (*Js(?)MV*).

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar trabajos de exploración a detalle en los alrededores de los socavones mineros La Santa Margarita, La Azucena y el cerro Las Minas, con el fin de delimitar con más detalle las zonas con presencia de mineralización. Al mismo tiempo darle más interés a los socavones obteniendo datos estructurales de todo el interior de las minas para determinar el fracturamiento que está dando origen al hidrotermalismo, también obtener más muestras de esquirlas en el interior de la mina para localizar nuevas zonas de interés.

Con los resultados obtenidos del laboratorio se recomienda realizar un análisis estadístico para determinar las zonas con anomalías de plata y oro. Existen varios métodos estadísticos, por lo que se recomienda el método de Levinson utilizando el programa de Surfer donde se utilizan los resultados totales del muestreo, obteniendo tres intervalos de cada elemento. De esta la forma la asociación de cada uno de los elementos junto con los 5 elementos más importantes (Au, Ag, Cu, Pb, Zn) que existe entre ellos, se determinan los elementos traza, con el fin de proponer nuevas zonas de prospección o determinar lineamientos de estructuras mineralizadas.

Debido a que el yacimiento es muy superficial, es probable que los contenidos metálicos se incrementen a profundidad por lo que se recomienda invertir mayores recursos económicos en un programa de barrenación, pretendiendo definir el volumen de los cuerpos mineralizados así como la profundidad a la que se encuentran y poder calcular las reservas que se tienen en la zona.

ANEXOS

Tabla general de puntos de control y datos estructurales, del área de estudio, Carta E15-C17 Escala 1:50,000

PUNTO	ZONA	X	Y	DATO	RUMBO	ECHADO	ROCA	UNIDAD	OBSERVACIONES
ATI01	15Q	195527	1820122	Masiva	-	-	Toba andesítica	Tm TA-TDa	Toba andesítica con fuerte intemperismo.
ATI02	15Q	196700	1818379	Masiva	-	-	Limolita-Conglomerado polimíctico	Tpae Lm-Cgp	Limolita con fuerte fracturamiento y deleznable; El conglomerado polimíctico de matriz arcillosa con fuerte fracturamiento.
ATI03	15Q	191450	1824538	Foliación	N 70°W	35° SW	Metaandesita	Js (?) MV	Metaandesita foliada con intenso fracturamiento.
ATI04	15Q	192706	1822286	Foliación	-	-	Metacaliza	Kapa MS	Metacaliza con vetillas de calcita y fracturamiento moderado.
ATI05	15Q	189937	1824960	Pseudoestratificación	N 32° W	20° NE	Toba andesítica-Tobadacítica	Tm TA-TDa	Toba lítica andesítica con fuerte fracturamiento.
ATI06	15Q	190429	1819568	Estratificación	N 30° E	18° SE	Limolita-Conglomerado polimíctico	Tpae Lm-Cgp	Conglomerado polimíctico, con fuerte fracturamiento.
ATI07	15Q	192592	1818982	Pseudoestratificación	N 60° W	32° NE	Toba andesítica-Tobadacítica	Tm TA-TDa	Toba lítica andesítica con fuerte fracturamiento.
ATI08	15Q	189857	1825962	Masiva	-	-	Toba andesítica-Tobadacítica	Tm TA-TDa	Toba lítica andesítica con moderado fracturamiento.
ATI09	15Q	195996	1818561	Masiva	-	-	Toba andesítica-Tobadacítica	Tm TA-TDa	Toba lítica andesítica con fuerte fracturamiento.
ATI10	15Q	197393	1825796	Estratificación	N16° W	84° SW	Limolita-Conglomerado polimíctico	Tpae Lm-Cgp	Limolita y arenisca en capas de 2 cm a 30 cm de espesor, ligeramente fracturada.
ATI11	15Q	197691	1824651	Estratificación	N 20° E	15° SE	Limolita-Conglomerado polimíctico	Tpae Lm-Cgp	Conglomerado polimíctico en capas de 25 cm de espesor, con ligero. fracturamiento.
ATI12	15Q	197789	1820537	Estratificación	N 52° E	17° SE	Limolita-Conglomerado polimíctico	Tpae Lm-Cgp	Arenisca en capas de 40 cm de espesor, moderadamente fracturada.
ATI13	15Q	197471	1819578	Estratificación	N 76° W	14° SW	Limolita-Conglomerado polimíctico	Tpae Lm-Cgp	Arenisca fuertemente fracturada.
ATI14	15Q	189049	1822336	Pseudoestratificación	N 65° E	29° NW	Toba andesítica-Tobadacítica	Tm TA-TDa	Toba andesítica fuertemente deleznable.
ATI15	15Q	190076	1822355	Masiva	-	-	Toba andesítica-Tobadacítica	Tm TA-TDa	Andesita fuertemente deleznable.
ATI16	15Q	187311	1823820	Masiva	-	-	Toba andesítica-Tobadacítica	Tm TA-TDa	Toba andesítica.
ATI17	15Q	187526	1824018	Masiva	-	-	Toba andesítica-Tobadacítica	Tm TA-TDa	Toba andesítica ligeramente fracturada.
ATI18	15Q	191628	1825274	Masiva	-	-	Limolita-Conglomerado polimíctico	Tpae Lm-Cgp	Conglomerado polimíctico con matriz arcillosa.
ATI19	15Q	196640	1819293	Estratificación	N 22° E	20° SE	Limolita-Conglomerado polimíctico	Tpae Lm-Cgp	Conglomerado polimíctico y arenisca en capas de 40 cm a 1.50 m de espesor, con moderado fracturamiento.

PUNTO	ZONA	X	Y	DATO	RUMBO	ECHADO	ROCA	UNIDAD	OBSERVACIONES
ATI20	15Q	196392	1820316	Masiva	-	-	Limolita-Conglomerado polimíctico	Tpae Lm-Cgp	Conglomerado polimíctico con clastos subangulosos de 3 mm a 20 cm de diámetro, ligeramente deleznable con moderado fracturamiento.
ATI21	15Q	195629	1820066	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Toba lítica andesítica fuertemente fracturada y se tiene una falla normal con rumbo N 70° W y echado de 68° SW con un pitch de 70° SW
ATI22	15Q	195174	1820824	Foliación	N 10° W	86° NE	Metavolcánica	Js (?) MV	Metatoba de estructura foliada con fuerte fracturamiento.
ATI23	15Q	180265	1820082	Masiva	-	-	Limolita-Conglomerado polimíctico	Tpae Lm-Cgp	Arenisca intensamente fracturada.
ATI24	15Q	180915	1819698	Foliación	N 35° W	53° NE	Metasedimentaria	Knap MS	Metaarenisca y metalutita con fuerte fracturamiento.
ATI25	15Q	181634	1819052	Foliación	N 36° W	55° NE	Metasedimentaria	Knap MS	Metaarenisca y metalutita con fuerte fracturamiento.
ATI26	15Q	194460	1821812	Foliación	N 12° W	56° NE	Metavolcánico	Js (?) MV	Metatoba de estructura foliada con fuerte fracturamiento.
ATI27	15Q	193183	1821258	Masiva	-	-	Metacaliza	Kapa MS	Metacaliza con vetillas de calcita y fuerte fracturamiento.
ATI28	15Q	195647	1819545	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Toba lítica dacítica con fuerte fracturamiento. Manifestación San Bartolo de cuerpo irregular con oxidación y silicificación.
ATI29	15Q	182146	1817939	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Andesita moderadamente fracturada.
ATI30	15Q	183625	1819022	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Andesita moderadamente fracturada.
ATI31	15Q	184243	1819234	Pseudoestratificación	N 22° E	34° SE	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Toba andesítica en pseudoestratos de 5cm a 25 cm.
ATI32	15Q	181467	1817397	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Toba andesítica moderadamente fracturada.
ATI33	15Q	182420	1818574	Masiva	-	-	Limolita-Conglomerado polimíctico	Tpae Lm-Cgp	Conglomerado polimíctico con clastos subangulosos a subredondeados de andesita, caliza, filita, cuarzo y arenisca.
ATI34	15Q	183363	1818799	Contacto	-	-	Limolita-Conglomerado polimíctico / Toba andesítica-Toba dacítica	Tpae Lm-Cgp / Tm TA-TDa	Contacto entre conglomerado polimíctico y toba andesítica con moderado fracturamiento.
ATI35	15Q	201202	1816127	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Toba lítica andesítica con fracturamiento moderado.
ATI36	15Q	190817	1823280	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Toba lítica andesítica moderadamente deleznable con fuerte fracturamiento.
ATI37	15Q	192160	1824953	Foliación	N 10° E	34° NW	Metavolcánica	Js (?) MV	Metaandesita de estructura foliada con fuerte fracturamiento.
ATI38	15Q	193201	1824534	Foliación	N 20° E	60° NW	Metavolcánica	Js (?) MV	Metaandesita de estructura foliada con fuerte fracturamiento.

PUNTO	ZONA	X	Y	DATO	RUMBO	ECHADO	ROCA	UNIDAD	OBSERVACIONES
ATI39	15Q	192396	1826168	Foliación	N 80° E	46° NW	Metavolcánica	Js (?) MV	Metaandesita de estructura foliada con fuerte fracturamiento.
ATI40	15Q	191790	1822800	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Toba dacítica moderadamente fracturada.
ATI41	15Q	194073	1819913	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Toba lítica dacítica moderadamente fracturada.
ATI42	15Q	190054	1820368	Masiva	-	-	Limolita-Conglomerado polimíctico	Tpae Lm-Cgp	Conglomerada polimíctico ligeramente deleznable y moderadamente fracturada.
ATI43	15Q	190110	1820234	Masiva	-	-	Limolita-Conglomerado polimíctico	Tpae Lm-Cgp	Conglomerado polimíctico, donde se tiene una veta de cuarzo.
ATI44	15Q	190600	1825200	Masiva	-	-	Metavolcánica	Js (?) MV	Metaandesita con vetillas de calcita y fuertemente fracturada. Con presencia de oxidación y silicificación.
ATI45	15Q	185162	1817699	Pseudoestratificación	N 31° W	09° NE	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Toba andesítica ligeramente fracturada
ATI46	15Q	185502	1817550	Pseudoestratificación	N 80° W	20° NE	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Toba andesítica ligeramente fracturada
ATI47	15Q	191325	1818115	Pseudoestratificación	N 80° E	15° NW	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Arenisca volcánica en capas de 2 cm a 1.20 m de espesor, con moderado a fuerte fracturamiento.
ATI48	15Q	193529	1817327	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Toba andesítica con fuerte fracturamiento.
ATI49	15Q	184910	1818838	Foliación	N 88° E	40° NW	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Toba dacítica y arenisca teácea con fuerte fracturamiento y moderadamente deleznable.
ATI50	15Q	185758	1818592	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Toba dacítica ligeramente deleznable y moderadamente fracturada. Se tiene el banco activo Campanario donde se explota la puzolana.
ATI51	15Q	187387	1818699	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Andesita porfídica fuertemente fracturada.
ATI52	15Q	189611	1819398	Pseudoestratificación	N 55° W	20° SW	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Toba lítica andesítica fuertemente fracturada.
ATI53	15Q	191152	1820395	Pseudoestratificación	N 83° W	19° NE	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Toba lítica andesítica fuertemente fracturada.
ATI54	15Q	179923	1825712	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Andesita porfídica fuertemente fracturada con presencia de pirita.
ATI55	15Q	179915	1824986	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Andesita porfídica fuertemente fracturada.
ATI56	15Q	179903	1823839	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Dacita porfídica ligeramente fracturada.
ATI57	15Q	179741	1824396	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Dacita porfídica moderadamente fracturada.
ATI58	15Q	188644	1818047	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Dacita porfídica fuertemente fracturada.

PUNTO	ZONA	X	Y	DATO	RUMBO	ECHADO	ROCA	UNIDAD	OBSERVACIONES
ATI59	15Q	191841	1816607	Pseudoestratificación	N12° E	13° SE	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Andesita porfídica ligeramente fracturada.
ATI60	15Q	191342	1818052	Pseudoestratificación	N 75° E	16° NW	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Toba andesítica ligeramente fracturada.
ATI61	15Q	180078	1807371	Foliación	N 70° E	57° NW	Metasedimentaria	Knap MS	Filita con lentes de metaarenisca y cuarzo de segregación, moderadamente fracturada y plegada.
ATI62	15Q	183527	1826184	Pseudoestratificación	N 62° E	14° NW	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Toba andesítica intensamente fracturada y ligeramente deleznable.
ATI63	15Q	181272	1823546	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Dacita fuertemente intemperizada y fracturada.
ATI64	15Q	182258	1823226	Pseudoestratificación	N 25° E	59° NW	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Dacita porfídica en pseudoestratos delgados.
ATI65	15Q	183524	1823340	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Dacita porfídica.
ATI66	15Q	182707	1824427	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Dacita fuertemente intemperizada y moderadamente fracturada.
ATI67	15Q	183729	1826005	Pseudoestratificación	N 64° W	18° NE	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Toba andesítica fuertemente fracturada.
ATI68	15Q	185285	1823086	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Toba andesítica moderadamente deleznable e intensamente fracturada.
ATI69	15Q	184632	1823254	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Dacita porfídica ligeramente fracturada.
ATI70	15Q	185466	1822361	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Andesita porfídica intensamente fracturada.
ATI71	15Q	185143	1821556	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Dacita porfídica fuertemente fracturada e intemperizada.
ATI72	15Q	184813	1820900	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Dacita porfídica intensamente fracturada.
ATI73	15Q	184744	1819982	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Toba andesítica fuertemente fracturada.
ATI74	15Q	182008	1815186	Pseudoestratificación	N 57° W	76° SW	Toba Riolítica	Tm R - TR	Riolita moderadamente fracturada e intemperizada.
ATI75	15Q	182612	1815591	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Dacita porfídica fuertemente fracturada.
ATI76	15Q	183486	1816082	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Toba andesítica fuertemente fracturada.
ATI77	15Q	182822	1816276	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Andesita porfídica intensamente fracturada.
ATI78	15Q	183342	1816992	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Andesita porfídica intensamente fracturada.
ATI79	15Q	183090	1818131	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Andesita porfídica intensamente fracturada.
ATI80	15Q	180016	1821264	Pseudoestratificación	N 76° W	27° NE	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Arenisca tobácea fuertemente fracturada.
ATI81	15Q	180051	1820717	Contacto	N 26° W	71° SW	Toba andesítica-Toba dacítica / Pórfido andesítico-Pórfido dacítico	Tm TA-TDa / Tm PA-PDa	Contacto de pórfido andesítico que afecta a toba andesítica moderadamente fracturada.

PUNTO	ZONA	X	Y	DATO	RUMBO	ECHADO	ROCA	UNIDAD	OBSERVACIONES
ATI82	15Q	180020	1820328	Masiva	-	-	Metasedimentaria	Knap MS	Filita con metaarenisca plegada con intenso fracturamiento.
ATI83	15Q	198498	1818848	Masiva	-	-	Limolita-Conglomerado polimíctico	Tpae Lm-Cgp	Conglomerado polimíctico y arenisca con moderado fracturamiento.
ATI84	15Q	190391	1825763	Masiva	-	-	Toba andesítica-Toba dacítica	Tm TA-TDa	Andesita con piritas diseminadas e intensamente fracturada.
ATI85	15Q	194990	1820421	Masiva	-	-	Limolita-Conglomerado polimíctico / Metavolcánica	Tpae Lm-Cgp / Js (?) MV	Contacto de arenisca con metatoba con intenso fracturamiento.
ATI86	15Q	180177	1820405	Masiva	-	-	Limolita-Conglomerado polimíctico	Tpae Lm-Cgp	Conglomerado polimíctico con moderado fracturamiento. Se tiene un plano de falla San Bartolo.
ATI87	15Q	181470	1818895	Masiva	-	-	Metacaliza	Kapa MS	Metacaliza moderadamente fracturada.
ATI88	15Q	180086	1820588	Masiva	-	-	Limolita-Conglomerado polimíctico / Toba andesítica-Toba dacítica	Tpae Lm-Cgp / Tm TA-TDa	Contacto discordante entre andesita y conglomerado polimíctico fuertemente fracturado.
ATI89	15Q	193244	1823750	Masiva	-	-	Metasedimentaria	Knap MS	Metaandesita con vetillas de cuarzo y fuerte fracturamiento. Se tiene la mina La Santa Margarita.
ATI90	15Q	193113	1824030	Masiva	-	-	Metasedimentaria	Knap MS	Metatoba con vetillas de cuarzo y fuerte fracturamiento. Se localiza la mina La Azucena.
ATI91	15Q	193138	1823969	Masiva	-	-	Metasedimentaria	Knap MS	Metaandesita con vetillas de cuarzo y fuertemente fracturada.
ATI92	15Q	193102	1823849	Masiva	-	-	Metasedimentaria	Knap MS	Metatoba con vetillas de cuarzo y fuerte fracturamiento.
ATI93	15Q	193171	1823712	Masiva	-	-	Metasedimentaria	Knap MS	Metaandesita con vetillas de cuarzo y fuerte fracturamiento.
ATI94	15Q	193135	1823550	Foliación	N 10° E	15° NW	Metasedimentaria	Knap MS	Metaandesita con fuerte fracturamiento.
ATI95	15Q	180805	1819490	Foliación	N 35° W	55° NE	Metasedimentaria	Knap MS	Metalutita con microlitones de arenisca con fuerte fracturamiento.
ATI96	15Q	180146	1815293	Masiva	-	-	Pórfido andesítico-Pórfido dacítico	Tm PA-PDa	Pórfido andesítico con intemperismo esferoidal y moderado fracturamiento.
ATI97	15Q	179989	1814073	Foliación	N 32° E	68° NW	Metasedimentaria	Knap MS	Metalutita, metaarenisca y conglomerado, intensamente fracturada.
ATI98	15Q	179999	1814331	Foliación	N 20° E	58° NW	Metasedimentaria/Toba andesítica	Knap MS / Tm TA-TDa	Contacto discordante de metalutita y metaarenisca con la toba andesítica, fuertemente fracturada.
ATI99	15Q	192665	1824070	Masiva	-	-	Metacaliza	Kapa MS	Metacaliza intensamente fracturada.
ATI100	15Q	193118	1823516	Masiva	-	-	Metacaliza	Kapa MS	Metacaliza intensamente fracturada.
ATI101	15Q	193889	1822200	Foliación	N 42° W	37° SW	Metavolcánica	Js (?) MV	Metatoba fuertemente fracturada y deleznable.
ATI102	15Q	193876	1822641	Foliación	N 65° W	40° SW	Metavolcánica	Js (?) MV	Metatoba fuertemente fracturada y deleznable. Se tiene una estructura en forma de manto Cerro Las Minas.

PUNTO	ZONA	X	Y	DATO	RUMBO	ECHADO	ROCA	UNIDAD	OBSERVACIONES
ATI103	15Q	193169	1823673	Foliación	N 48° E	16° NW	Metavolcánica	Js (?) MV	Metatoba fuertemente fracturada y deleznable.
ATI104	15Q	197660	1806835	Foliación	N 35° W	50° SW	Metasedimentaria	Knap MS	Metalutita y metaarenisca con fuerte fracturamiento.
ATI105	15Q	196389	1818291	Masiva	-	-	Limolita-Conglomerado polimictico	Tpae Lm-Cgp	Conglomerado polimictico fuertemente fracturado.
ATI106	15Q	193204	1824088	Foliación	N 42° W	37° SW	Metasedimentaria	Knap MS	Metaandesita con fuerte fracturamiento. Se tiene la mina Margarita de estructura en forma de manto.
ATI107	15Q	189732	1821471	Pseudoestratificación	N 57° W	15° NE	Toba andesítica/Toba dacítica	(Tm TA-TDa)	Toba andesítica con presencia de óxidos de hierro, intensamente fracturada.
ATI108	15Q	189417	1821844	Pseudoestratificación	N 42° E	16° SE	Toba andesítica/Toba dacítica	(Tm TA-TDa)	Toba andesítica con presencia de óxidos de hierro, intensamente fracturada.
ATI109	15Q	181883	1818365	Foliación	N 15° W	36° NE	Metacaliza	Kapa MS	Metacaliza con moderado fracturamiento con lentes de pedernal.
ATI110	15Q	180834	1818570	Foliación	N 70° W	38° NE	Metasedimentaria	Knap MS	Metalutita con microlitones de metaarenisca con fuerte fracturamiento.
ATI111	15Q	181319	1818204	Foliación	N 75° W	32° NE	Metasedimentaria	Knap MS	Filita con fuerte fracturamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera J. G., 1897.** Bosquejo Geológico de México: Instituto Geológico de México, Boletín 4-6., p. 267.
- Ángeles-Moreno, E., 2006.** Petrografía, geología estructural y geocronología del borde noroccidental del terreno Cuicateco, Sierra Mazateca, estado de Oaxaca, México: México D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias de la Tierra, tesis de maestría, 219 p.
- Alaniz-Álvarez, S. A., Nieto-Samaniego, A. F., Morán-Zenteno, D. J., Alba-Aldave, L., 2002b,** Rhyolitic volcanism in extension zone associated with strike-slip tectonics in the Taxco region, Southern México: Journal of Volcanology and Geothermal Research, vol. 118, p. 1-14.
- Alzaga-Ruíz, H., Pano, A.A., 1989,** Origen de la Formación Chivillas y presencia del Jurásico tardío en la región de Tehuacán, Puebla, México: Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, 21, (1), 5–15.
- Baker C. L., 1930.** Geological Cross Section of Isthmus of Tehuantepec. Revista Pan-American Geologist, Volumen LIII, April, 1930.
- Barboza-Gudiño, J. R., 1994,** Regionalgeologische Erkundungen entlang del GEOLIMEX Transverse in Südmexiko, unter besonderer Berücksichtigung der Sierra de Juárez, Oaxaca: ClausthalZellerfel, T. U. Clausthal, Tesis doctoral, 139 p.
- Barboza-Gudiño, J.R., Schwab, K., 1996,** Contribución a la geología de la Sierra de Juárez en el sur de México: Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil 1, 1994 H. 7/8, 991–1005.
- Berger, B.R., Eimon, P.L., 1983,** Conceptual models of epithermal precious metal deposits, en Shanks, W.C. (ed.), Cameron volume on unconventional mineral deposits: New York, E.U.A., Society of Mining Engineers, 191-205.
- Campa U. M. F. and Coney P., 1983.** Tectonostratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico. Canadian Journal. Earth Science, Vol. 20, Pp.1040-1051.
- Camprubí A. y Albinson T., 2006.** Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Volumen conmemorativo del centenario revisión de algunas tipologías de depósitos minerales en México, Tomó LVIII, No. 4, 2006, pp. 27-81.
- Camprubí, A., Ferrari, L., Cosca, M.A., Cardellach, E., Canals, À., 2003b,** Ages of epithermal deposits in Mexico: regional significance and links with the evolution of Tertiary volcanism: Economic Geology, 98, 1029-1037.

- Carfantan J. C., 1980.** Carta de la porción meridional del Istmo de Tehuantepec.
- Carfantan J. C., 1981.** Evolución estructural del sureste de México; paleogeografía e historia tectónica de las zonas internas mesozoicas. Instituto de Geología, UNAM. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 5, No. 2. pp. 207-216.
- Carfantan J. C., 1983.** Les ensembles géologiques du Mexique meridional. Evolution géodynamique durant le Mésozoïque et le Cénozoïque: Geofísica Internacional, 22, 9-37.
- Carfantan J. C., 1985.** Du System Cordillerain Nord-Americain Au Domaine Caraibe. Etude Géologique Du Mexique Meridional. Tesis Doctoral, Université de Savoie a Chambéry, Travaux Du Département Des Sciences de la Terre.
- Castro M. J., Arreola T. E., 2000.** Informe geológico-minero evaluativo del Lote "La Azucena" localizado en el municipio de San Juan Lajarcia, estado de Oaxaca. Consejo de Recursos Minerales (Archivo Técnico).
- Castro M. J., Arreola T. E., 2000.** Informe geológico-minero evaluativo del lote "La Valencia" localizado en el municipio de Santa María Ecatepec, estado de Oaxaca. Consejo de Recursos Minerales (Archivo Técnico).
- Centeno-García E., Guerrero-Suastegui M., y Talvera-Mendoza O., 2008,** The Guerrero Composite Terrane of western Mexico: collision and subsequent rifting in a suprasubduction zone: Geological Society of America Special Paper.
- Cerca, M., Ferrari, L., Bonini, M., Corti, G., Manetti, P., 2004,** The role of crustal heterogeneity in controlling vertical coupling during Laramide shortening and the development of the Caribbean-North America transform boundary in southern Mexico: insights from analogue model, en Grocott, J., McCaffrey, K. J. W., Taylor, G., Tikoff, B. (eds) 2004. Vertical Coupling and Decoupling in the Lithosphere: Geological Society, London, Special Publications, vol. 227, p. 117-140.
- Coney P. J., 1978.** Mesozoic-Cenozoic cordilleran plate tectonics: Geological Society of America Memoir, v. 152, p. 33-49.
- Consejo de Recursos Minerales, 1996.** Monografía geológico-minera del estado de Oaxaca. Servicio Geológico Mexicano. p. 280.
- Clark, K.F., Foster, C.T., Damon, P.E., 1982,** Cenozoic mineral deposits and subduction-related magmatic arcs in Mexico: Geological Society of America Bulletin, 93, 533-544.
- Damon, P.E., Shafiqullah, M., Clark, K.F., 1981,** Evolución de los arcos magmáticos en México y su relación con la metalogénesis: Revista del Instituto de Geología U.N.A.M., 5, 131-139.

- Dávalos A. O. G., 2006.** Evolución tectónica cenozoica, en la porción norte de la falla de Oaxaca. Tesis de maestría en Ciencias de la Tierra, posgrado en ciencias de la tierra, UNAM. Pp. 123.
- Delgado-Argote. L. A., 1988.** Geología Preliminar Volcanosedimentaria y Serpentinias Asociadas del Jurásico (¿) del Área de Cuicatlán Concepción Papalo, Oaxaca. UNAM. Instituto de Geología. Rev. Vol. 7 No. 2 p. 127-135
- Delgado-Argote, L. A., López-Martínez, M., York, D., Hall, C.M., 1992,** Geologic framework and geochronology of ultramafic complexes of the southern México: Canadian Journal of Earth Sciences 29, 1590-1604.
- Delgado-Argote, L. A., Ruvinovich, C. R., Gasca, D. A., 1986.** Descripción preliminar de la geología y mecánica de emplazamiento del complejo ultrabásico del cretácico de Loma Baya, Guerrero, México: Geofísica Internacional, vol. 25-4, p.537-558.
- Depósitos Epitermales S/F.** www.cec.uchile.vmaksaev/DepositosEpitermales.pdf.
- Dickinson, W. R., Lawton, T. F., 2001,** Carboniferous to Cretaceous assembly and fragmentation of Mexico: Geological Society of America Bulletin, vol.113, p. 1142-1160.
- Erben H. K. 1956.** El Jurásico medio y el Calloviano de México. XX Congreso Geológico Internacional, México, p. 139.
- Ferrusquía-Villafranca, I., 1976,** Estudios geológico-paleontológicos en la región de la Mixteca, Parte 1: Geología del área Tamazulapan-Teposcolula-Yanhuitlán, Mixteca Alta, Estado de Oaxaca, México: Boletín 97, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 160 p.
- Ferrusquía V. I., 1999.** Contribución al conocimiento geológico de Oaxaca, México Área Laollaga-Lachiviza: Universidad Nacional Autónoma. México, Instituto de Geología, UNAM. Boletín 110. 106 paginas.
- Fries Jr. C.; Schmitter V. E.; Damon P. E. y Livingston D. E., 1962.** Rocas Precámbricas de edad Grenvillana de la parte Central de Oaxaca, en el sur de México. Boletín del Instituto de Geología de la UNAM, No.73, p.57-137.
- García P. J. M., 1982.** Informe Geológico No. 833 Zona Sur "Prospecto Tehuantepec". Petróleos Mexicanos (PEMEX).
- Gómez T A., Orozco E. M. T., Ferrari L. 2005.** Patogénesis ígnea de la faja volcánica transmexicana. Centro de Geociencias UNAM. Boletín de la sociedad geológica mexicana, Vol. 57, No. 3, pp. 227-283.

- González A. J., 1969.** Geología del Área Matías Romero, Oax., Pemex, Superintendencia General de Exploración Geológica Zona Sur, Informe Geológico, No. 533, 78 p. Inédito.
- Guilbert, J. and Park, C., 1986,** The geology of ore deposits: W.H. Freeman and Co., New York, 985 p.
- Ham W. J. M., 1982.** Informe Geológico del Prospecto Las Cruces, Edo. de Oaxaca. I.G.Z.S. 832. PEMEX. Inédito.
- Heald, P., Foley, N.K., Hayba, D.O., 1987,** Comparative anatomy of volcanic- hosted epithermal deposits: acid-sulfate and adularia-sericite types: *Economic Geology*, 82, 1-26.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A. Jr., Urien-Gonzalez, E., 2000,** Exploration for epithermal gold deposits: *Reviews in Economic Geology*, 13, 245-277.
- INEGI 1984.** Carta geológica Juchitán de Zaragoza con Clave: E15-10. d151. Escala 1: 250,000.
- Islas T. J. J., Salinas R. J. M y Lemus B. O., 2006.** Carta geológico-minera Santiago Lachiguiri E15-C62, escala 1:50,000. Servicio Geológico Mexicano.
- Hisazumi, H., 1932,** Geología de la región Mixteca del estado de Oaxaca: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Informe inédito, 98 p.
- Jerjes P A. 1985.** Geocronometría del magmatismo cretácico-terciario de la Sierra Madre del Sur. CFE.
- Jiménez H. A., Motolinía G. O., 2006.** Carta geológico-minera Jalapa de Marqués E15-C71, escala 1:50,000. Servicio Geológico Mexicano.
- Keppie, J. D., 2004,** Terranes of Mexico revisited: 1.3 billion year odyssey: *International Geology Review*, vol. 46, p. 765-794.
- Keppie J. D and Ortega G. F., 1999.** Middle American Precambrian basement: A missing piece of the reconstructed 1 Ga orogen, *in* Ramos, V.A., and Keppie, J.D., eds., *Laurentia-Gondwana connections before Pangea: Geological Society of America Special Paper 336*, p. 199-210.
- Keppie J. D., Solari L. A., Ortega-Gutiérrez F., Ortega-Rivera A., Hames W.E., and Lopez R., 2004.** U-Pb and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ constraints on the cooling history of the northern Oaxaca Complex, southern Mexico: Tectonic implications. *Geological Society of America Memoir no. 197*, 771-782.

- Lara G. S. A., 1985.** Estudio geológico regional de la parte SE del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM, 68 páginas.
- Loeza G. J. P., Fitz B. C., 2006.** Realizó Informe geológico-minero de la carta Santo Domingo E15-C64, escala 1:50,000, estado de Oaxaca. Servicio Geológico Mexicano. (Archivo Técnico).
- López C. L., 1969.** Notas geológico-mineras sobre las manifestaciones cupríferas de Santa María Ecatepec, Oaxaca. Consejo de Recursos Minerales.
- López R. E., 1981.** Paleogeografía y tectónica del mesozoico en México. Instituto de Geología, UNAM. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Vol. 5, No. 2, pp. 158-177.
- Martínez S. R. G. Solís P. G., Flores M. E. L., Macías R. C y Delgado D., 2008.** Geochemical and Sr-Nd isotopic Characterization of the Miocene volcanic events in the Sierra Madre del Sur, central and southeastern Oaxaca, Mexico. Instituto de Geología, Instituto de Geofísica, UNAM. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Vol. 25, No. 1, pp. 1-20.
- Martínez A. H., Castro R. M. G., Motolinía G. O., Salinas R. J. M., Aranda O. J. N y Zarate B. R., 1999.** Informe geológico-minero de la carta Juchitán E15-10, escala 1:250,000, estado de Oaxaca. Servicio Geológico Mexicano. (Archivo Técnico).
- Martínez A. H., Mendoza T. A., 2006.** Realizó Informe geológico-minero de la carta Ciudad Ixtepec E15-C63, escala 1:50,000, estado de Oaxaca. Servicio Geológico Mexicano. (Archivo Técnico).
- Mora O. G., 1990.** Evolución Geológica del Istmo de Tehuantepec y sus Implicaciones Petroleras: UNAM. Tesis de Doctorado, Facultad de Ingeniería, Instituto de Geología, p. 116.
- Morán Z. D. J., Martiny B., Tolson G., Solís P. G., Alba A. L., Hernández B M. S., Macías R. C., Martínez S. R. G. S. P y Silva R. G., 2000.** Geocronología y características geoquímicas de las rocas magmáticas terciarias de la Sierra Madre del Sur. Instituto de Geología, Instituto de Geofísica, UNAM. Boletín de la Sociedad Mexicana, Tomo LIII, No. 1, pp. 27-58.
- Morán-Zenteno, D. J., Corona-Chávez, P., Tolson, G., 1996,** Uplift and subduction erosion in southwestern Mexico since the ologocene: Pluton geobarometry constraints: Earth and Planetary Science Letters, vol. 141, Nos. 1-4, p. 55-66.
- Morán-Zenteno, D. J., Tolson, G., Martínez-Serrano, R. G., Martiny, B., Schaaf, P., Silva-Romo, G., Macías-Romo, C., Alba-Aldave, L., Hernández-Bernal, M. S., Solís-Pichardo, G. N., 1999,** Tertiary arc-magmatism of the Sierra Madre del Sur, México, and its transition to the volcanic activity of the Trans-Mexican Volcanic Belt: Journal of South American Earth Science, vol. 12, p. 513-535.

- Morán-Zenteno, D. J., Cerca, M., Keppie, J. D., 2005**, La evolución tectónica y magmática cenozoica del suroeste de México: avances y problemas de interpretación: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo LII, No. 1, p. 319-341.
- Morán, Z. D. J., Duncan J. K., Martiny B. y González T. E., 2009**. Reassessment of the Paleogene position of the Chortis block relative to southern Mexico: hierarchical ranking of data and features. Instituto de Geología, UNAM. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 26, No. 1, pp. 177-188.
- Morán, Z. D. J., 1984**. Geología de la República Mexicana. Facultad de Ingeniería, UNAM. pp. 88.
- Nieto-Samaniego, A.F., Alaniz-Álvarez, S.A., Camprubí, A., 2005**, La Mesa Central de México: estratigrafía, estructura y evolución tectónica cenozoica: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 57, 285-317.
- Nieto-Samaniego, A., F., Alaniz-Álvarez, S. A., Silva-Roma, G., Eguiza-Castro, M. H., Mendoza-Rosales, C. C., 2006**, Latest Cretaceous to Miocene deformation events in the eastern Sierra Madre del Sur, Mexico, inferred from the geometry and age of major structures: Geological Society of America Bulletin, vol. 118, No.1/2, p. 238-252.
- Ojeda, R. J., 1964**. Estratigrafía de la parte Meridional del Istmo de Tehuantepec. 1er. Seminario C.R.N.N.R., Memoria (inédito).
- Ojeda, R. J., 1966**. Reconocimiento Geológico de la parte meridional del Istmo de Tehuantepec. C.R.N.N.R. y O.N.U.
- Olivella L. M., 1977**. Estudio geológico-petrolero de la porción sur del Istmo de Tehuantepec. Tesis profesional, UNAM.
- Ortega-González, J. V., Lambarria-Silva, C., 1991**, Informe geológico del prospecto Hoja Oaxaca, compilación geológica I. G. R. S. 1129: PEMEX, Coordinación Divisional de Exploración, Gerencia de Exploración Región Sur, Subgerencia de Geología superficial y Geoquímica, Inédito, 190 p.
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L.M., Rodán-Quintana, J., Sánchez-Rubio, G., de la Fuente, M., 1991**, North American Continent-Ocean Transects program, Transect H-3, Acapulco Trench to the Gulf of Mexico across southern Mexico: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Decade of North American Geology Program, 9 pp., mapa y secciones.
- Ortega, G. F., 1981**. La evolución tectónica premisisipica del sur de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, revista, vol. 5 Núm. 2, p 140-157.

- Ortega, G. F., Mitre S. L. M., Roldán Q. J., Aranda G. J. J., Morán Z, D. J., Alaniz Á. S. A., Nieto S. Á. F., 1992.** Carta geológica de la República Mexicana: quinta edición escala 1:2.000,000: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología; Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales, 1 mapa, texto explicativo pp 74.
- Ortega-Gutiérrez, F., Sedlock, R.L., Speed, R., 1994,** Phanerozoic tectonic evolution of Mexico, *en* Speed, R.C. (ed.), Phanerozoic tectonic evolution of North American continent-ocean transitions: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Decade of North American Geology summary volume to accompany the DNAG continent-ocean transect series, v. 13, Boulder, Co., p. 265-306.
- Ortuño-Arzate, S., y Ruiz-Violante, A., 1985,** Estudio estratigráfico-sedimentológico del Jurásico Superior-Cretácico Inferior en el Prospecto La Zacatera, Oaxaca: Instituto mexicano del Petróleo, Proyecto C-3004, 101 p. (inédito)
- Ortiz, H. L. E., 2001.** Criterio y especificaciones concernientes a la exploración y valoración de minerales de zeolitas en la República Mexicana, Boletín técnico No. 42, Consejo de Recursos Minerales 2001.
- Pérez G. R., Solari L. A., Gómez T. A y Valencia V. A., 2009.** El terreno Cuicateco: ¿cuenca oceánica con influencia de subducción del Cretácico Superior en el sur de México? Nuevos datos estructurales, geoquímicos y geocronológicos, Instituto de Geología, UNAM. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 26, No. 1, pp. 222-242.
- Pindell, J. L., Cande, S. C., Pitman, W. C., III, Rowley, D. B., Dewey, J. F., Labrecque, J., Haxby, W., 1988,** A plate-Kinematic framework for models of Caribbean evolution: Tectonophysics, vol. 155, p. 121-138.
- Quezada M. J. M., 1979.** Prospecto Tlaxiaco-Yolomecatl I. G. Z. S. No. 770 Pemex, inédito.
- Raisz, E. 1964.** Landforms of Mexico (chart). Geography Branch of the Naval Research. 2° ed. Cambridge, Mass. USA.
- Reyes, A.G., 1990,** Petrology of Philippine geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment: Journal of Volcanology and Geothermal Research, 43, 279-309.
- Reyes, A.G., 1991,** Mineralogy, distribution and origin of acid alteration in Philippine geothermal systems: Geological Survey of Japan Reports, 277, 59-65.
- Reyes, A.G., Giggenbach, W.F., Saleras, J.R.M., Salonga, N.S., Vergara, M.C., 1993,** Petrology and geochemistry of Alto Peak, a vapor-cored hydrothermal system: Geothermics, 22, 479-519.

- Salas G. P., 1949.** Bosquejo Geológico de la Cuenca Sedimentaria de Oaxaca. Asoc. Mex. Geol. Petrol., Vol. I, p. 79-156.
- Sánchez S. E., 1986.** Informe de la visita de reconocimiento al lote minero Santa Margarita, ubicado en el municipio de San Juan Lajarcia, Oaxaca. Consejo de Recursos Minerales. Archivo técnico, clave 2086SASE0010. p. 29.
- Schaaf P., Morán-Zenteno, D., Hernández-Bernal, M. S., Solís-Pichardo, G., Tolson, G., Köhler, H., 1995,** Paleogene continental margin truncation in southwestern Mexico: geochronological evidence: *Tectonics*, vol. 14, p. 1339-1350.
- Sedlock R. L., Ortega G. F. and Speed R. C., 1993.** Tectonostratigraphic Terranes and Tectonic Evolution of México. Boulder Colorado, The Geological Society of America, Special Paper 278, pp. 1-153.
- Sillitoe, R.H., 1977,** Metallic mineralization affiliated to subaerial volcanism: a review, en *Volcanic processes in ore genesis: Institution of Mining and Metallurgy-Geological Society of London*, 99-116.
- Sillitoe, R.H., 1988,** Environments, styles and origins of gold deposits in western Pacific island arcs, en *Bicentennial Gold 88: Geological Society of Australia, Abstracts*, 22, 127-138.
- Sillitoe, R.H., 1993,** Epithermal models: genetic types, geometrical controls and shallow features, en Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., Duke, J.M. (eds.), *Mineral Deposit Modeling: Geological Association of Canada Special Paper*, 40, 403-417.
- Sillitoe, R.H., Hedenquist, J.W., 2003,** Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits: *Society of Economic Geologists, Special Publication Series*, 10, 314-343.
- Silva R. G y Mendoza R. C. C., 2009.** Evaluación geológica de los modelos para el truncamiento cenozoico del sur de México: Erosión por subducción y *detachment* del bloque Chortís, Departamento de Geología, Facultad de Ingeniería UNAM, revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 26, No. 1, 2009, p. 165-176.
- Simmons, S. F., White, N. C. and John, D., 2005,** Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits: *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, p. 485-522.
- Solana L. J., 1997.** Informe de la visita de reconocimiento al lote minero “La Azucena”, municipio de San Juan Lajarcia, Oaxaca. Consejo de Recursos Minerales. (Archivo Técnico), clave 2086SASE0010. p. 24.
- Solari L. L. A., 2002.** *990 and 1100 Ma Grenvillian tectonothermal events in the northern Oaxacan Complex, southern Mexico: roots of an orogen.* ELSEVIER.

- Solari, L. A., Keppie, J.D., Ortega-Gutiérrez, F., Cameron, K.L., Lopez, R., 2004.** 990 Ma peak granulitic metamorphism and amalgamation of Oaxaquia, México: U-Pb zircón geochronological and common Pb isotopic data: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 21 (2), 212-215.
- Solari L. A., Corona C. P y Martens U., 2009,** Evolución mesozoica y cenozoica del sur de México, y sus conexiones con el bloque Chortís, Instituto de Geología y Centro de Geociencias, UNAM *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Vol. 26, No. 1, , p. 163-164.
- Stirton, R.A., 1954,** Late Miocene mammals from Oaxaca, Mexico: *American Journal of Science*, Series 4, 252, 634-638.
- Tolson G., 1998.** Deformación exhumación y neotectónica de la margen continental de Oaxaca: datos estructurales, petrológicos y geotermobarométricos. Tesis doctoral, Posgrado de Geofísica, UNAM. 98 páginas.
- Tolson G., 2005.** La falla Chacalapa en el sur de Oaxaca, Instituto de Geología, UNAM, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Tomo LVII, No. 1, Pp. 111-122.
- Sociedad Geológica Mexicana 1969.** Notas geológico-mineras sobre la zona cuprífera “El Coyul”, municipio de San Juan Lajarcia, Oaxaca. Consejo de Recursos Minerales.
- Valverde, R. J., 1988.** Informe de la visita de reconocimiento al lote minero “Santa Margarita”, ubicada en el municipio de San Juan Lajarcia, Oaxaca. Consejo de Recursos Minerales.
- Vázquez, O. A., 1982.** Prospecto el Coyul. Pemex. Superintendencia General de Exploración zona sur. Superintendencia de Geología. Departamento de Geología Superficial.
- Vila, G. O. T. 1973.** Geología general de una porción al sur del estado de Oaxaca: México D. F. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, tesis profesional, 22 p. (inérita).
- White, N.C., Hedenquist, J.W., 1990,** Epithermal environments and styles of mineralization: variations and their causes, and guidelines for exploration: *Journal of Geochemical Exploration*, 36, 445-474.
- White, N.C., Leake, M.J., McCaughey, S.N., Parris, B.W., 1995,** Epithermal gold deposits of the southwest Pacific: *Journal of Geochemical Exploration*, 54, 87-136.
- Zaldivar-Ruiz, J., 1990,** La franja de intrusiones graníticas del Paleozoico Superior en el Occidente de Oaxaca y sur de Puebla, Resúmenes: X Convención Geológica Nacional: *Sociedad Geológica Mexicana*, México, p. 57-58.

Zaldivar–Ruiz, J., Santamaría–Orozco, D., Ortuño–Arzate, S., Guzman, –Vega, M., Adatte, T., Soto–Navarro, P., Soto–Jaramillo, F., Hernández–Jiménez, M.A., Bertrand–Camargo, C, 1993, Estudio de la evolución geodinámica de la Cuenca de Tlaxiaco: Instituto Mexicano del Petróleo, Subdirección de Tecnología de Exploración, Gerencia de Investigación Aplicada a la Exploración, CAO–3509, p. 170 (reporte inédito).