

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

***EXPLORACIÓN GEOLÓGICA EN EL ÁREA COMPRENDIDA ENTRE LOS
MUNICIPIOS DE AXOCHIAPAN, ESTADO DE MORELOS Y JOLALPAN,
ESTADO DE PUEBLA***

INFORME QUE PRESENTA

VÍCTOR MIGUEL PADILLA HERNÁNDEZ

PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO

BAJO LA MODALIDAD DE TRABAJO PROFESIONAL

Director de informe: Ing. Miguel I. Vera Ocampo

La información presente en este trabajo forma parte del informe elaborado para el Servicio Geológico Mexicano de la carta Geológico Minera y Geoquímica Huehuetlán, con clave INEGI E14B71, escala 1:50,000. La información completa será publicada por el Servicio Geológico Mexicano en su página de internet junto con la carta Huehuetlán cuando termine el periodo de revisiones correspondiente.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar doy gracias a Dios por permitirme esta oportunidad en la vida.

Agradezco a mi madre Sabina Hernández y a mi hermano Alberto Padilla por apoyarme en todo momento voluntaria e involuntariamente.

Gracias a mi novia Diana Marisol Pérez Lobato por que llegó en un momento especial y contribuyó con mucha motivación para que diera este gran paso.

Agradezco a la empresa GYMSA, Geoquímica y Perforación S.A. de C.V. por darme la primera oportunidad en la vida laboral, en especial al Ingeniero David Ignacio Jiménez (q.e.p.d) quien me enseñó grandes lecciones profesionales y de vida.

A los ingenieros Francisco Meneses e Isaac Marino por brindarme su confianza en su empresa y a mis compañeros dentro de GYMSA, al Dr. Juan Carlos Salinas Prieto por su amistad y sus infinitas correcciones para superarme profesionalmente.

Gracias al personal que ha laborado en el Museo de Geología de la UNAM, donde conocí a personas estupendas y que se convirtieron en una parte muy importante dentro de mi formación como persona. Aprovecho para agradecer su amistad. Agradezco de forma personal al Maestro Luis Espinosa y al Ingeniero Julio Caballero que dentro del museo siempre me apoyaron y me enseñaron grandes lecciones que me han servido dentro de la vida profesional.

Gracias a mis amigos que me han presionado para realizar este trabajo y que se han preocupado por mi desarrollo profesional en todo momento y todas las personas que aunque ya no veo, las llevo presentes.

Gracias a la Facultad de Ingeniería de la UNAM que me preparó para enfrentar el mundo laboral. Todos los profesores aportaron algo positivo en mi formación, tanto en la División de Ciencias Básicas y en la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.

CONTENIDO	Página
Relación de figuras	iv
Resumen	v
I. Generalidades	1
➤ I.1 Objetivo del trabajo	1
➤ I.2 Introducción	1
➤ I.3 Método de trabajo	2
➤ I.4 Antecedentes	4
II. Geografía	8
➤ II.1 Ubicación y vías de acceso	8
➤ II.2 Fisiografía	9
III. Geología	12
➤ III.1 Marco geológico	12
➤ III.2 Secuencia estratigráfica	16
• III.2.1 Formación Zicapa	19
• III.2.2 Yeso Huitzucó	19
• III.2.3 Formación Morelos	20
• III.2.4 Formación Mexcala	20
• III.2.5 Formación Balsas	21
• III.2.6 Formación Buenavista	21
• III.2.7 Formación Tilzapotla	22
• III.2.8 Granodiorita	22
• III.2.9 Pórfido Riolítico	23
• III.2.9 Tonalita – Pórfido Riolítico	23
• III.2.10 Formación Cuayuca	23
• III.2.11 Formación Cuernavaca	24
• III.2.12 Aluvión	24
➤ III.3 Estructuras geológicas	24
• III.3.1 Deformación dúctil- frágil	25
• III.3.2 Deformación frágil	27
➤ III.4 Evolución tectónica	34

IV. Yacimientos minerales	40
➤ IV.1 Metálicos	40
➤ IV.2 No metálicos	41
V. Conclusiones y recomendaciones	43
➤ V.1 Conclusiones	43
➤ V.2 Recomendaciones	43
Referencias bibliográficas	45
Anexos	
➤ Plano Geológico Estructural	
➤ Croquis Geológico Estructurales	

RELACIÓN DE FIGURAS

RELACIÓN DE FIGURAS	Página
Figura 1.1 Trabajos previos	4
Figura 2.1.1 Plano de localización	8
Figura 2.1.2 Vías de comunicación	9
Figura 2.2.1 Provincias fisiográficas	11
Figura 3.1.1 Terrenos Tectonoestratigráficos	12
Figura 3.2.1 Plano Geológico Estructural	17
Figura 3.2.2 Columna estratigráfica	18
Figura 3.3.1 Diagrama ciclográfico de planos de estratificación	26
Figura 3.3.2 Diagrama ciclográfico de planos de la Formación Balsas	27
Figura 3.3.3 Diagrama ciclográfico de fallas laterales	32
Figura 3.3.4 Roseta de fracturas	32
Figura 3.4.1 Distribución de Terrenos Tectonoestratigráficos	34
Figura 3.4.2 Límites de los Terrenos Tectonoestratigráficos del sur de México	38

RESUMEN

El área estudiada queda situada en la porción suroeste del estado de Puebla y en el sur del estado de Morelos. Geográficamente está limitada por los paralelos 18°15'0" y 18°30'0" de latitud norte y los meridianos 98°40'0" y 99°00'0" de longitud oeste. Cubre una superficie de 972 km². En ella afloran 13 unidades geológicas de las cuales 5 formaciones son sedimentarias, 4 son de origen volcánico y volcanosedimentario y 3 unidades se refieren a cuerpos intrusivos que afectan al resto de las formaciones y la cubierta reciente.

A la base de la columna estratigráfica se presenta la Formación Zicapa (Kha Cgp-Ar) que consiste de intercalación de limolita, arenisca arcillosa silicificada y hematizada, y conglomerado de clastos de cuarzo; desarrolla lentes de caliza en la cima. El Yeso Huitzucó (Kap Y) es una intercalación de yeso, anhidrita, conglomerado calcáreo y caliza estratificada. Por posición estratigráfica se le asigna una edad de Aptiano-Albiano. La Formación Morelos (Kapce Cz) es una caliza con texturas *wackestone* arenoso, ocasionalmente recristalizado, *packstone* y *grainstone* de bioclastos y miliólidos. Los estratos de 5 a 50 cm de potencia contienen fósiles de globigerínidos, así como nódulos y lentes de pedernal de color negro. Hacia la cima está intercalada con lutita laminar que implica una transición hacia la Formación Mexcala.

La Formación Mexcala (Ktm Ar-Lu) es una sucesión de capas interestratificadas de arenisca, limolita y lutita calcárea con escasos lentes de caliza clástica. Tiene una edad de Turoniano-Maastrichtiano dada por su contenido faunístico. Se formó principalmente por corrientes de turbidez de baja densidad y relativamente diluidas, o bien corresponde a depósitos pelágicos-hemipelágicos. La Formación Balsas (Teo Cgp-Ar) está representada por conglomerado polimíctico de color rojizo, constituido por fragmentos de caliza, arenisca y cuarzo principalmente, esporádicamente se llegan a observar fragmentos de rocas volcánicas, está soportado por matriz arenosa y cementante calcáreo. Por posición estratigráfica se le asigna edad de Eoceno tardío-Oligoceno medio. Se depositó en ambiente continental.

La Formación Buenavista (To A-Bv A) es una sucesión volcánica, compuesta por corrientes lávicas, brechas y tobas de composición andesítica, afanítica, alterada con intensa argilitización, oxidación y trazas de malaquita con cristales ocasionales de plagioclasa en una mesostasis microcristalina. La brecha es de textura piroclástica de matriz tobácea, de estructura masiva con fragmentos de andesita y riolita. La Formación Tilzapotla (To TR-R) consiste principalmente de toba soldada desvitrificada con flujos lávicos interestratificados. La toba es de textura piroclástica con *fiammes*, de estructura masiva y fluidal, compuesta por cuarzo, feldespato potásico, oligoclasa, piroxeno, biotita y anfíboles. Su edad, por determinaciones isotópicas es Oligoceno.

Un cuerpo granítico (To Gd) intrusiona a la secuencia sedimentaria del Cretácico inferior y a la Formación Balsas. Tiene variaciones de textura y composición de granodiorita a porfídico diorítico, es de estructura compacta, textura equigranular a porfídica. Por su relación estratigráfica con las rocas que intrusiona y correlación con cuerpos similares de la zona, se estima una edad

del Oligoceno. Aflora también (To PR) un pórfido de composición riolítica, estructura compacta, textura porfídica, compuesto por cuarzo, ortoclasa, oligoclasa y biotita, presenta intensa oxidación y caolinización. Intrusiona a rocas de las formaciones Morelos, Mexcala y a andesita y riolita del Oligoceno. Bajo la clave (Tm Tn-PR) se agrupó a cuerpos intrusivos hipabisales de composición intermedia y ácida con textura porfídica y estructura compacta.

La Formación Cuayuca (Ts Vc-Y) se compone de intercalaciones de lutita rojiza y arenisca verde y crema con intercalaciones de horizontes de yeso. Con base en sus relaciones estratigráficas se le asigna una edad de Mioceno – Plioceno. Formación Cuernavaca (Tpl Qpt Lh-Ar) es un depósito de avalanchas, tobas y materiales clásticos característicos de flujos asociados a actividad volcánica. El material que la conforma, es explotado para agregados pétreos en la industria de la construcción. Finalmente todas las unidades están cubiertas por depósitos aluviales (Qho al) que afloran solamente en la región de Jolalpan.

De acuerdo con las observaciones de campo, con los datos medidos y los diagramas calculados es posible proponer que en la región de estudio existen dos eventos compresivos, el primero afecta a rocas cretácicas y corresponde a la deformación Laramide en su fase final, cuando se registra la deformación retrógrada asociada a la Cabalgadura de Papalutla que aflora al oriente y sureste de la carta estudiada. El segundo evento compresivo se registra en rocas de la Formación Balsas (Eoceno-Oligoceno). Esta fase de deformación se desarrolló durante el período posterior al depósito de las capas rojas Balsas, pero previo al emplazamiento de las rocas volcánicas de las formaciones Buenavista y Tilzapotla, ya que estas no están plegadas. En algunas porciones se observan pliegues de amplio radio de curvatura e interferencia de pliegues. Las fallas laterales se desarrollaron durante el primer evento compresivo, como está documentado más al sur de la zona de estudio y se reactivaron durante el último evento distensivo ya que afecta a rocas de la cubierta volcánica.

I GENERALIDADES

I.1 Objetivo del trabajo

El propósito del presente estudio, fue realizar la cartografía geológico-minera y geoquímica de la zona comprendida entre las poblaciones Axochiapan, en el estado de Morelos y Jolalpan, en el estado de Puebla, lugares que pertenecen a la carta escala 1:50,000, denominada Huehuetlán clave E14-B71 (INEGI). Se realizaron estudios de interpretación de imágenes de satélite, mapeo de unidades litoestratigráficas y zonas de alteración; paralelamente se hizo un estudio geoquímico de sedimentos activos de arroyo, así como la prospección minera con su respectivo inventario e interpretación correspondiente, además de un estudio de magnetometría aérea, el cual no es parte de este informe.

I.2 Introducción

La cartografía geológica tiene una importancia fundamental en la exploración, explotación y manejo de recursos naturales como lo son, por mencionar algunos, los yacimientos minerales, el petróleo y el agua. La forma de realizarla ha evolucionado a través del tiempo debido a los avances tecnológicos y las nuevas técnicas de prospección que se desarrollan hoy en día.

Un mapa permite planear el desarrollo de una región; constituye la infraestructura de cualquier proyecto; muestra gráficamente, de manera simplificada, una gran cantidad de información.

Los mapas son abstracciones de la realidad; ya que el mundo real es tan complejo que por lo general no se puede representar en su totalidad; de modo que se deben seleccionar los elementos a ser representados.

Todos los mapas son reducciones, por tanto, existe una relación dimensional definida entre la realidad y el mapa; esta relación se le conoce como escala.

En México, el programa de cartografía geológica reciente más importante se inició en 1995 con la participación de diversas instituciones educativas (Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Politécnico Nacional, Universidad Autónoma de Guerrero, Universidad Autónoma de Guadalajara, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Universidad Autónoma de Nuevo León, Universidad de Sonora, Universidad Autónoma de Baja California Sur) y el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Este programa aún en desarrollo se realiza en escala 1:50 000 ya que el proyecto a escala 1: 250 000 y 1: 500 000 por estados ya se concluyó.

En la escala 1: 50 000 se trabaja con la proyección WGS 84, la cual utiliza el Servicio Geológico Mexicano. Cabe mencionar que anteriormente se construían con la proyección NAD 27, en esta escala, sin embargo en años recientes se determinó que se debe utilizar la proyección WGS 84 para uniformar la información que se genera alrededor del mundo.

El elipsoide WGS84 (World Geodetic System) determinado a partir de datos satelitarios, está considerado como el más preciso que se ha calculado en los últimos tiempos, y proporciona el mejor ajuste para una proporción en particular de la Tierra.

Es muy importante recalcar que lo más importante dentro de la cartografía geológica es el trabajo de campo acompañado de una buena interpretación.

I.3 Método de trabajo

Recopilación de información bibliocartográfica

En esta etapa toda la información, que se ha generado en el área de estudio, se analiza. Esto incluye trabajos regionales y locales que ayuden a una interpretación del área de estudio. Se consideran cartas geológicas, informes, estudios a detalle y semidetalle elaborados por instituciones como Petróleos Mexicanos (PEMEX), el Servicio Geológico Mexicano, (SGM), Comisión Federal de Electricidad (CFE), institutos de investigación, tesis de licenciatura y posgrados.

Interpretación de imágenes de sensores remotos con base en la información bibliocartográfica recopilada y rasgos geomorfológicos observados.

A través de la observación de imágenes de satélite (Landsat TM), epipolar y google earth se separan los rasgos geomorfológicos más evidentes y se consideran las muestras petrográficas, edades isotópicas y la estratigrafía reportada para elaborar una interpretación lo más confiable posible y así tener una idea más clara de lo que se observará en el campo. Esta interpretación se irá modificando con el trabajo de campo hasta que se tengan los elementos suficientes para elaborar un mapeo definitivo.

Las diferentes imágenes muestran rasgos distintivos a través de los cuales se pueden caracterizar unidades a primera vista. La imagen de satélite ofrece diferentes gamas de colores que resaltan rasgos geomorfológicos evidentes, sin embargo, no se puede observar todo a partir de esa imagen y para complementar la interpretación se utiliza la imagen epipolar. Esta última es una imagen que ofrece un panorama tridimensional del relieve combinado con una imagen satelital que permite identificar lineamientos con mayor facilidad.

Trabajos de campo

Los trabajos de campo sustentan la cartografía geológica y son los elementos más importantes dentro de la misma para obtener un trabajo final confiable. Todas las observaciones son útiles para armar una interpretación final de calidad.

Levantamiento de puntos de control estructural

Los datos estructurales son de gran importancia en la elaboración de una carta geológico-minera. Los datos que se obtengan dependerán del tipo de roca en el que se encuentre el trabajo, sin embargo, se procura que todas las localidades visitadas cuenten con datos útiles para la interpretación.

Levantamientos de puntos de control (sin dato estructural)

En el campo es posible encontrar afloramientos de roca donde no se exhiba algún dato estructural confiable como es el caso de las rocas dispuestas en estructura masiva o estratificación ondulante o difusa donde cualquier dato que se tome puede causar interferencias erróneas al momento de realizar la interpretación final.

Levantamiento de muestras de sedimento activo de arroyo

Para conocer las anomalías geoquímicas en la zona de estudio, se toman muestras de sedimento activo, aproximadamente 300 gramos son suficientes para determinar los elementos químicos que predominan en el lugar donde se tomo la muestra. Para localizar los lugares donde debe muestrearse se hace un estudio estadístico de la hidrografía y conseguir los puntos que capten la erosión de prácticamente toda la región.

Levantamiento de muestras petrográficas.

Cuando existen dudas acerca de la litología en alguna localidad verificada se puede tomar una muestra de aproximadamente 15 x 10 x 10 centímetros para enviarla al laboratorio petrográfico para determinar la unidad a la que pertenece dicha roca.

Todos los datos obtenidos se capturan en una base de datos en excel y que posteriormente se convierte en archivo DBF para ser procesado por el programa Arc GIS, donde se vaciará el resto de la información y las posteriores interpretaciones.

Reinterpretación con el apoyo del trabajo de campo y la información bibliocartográfica recopilada.

Con todos los datos graficados en el programa Arc GIS y las observaciones de campo, se puede ajustar contactos y estructuras geológicas apoyadas en las imágenes de sensores remotos.

Digitalización de la carta final

Con la certeza de una cartografía más confiable se procede a la digitalización total del proyecto en el programa Arc GIS.

Construcción de secciones geológicas

Con la información digitalizada se procede a construir las secciones geológicas. El perfil y la relación de contactos se obtienen a partir de métodos analíticos.

Las relaciones estratigráficas y estructuras geológicas son interpretadas a partir de la cartografía realizada y las observaciones de campo.

Estructuración del informe Final

Al igual que este trabajo, es muy importante plasmar las evidencias geográficas, cartográficas, estratigráficas, estructurales y tectónicas en un informe que documente el trabajo realizado

I.4 Antecedentes

Existen estudios previos, tanto específicos como de carácter regional, que incluyen investigación geológica y estudio de yacimientos minerales, que quedan incluidos en el área donde se ubica la carta (*Figura 1*).

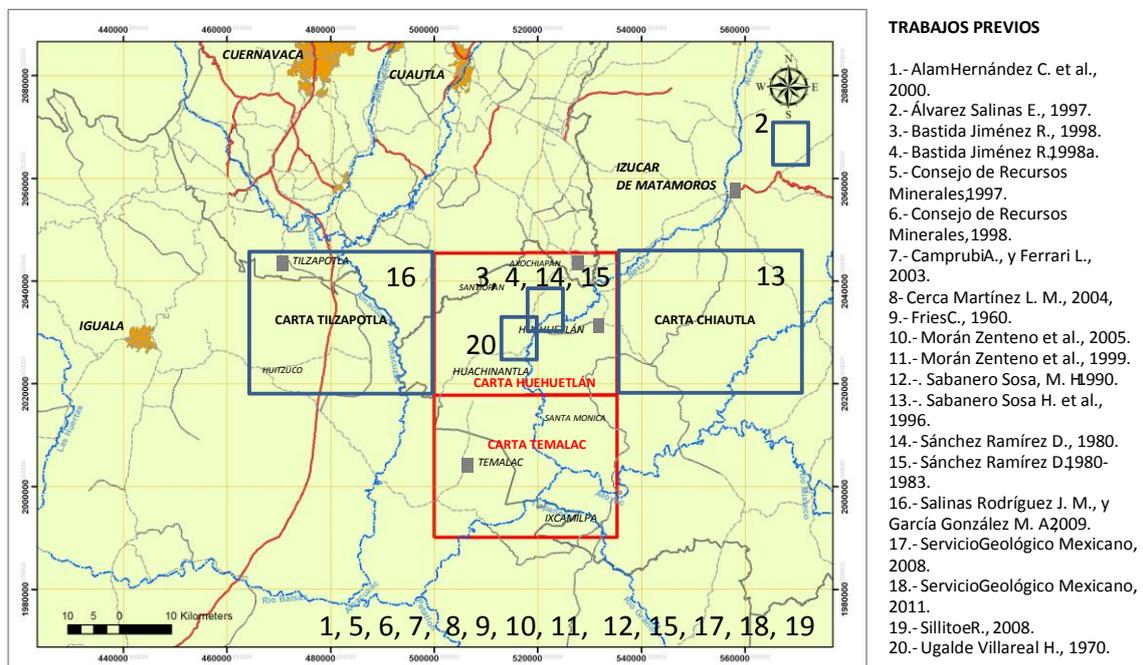


Figura 1.1 Trabajos previos. Tomada del Informe Carta Huehuetlán clave E14B71, elaborado para el Servicio Geológico Mexicano

En cuanto a los estudios sobre minería, éstos han sido elaborados en gran parte por el SGM (Servicio Geológico Mexicano). Estos trabajos se enlistan a continuación:

Entre 1960 y 1966, Fries, C., realizó importantes trabajos geológicos en donde sentó las bases estratigráficas del sur de México, elaboró, entre otras, la hoja Cuernavaca en escala 1:100,000.

PEMEX realizó trabajos de geología regional en esta zona, que incluyen mapas y artículos publicados en revistas especializadas en los años 70. En este mismo período, un aporte importante fue la cartografía geológica del INEGI, en donde sintetiza la geología regional, en este caso, la carta 1:250,000 denominada Cuernavaca.

I.- GENERALIDADES

En 1973, Ugalde, V. H., llevó a cabo estudios de prospección en la región de Jolalpan, en donde reporta anomalías de plomo y fierro y también la presencia de bancos de caliza y yeso, recomienda realizar estudios de detalle y evaluativos para incrementar el interés minero de la región.

En otra etapa de prospección minera por parte del CRM en la región de Tlauceño y Jolalpan, Sánchez R. D., en la década de los 80, realizó estudios de geoquímica, geofísica y muestreo de orientación en diversas minas de fierro y oro, concluyendo que se requieren más trabajos para definir nuevas concentraciones minerales, aparte de las conocidas para impulsar el desarrollo minero de la zona.

En 1986, Salinas, P. J. C., en su tesis titulada “Estudio Geológico de la porción Occidental de la Montaña, estado de Guerrero”, elaboró un mapa con descripción detallada de las unidades litológicas de varias unidades que afloran en la presente carta.

En 1991, Sabanero, S. M. H., elaboró su tesis profesional titulada “La ruptura del extremo austral de la Plataforma Guerrero – Morelos” y menciona que esta tectónica de ruptura es determinada por la acreción constructiva transformante del Terreno Xolapa, identifica importantes estructuras regionales relacionadas posiblemente a yacimientos minerales.

En 1996, el CRM y la Universidad Autónoma de Guerrero, realizan un convenio de capacitación técnica para el CRM y elaboran la carta Chiautla, escala 1:50,000 en donde se propone por primera vez la existencia de un arco insular (Arco Cascalote), similar a los arcos que conforman el Terreno Guerrero y plantean las posibles implicaciones tectónicas y metalogenéticas de este descubrimiento (Sabanero, S. et al., 1996).

Del programa cartográfico del SGM, se publican las cartas geológico-mineras de Cuernavaca y Chilpancingo (Escala: 1:250,000) en donde se muestran por primera vez las principales estructuras geológicas como resultado del detalle preciso que da la medición de datos directamente de campo (Carranza, *et al.*, 1998 y Campa, *et al.*, 1998).

Moran, *et al.*, (1999 y 2005), realizaron estudios estructurales magmáticos de la Sierra Madre del Sur, proponiendo entre otros aspectos, la evolución orogénica y el magmatismo que tienen como patrón de extinción general del magmatismo desde el Cretácico tardío y Paleoceno en Colima y Jalisco, hasta el Mioceno medio en la parte central y suroriental de Oaxaca y Chiapas. Esta propuesta tiene implicaciones fundamentales en el entendimiento de la evolución metalogenética del sur de México.

Camprubí y Ferrari (2003), establecieron que la formación de los depósitos minerales, coinciden en tiempo con los principales pulsos de la formación de la Sierra Madre Occidental (SMO). Así la distribución de las edades de estos depósitos epitermales, se puede dividir en 3 grupos: (1) entre 48 y 40 Ma, (2)

I.- GENERALIDADES

entre 36 y 27 Ma y (3) entre 23 y 18 Ma. Por las características petrográficas e isotópicas de la región, se puede considerar que el segundo lapso podría corresponder a la actividad metalogenética manifestada en esta carta.

Cerca, M. M., 2004, en su tesis doctoral, estudió la deformación de la Plataforma Guerrero-Morelos y concluye que la deformación del Terciario, obedece a un régimen transpresivo de desgarres por fallamiento lateral izquierdo con acortamientos E-W, durante el desplazamiento del bloque Chortis.

En la Monografía Geológico Minera del Estado de Puebla, editada por el Servicio Geológico Mexicano, 2008, se menciona que las primeras descripciones sobre los afloramientos de gneises, esquistos y pizarras en las áreas de Izúcar de Matamoros y Acatlán de Osorio, las realiza Santiago Ramírez, entre 1882 y 1884. Así mismo, existen referencias de 1916 en que son publicados algunos trabajos referentes a los principales distritos mineros productores de metales plumbo-argentíferos del estado de Puebla. Entre otros aspectos reseña:

En 1937, el Instituto de Geología publica la reseña geológico-minera del territorio poblano, con la descripción de diferentes tipos de yacimientos minerales. A partir de 1947, se han realizado numerosos trabajos de tesis, principalmente de la Universidad Nacional Autónoma de México y del Instituto Politécnico Nacional, así como trabajos técnicos por parte de Petróleos Mexicanos y la Comisión Federal de Electricidad.

En este sentido Ortega-Gutiérrez (1978), realizó estudios en la Mixteca baja, proponiendo por primera vez, un arreglo estructural del Complejo Acatlán. En ese mismo año, Solís-Muñoz (1978), estudia las rocas ultrabásicas de la región de Acatlán con valores anómalos de Cr y Ni, localiza además, prospectos de talco y asbesto. Cabe mencionar que desde la década de los cincuenta, el Consejo de Recursos Naturales no Renovables, posteriormente Consejo de Recursos Minerales y actualmente Servicio Geológico Mexicano, ha realizado trabajos de exploración minera, generando un importante acervo de información técnica y de investigación.

La geología que muestra esta monografía, tiene como base la cartografía geológica realizada por el SGM hasta la fecha, en donde se integra la información cartográfica más actualizada del estado de Puebla.

En la publicación del Servicio Geológico Mexicano de 2010, denominada Panorama Minero del Estado de Puebla (2011), se definen 5 regiones mineras, de las cuales la región minera Izúcar de Matamoros, se extiende a esta carta. En esta área se tiene la zona mineralizada de Jolalpan en donde se reportan yacimientos metálicos con mineralización de Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Fe, Mn, y Sn, principalmente de origen hidrotermal; también se tiene un importante aporte de yacimientos no metálicos de yeso, caliza, dolomita, arcillas, cuarzo, y talco.

I.- GENERALIDADES

Un estudio importante es el que realiza Sillitoe, R. H (2008) en la cordillera a lo largo de la margen occidental de Norte y Sudamérica que revela la existencia de 22 fajas mineralizadas, más 5 depósitos aislados, la mayoría de los cuales fueron formados a lo largo de los últimos 150 Ma. Las concentraciones de oro se encuentran en la clasificación de los 8 tipos de yacimientos reconocidos, en donde los porfídicos, los sedimentarios y los epitermales de alta sulfuración, son los más importantes económicamente.

Las fajas de oro son típicamente de algunas decenas a centenas de Km de longitud, dominadas por un solo tipo de yacimiento y metalogenéticamente activas por un corto período (<5-20 Ma). Muchas de las fajas de oro y los grandes depósitos aislados, fueron generadas bajo condiciones tectónicas de extensión o transpresión en arcos o trasarcos. Existe una fuerte sugerencia de que las más prominentes concentraciones cordilleranas de oro, se formaron durante o inmediatamente después de la prolongada contracción. La mayoría de las fajas de oro y yacimientos aislados, ocurren a lo largo del margen del cratón, así como en los terrenos adjuntos acrecionados, pero casi todos son postacrecionarios. La mayoría de estos depósitos están localizados en fallas o lineamientos de escala cortical, que pueden ser paralelos o transversos al margen Cordillerano.

II GEOGRAFÍA

II.1 Ubicación y vías de acceso

El área de la zona que estudia el presente informe queda situada en la porción suroeste del estado de Puebla, colinda al norte con en estado de Morelos. Geográficamente está limitada por los paralelos 18°15'0" y 18°30'0" de Latitud Norte y los meridianos 98°40'0" y 99°00'0" de Longitud Oeste, cubre una superficie de 972 km².

Los municipios del estado de Morelos que se tienen en la carta son: Tlaquiltenango, Tepalcingo y Axochiapan. En el estado de Puebla son: Teotlalco, Chietla, Chiautla, Huehuetlán El Chico, Cohetzala y Jolalpan. (Figura 2.1.1).

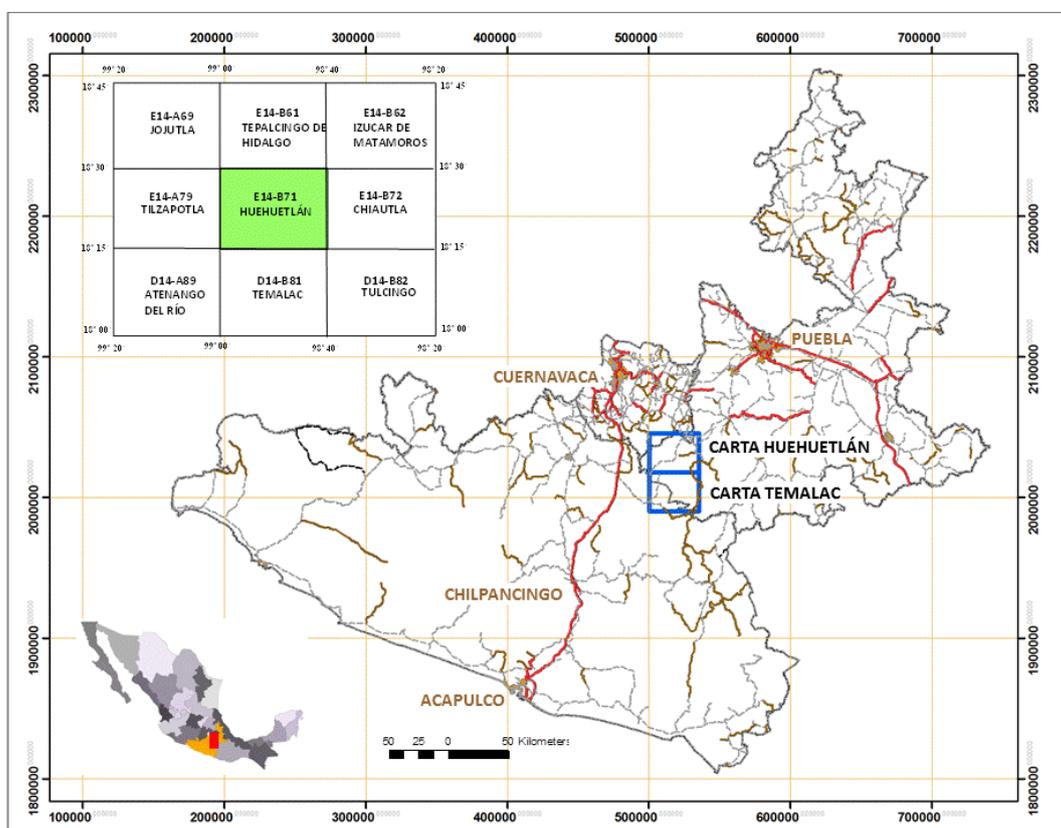


Figura 2.1 .1.- Plano de localización. Tomado del Informe Carta Huehuetlán elaborado para el Servicio Geológico Mexicano

Para acceder a la carta se pueden considerar dos vías de acceso, una es por la ciudad de Puebla y el otro por la ciudad de Cuernavaca.

Por Cuernavaca, el acceso es por la carretera federal No. 160 que pasa por la ciudad de Cuautla, de aquí se toma rumbo a Amayuca, Jonacatepec, Tepalcingo y Axochiapan que es el límite norte de la carta.

Partiendo de la ciudad de Puebla, el acceso se realiza por la autopista a Atlixco o la carretera federal No. 190; de esta ciudad, se dirige rumbo a Axochiapan, pasando Izúcar de Matamoros, Tlancuautipan y Huehuetlán que es el límite suroriental de la zona de estudio. (Figura 2.1.2).

Al interior en la parte central de la carta, se toma la carretera con dirección al poblado de Jolalpan que se ubica en la porción sur-central de la misma, de aquí se continúa a Huachinantla, que marca el cuadrante suroccidental.

Para llegar a la porción noroccidental, se tiene que acceder por Huautla, para esto se parte de Axochiapan pasando Tepalcingo, Chinameca y Huahutla, de este último parten terracerías a Ajuchitlán, Teotlalco, Tlantiopan y Santiopan.

Hacia el oriente se parte de Axochiapan hacia Huehuetlán El Chico y Chiauhtla, de donde salen brechas y terracería a los poblados de Tepoxmatla, El Platanar y Ayoxuxtla, entre otros, que se ubican en este cuadrante.

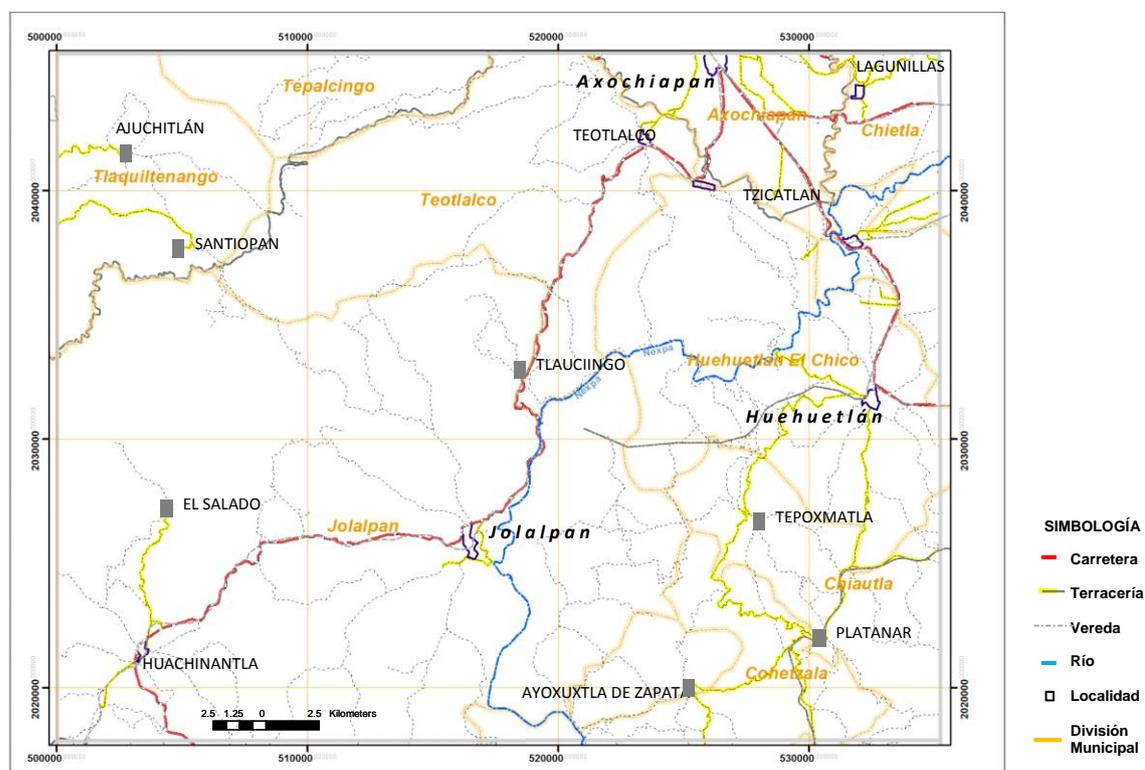


Figura 2.1.2 Vías de comunicación. Tomado del Informe Carta Huehuetlán elaborado para el Servicio Geológico Mexicano

II.2 Fisiografía

La carta queda comprendida dentro de la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur en la subprovincia cuenca de Balsas-Mexcala (Raisz, E., 1964). (Figura 2.2.1).

En la mayor parte de la carta se presentan rasgos de relieve juvenil, en la porción sur se observa relieve maduro moderado, sobre todo en las unidades más antiguas. Las elevaciones más prominentes están en el cuadrante

noroccidental, en donde forman cordones orientados NE-SW con elevaciones de más de 1,800 msnm; hacia el sur se tienen las elevaciones más bajas con altitudes de 800 msnm para un desnivel general de 1,000 msnm.

En el cuadrante nororiental se tiene una zona peneplana con una elevación más bien homogénea de 1,000 msnm que forma parte del valle de Axochiapan con algunas prominencias de roca andesítica y calcárea. Este valle se interrumpe por la estructura más elevada que forman las rocas andesíticas de la sierra del cuadrante noroccidental, en donde se asientan los poblados de Ajuchitlán, Santiopan y Temixco. Esta sierra está formada por una serie de cumbres de menor tamaño que se encuentran alineadas como cordones rocosos sensiblemente orientados NE-SW. Las geoformas son reflejo de la deformación frágil, probablemente constituida por fallas laterales y normales.

La porción sur, se caracteriza por formas semiredondeadas de las rocas calcáreas y clásticas de la plataforma Guerrero-Morelos. En esta zona se forman fuertes depresiones que representan las barrancas más profundas, mostrando cantiles muy verticales; así mismo, se forman pequeñas depresiones que podrían considerarse como valles intermontanos en donde se encuentran los poblados de Jolalpan y Huachinantla.

En la porción oriental, se tiene la depresión máxima que forma el cauce del río Nexapa, que corre desde Huehuetlán El Chico en una dirección de este a oeste, hasta las inmediaciones de Tlaucingo en donde cambia su curso para ser sensiblemente N-S, la dirección aguas abajo es hacia el sur.

En la porción noroccidental en donde se tienen las máximas elevaciones, el drenaje es sensiblemente radial con la convergencia en la parte más elevada, hacia el poblado de Ajuchitlán. Los afluentes drenan hacia los valles de Axochiapan, Jolalpan y El Salado, distribuidos alrededor de la estructura más conspicua de la zona.

En la porción sur, los drenajes son meándricos con dirección predominantemente al sur, la mejor evidencia es el río Nexapa, el cual confluye al río Balsas en las inmediaciones del poblado de Papalutla en el estado de Guerrero.

Estos cauces y geoformas que construyen el relieve de la carta, son reflejo de la evolución tectónica de la región. En la parte norte, las sierras y arroyos son regidos por una erosión relativamente baja, relieves juveniles y dominio de deformación frágil, los desniveles son abruptos y los arroyos semirectos o de direcciones definidas, que muestran aún la estructura original del aparato volcánico.

Por el contrario, en la porción sur las geoformas son más labradas por la erosión, muestra paisajes arredondeados suaves y drenajes meándricos, así como lineamientos rectos que en algunas partes obedecen a las grandes depresiones que forman cañadas profundas, como la del río Balsas, esta combinación de morfología y formas, reflejan la sobre posición de diferente

paquetes litológicos y al menos dos etapas de deformación, una frágil y una dúctil-frágil.

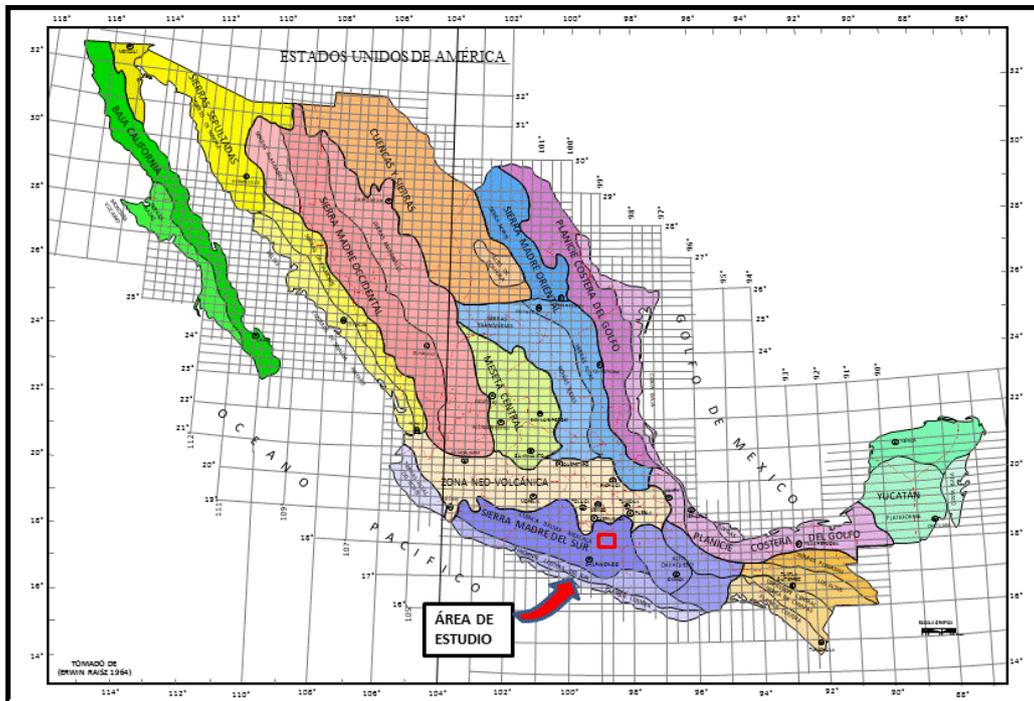


Figura 2.2.1. Provincias Fisiográficas (Según ERWIN RAISZ, 1964)

III. GEOLOGÍA

III.1 Marco geológico

La corteza de México es un mosaico heterogéneo de bloques corticales, que han sido clasificados como terrenos tectonoestratigráficos (Campa y Coney 1983), esta propuesta de terrenos que implica un basamento lito-tectónico homogéneo dentro de sus límites, ha tenido una buena aceptación, ya que explica algunos de los rasgos tectónicos que estarían directamente relacionados con la distribución de yacimientos minerales distintivos de México, además de que permitió manejar un lenguaje común para designar amplias zonas con características geológicas particulares y la sistematización de la cartografía geológica.

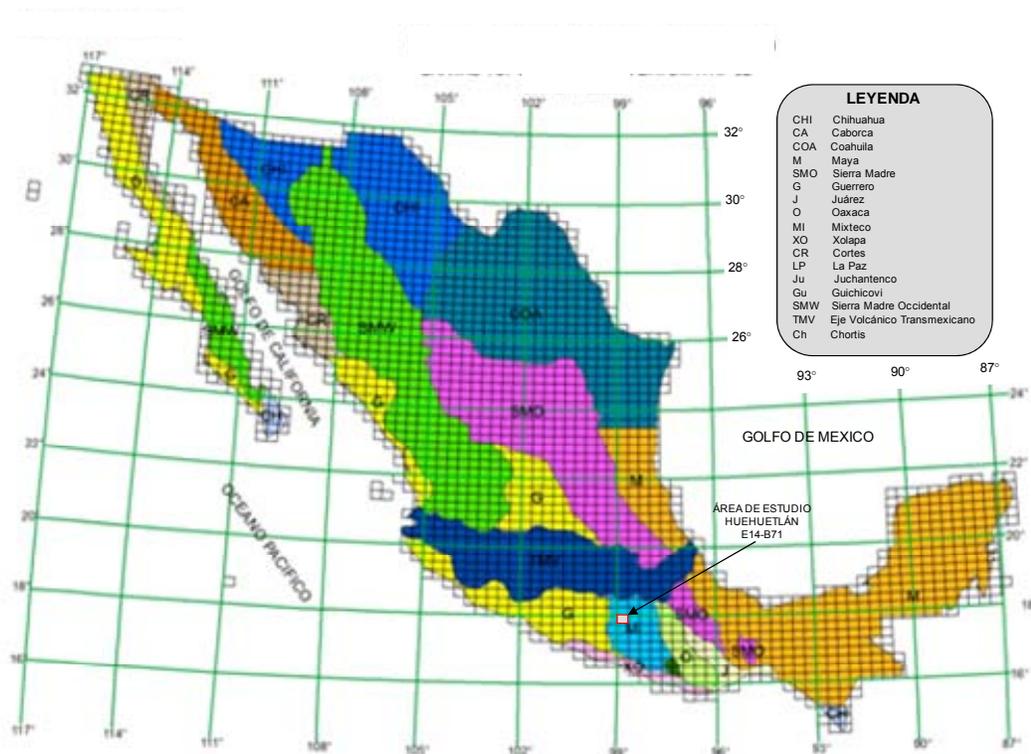


Figura 3.1.1.- Terrenos tectonoestratigráficos de México, Campa U.M.F., 1983

Sin embargo, mucha discusión se ha generado a partir de esta propuesta, cuestión que tiene que ver con la cantidad de terrenos, su nomenclatura de las divisiones, su existencia, su extensión geográfica, secuencias litológicas y actividad magmática, posición paleogeográfica y movilidad, patrones de deformación, edad y mecanismo de acreción, y fallas que los delimitan (Cerca M. M., 2004).

En este sentido, uno de los límites más discutidos entre los terrenos del sur de México, es la frontera entre el Terreno Guerrero, la Plataforma Guerrero-Morelos y el Terreno Mixteco. Según Campa y Coney (1983), el límite occidental de la Plataforma Guerrero-Morelos, es el terreno Guerrero que se habría acrecionado o amalgamado hacia el continente al final de Cretácico o principios del Terciario. Estos autores sugieren que este límite estaría ubicado en el sistema de cabalgaduras de Teloloapán, un conjunto de estructuras de bajo ángulo que están orientadas norte-sur con vergencia hacia el oriente, y ponen en contacto tectónico las secuencias de arco volcánico sobre las calizas de la Plataforma Guerrero-Morelos.

De la misma manera, el límite oriental de la Plataforma Guerrero-Morelos, es marcado por la cabalgadura de Papalutla, que tiene una orientación NE-SW con vergencia al occidente y que pone en contacto tectónico al Complejo Acatlán, basamento del terreno Mixteco con las secuencias de dicha plataforma. Se ha discutido este límite fundamentalmente por el descubrimiento de una secuencia de rocas vulcanosedimentarias en la región de Chiahutla, Puebla, propuesto como Arco de Cascalote, (Sabanero S. et al., 1996) intercalada con las calizas Morelos en la parte oriental de la Plataforma Guerrero-Morelos, esto parece indicar que existen rocas similares a las del Terreno Guerrero, al oriente de la falla Teloloapan. La cartografía y estudios de deformación, presenta sentidos opuestos en la dirección del transporte tectónico (Salinas-Prieto 1994; Salinas-Prieto et al. 2000), mostrando cabalgaduras que ponen en contacto tectónico rocas más viejas sobre rocas jóvenes y enmascaran cambios de facies en las unidades litológicas; por otra parte un perfil magnetotélúrico que cruza la cabalgadura, no arrojó un contraste que pueda ser interpretado como un límite cortical (Jörding et al. 2000).

Con relación a los yacimientos minerales, existe gran similitud entre los depósitos de los límites oriental y occidental de la Plataforma Guerrero-Morelos, al occidente en la región de Mexcala los yacimientos de tipo skarn e hidrotermales de fierro aurífero, parecen tener un gran potencial, mientras que en la región oriental en la zona de Chiahutla-Jolalpan, la presencia de cuerpos metasomáticos de fierro, y vetas hidrotermales de plata y oro, parecen tener una evolución metalogenética similar, en ambos límites y a lo largo de los bordes de la Plataforma Guerrero-Morelos. Sin embargo, se ha restado importancia a los estudios estructurales y geoquímicos para implementar con argumentos eficaces programas de exploración minera.

Por su parte, la sucesión estratigráfica que conforma la Plataforma Guerrero-Morelos, está compuesta por las formaciones Zicapa-San Juan, Morelos y Mexcala. La Formación Zicapa fue definida por Guzmán (1950) que la describió

como una serie de arenisca y conglomerado que aflora en las inmediaciones de las localidades de San Juan de las Ollas y Zicapa, Gro, y le atribuye una edad Jurásico superior - Cretácico inferior. Posteriormente varios autores (Guzmán 1976; De Cserna et al. 1980; Salinas-Prieto 1986), la describen en diferentes localidades dentro de la Plataforma Guerrero-Morelos y le asignan una edad del Cretácico inferior. Hernández (1976, Sabanero-Sosa, 1990), describe fósiles del Aptiano en una secuencia de calizas intercaladas dentro de los conglomerados de San Juan de las Joyas. Recientemente se reportó una edad de 125 ± 2 Ma de roca total por el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, en lavas intercaladas en los conglomerados que afloran en el Arroyo de Mezquitlán, al suroeste de Papalutla (Fitz-Díaz y Campa-Uranga 2002).

Inicialmente es descrita como caliza del Cretácico (Guzmán, 1950 y Erben, 1956), la Formación Morelos que fue definida formalmente por Fries (1960) y consiste de calizas (*wackestone* y *packestone*) de plataforma y arrecifales masivas de edad Albiano – Cenomaniano, ampliamente distribuida al oeste del Complejo Acatlán, en los estados de Guerrero, Morelos, y Puebla. Los depósitos de carbonatos de plataforma se establecieron durante una trasgresión marina y una relativa estabilidad de larga duración (Hernández-Romano *et al.* 1997). En la región de Huitzucó, se presenta una secuencia de anhidritas en la base de la secuencia de calizas (Fries 1960). Los niveles de calizas a veces son ricos en bivalvos fósiles, *Toucasia* sp. *Acteonella* sp. *Nerinea* sp. *Nummoloculina heimi*, *Qinqueloculina* sp. *Dicyclina schlumbergeri*, *Valvulamina Picardi*, *Pyrgo* sp., que permiten asignar una edad de Aptiano - Albiano - Cenomaniano (López Ramos, 1979). Las características estratigráficas de la Formación Morelos, han permitido registrar los eventos de formación principalmente laramídicos, formando sistemas de pliegues complejos y zonas de corrimientos horizontales.

Hacia finales del Cenomaniano, comienza el depósito de calizas pelágicas de la Formación Mexcala. Esta unidad es una secuencia de ambiente marino compuesta principalmente de arenisca, limolita y lutita calcáreas con intercalaciones de conglomerados y estratos de caliza con edades que varían del Turoniano al Maastrichtiano, (Fries 1960; Hernández-Romano *et al.* 1997; Lang y Frierich 1998; Perrilliat *et al.* 2000; Monod *et al.* 2000). Burckhardt (1919) y Bohnenberger (1955) realizan los primeros estudios en contextos no formales, y Fries (1960) establece formalmente como Formación Mexcala a esta sucesión que aflora en la parte central del estado de Guerrero y establece su localidad tipo en el pueblo de Mexcala. La formación es pobre en fósiles, pero se ha logrado identificar microfósiles como (*Calcisphaerula innominada*, *Pithonella ovalis*, *Stomiosphaera conoidea*, *Hedbergella* sp. *Heterohelix* sp. *Globigerinelloides* sp.), que indican una edad del Turoniano. Los macrofósiles (*Barroisiceras* sp. *Peoniceras* sp. *Ortoscaphtes* sp. *Didymotis* sp.), sugieren una edad Coniaciano. Torres (1983) y Maldonado (1984) por su parte, caracteriza como del Paleoceno a la parte superior de la formación cerca del pueblo de Tixtla, edad obtenida a partir de microfósiles, sin embargo, se ha discutido este alcance estratigráfico. Esta unidad refleja el hundimiento rápido de la Plataforma Guerrero – Morelos con mayor intensidad al este-noroeste, probablemente por la acreción del Terreno Guerrero, formando una cuenca flexural que pasa de ambiente marino a continental (Díaz García J. L., 2004).

La parte superior de la Formación Mexcala, muestra una clara discordancia angular y erosional con la Formación Balsas. Esta formación fue definida por Fries (1960) como una secuencia de depósitos continentales, constituidos por conglomerados, areniscas y limonitas. Se han agrupado dentro del Grupo Balsas todos los lechos rojos continentales con intercalación de rocas volcánicas del Paleoceno – Eoceno. La cuenca del Alto Río Balsas, se define como la localidad tipo en donde se observa la secuencia más completa; esta unidad se encuentra sobreyaciendo discordantemente a las rocas vulcanoclásticas de la Formación Tetelcingo y sobre las unidades cretácicas en evidente discordancia. En esta unidad se marca una importante variación litológica y de distribución espacial, que reflejaría condiciones topográficas y climáticas heterogéneas (De Cserna et al. 1980). En la cima de estos depósitos continentales, se depositan secuencias de rocas volcánicas del Eoceno-Oligoceno, como la Riolita Tilzapotla y el Grupo Buenavista, así como sedimentos vulcanoclásticos y lacustres de las formaciones Oapan y Cuayuca.

En lo que se refiere a la secuencia andesítica de Buenavista, Fries C., en 1960 la definió como Grupo Buenavista compuesta por una sucesión volcánica de derrames de lavas, paquetes considerables de brechas y niveles de tobas, todo ello de composición andesítica, originalmente descritas al sur del Río Amacuzac.

En un inicio, su edad se había estimado por su posición estratigráfica, documentándose que esta unidad se encuentra cubriendo a la Riolita Tilzapotla del Oligoceno tardío, pero sin llegar a los lahares del Plioceno tardío, por lo que Fries C., en 1960 propuso una edad del Mioceno al Plioceno temprano, sin embargo en el área de Buenavista, se realizaron fechamientos en concentrados de hornblenda y plagioclasa por el método de K-Ar, de 24.8 ± 1.3 y 30.5 ± 1.1 Ma (Alba *op cit.*, 1996), para considera a esta secuencia como de una edad del Oligoceno. La edad y la constitución de las rocas andesíticas de Buenavista, sugiere que fue formada por una actividad resurgente posterior al colapso de la caldera Tilzapotla (Morán Z. D. J. *op cit.* 2004).

La Riolita Tilzapotla es definida por Fries, C., (1960), teniendo como localidad tipo afloramientos de riolitas e ignimbritas en la sierra de Tilzapotla, en el estado de Morelos y se extiende hasta Taxco, Sultepec y la región de Jolalpan-Chiahutla. Consiste de flujos piroclásticos riolítico-dacítico y domos riolíticos, esta actividad volcánica fue formada durante el episodio volcánico principal, relacionado al colapso de la Caldera Tilzapotla (Morán *et al.*, 2004 y Morán *et al.*, 2007). De acuerdo con estos últimos autores, pueden reconocerse en esta unidad facies de extra e intracaldera, así como depósitos de brecha; de la misma manera en el área de Amacuzac, proponen facies de extracaldera proximal. En relación a su edad el mismo Fries, (1960) realizó dataciones radiométricas por el método Pb/ \square y obtuvo una edad de 26 ± 2.6 Ma. Asignándole una edad de Oligoceno tardío. Posteriormente se han realizado fechamientos en concentrados de plagioclasa y biotita por el método de K-Ar, reportando rangos de 32.6 ± 2.5 y 35.1 ± 1.0 Ma (Alba *et al.*, 1996; Morán *et al.*, 1999), con estos datos se concluye que esta secuencia tiene una edad de

Oligoceno y es correlacionable a la secuencia superior riolítica de la Sierra Madre Occidental.

Muy probablemente, la topografía irregular formada por las unidades volcánicas, favoreció la presencia de grandes cuencas continentales endorreicas para el depósito de material vulcanoclástico de la Formación Cuayuca, esta unidad es descrita por Fries, (1960) como una secuencia de areniscas lacustres de tres miembros, el inferior conglomerado-limoso que interdigita y transgrede a una esporádica facies carbonatada, la facies superior consiste de material vulcanoclástico con niveles de yeso de diferentes espesores y pureza variada. Esta descripción corresponde a la localidad tipo en las inmediaciones del poblado de Cuayuca, situado al noreste de Axochiapan, Puebla.

II.2 Secuencia estratigráfica

En la zona estudiada, en escala 1:50 000, se reconoció una columna litoestratigráfica constituida por 13 unidades cartografiadas a la escala mencionada. La edad de estas unidades varía del Hauteriviano al Reciente.

Todas estas unidades fueron emplazadas en ambiente marino y continental. Cuatro de ellas de origen sedimentario de edad Cretácica, depositadas en ambientes de plataforma, lacustre y arrecifal (Zicapa, Yeso Huitzuco, Morelos y Mexcala). En depósito continental se tienen tres de ellas (Balsas, Cuernavaca y Aluvión). Tres de las unidades restantes tienen un origen esencialmente volcánico y lacustre (Andesita Buenavista, Riolita Tilzapotla, Cuayuca (volcánico y lacustre)) y diferenciadas como intrusivos otras tres (Granodiorita, Pórfido Riolítico y Tonalita-Pórfido Riolítico). *Figura 3.2.1 y Figura 3.2.2*

A continuación se describen cada una de ellas siguiendo una secuencia de la base a la cima.

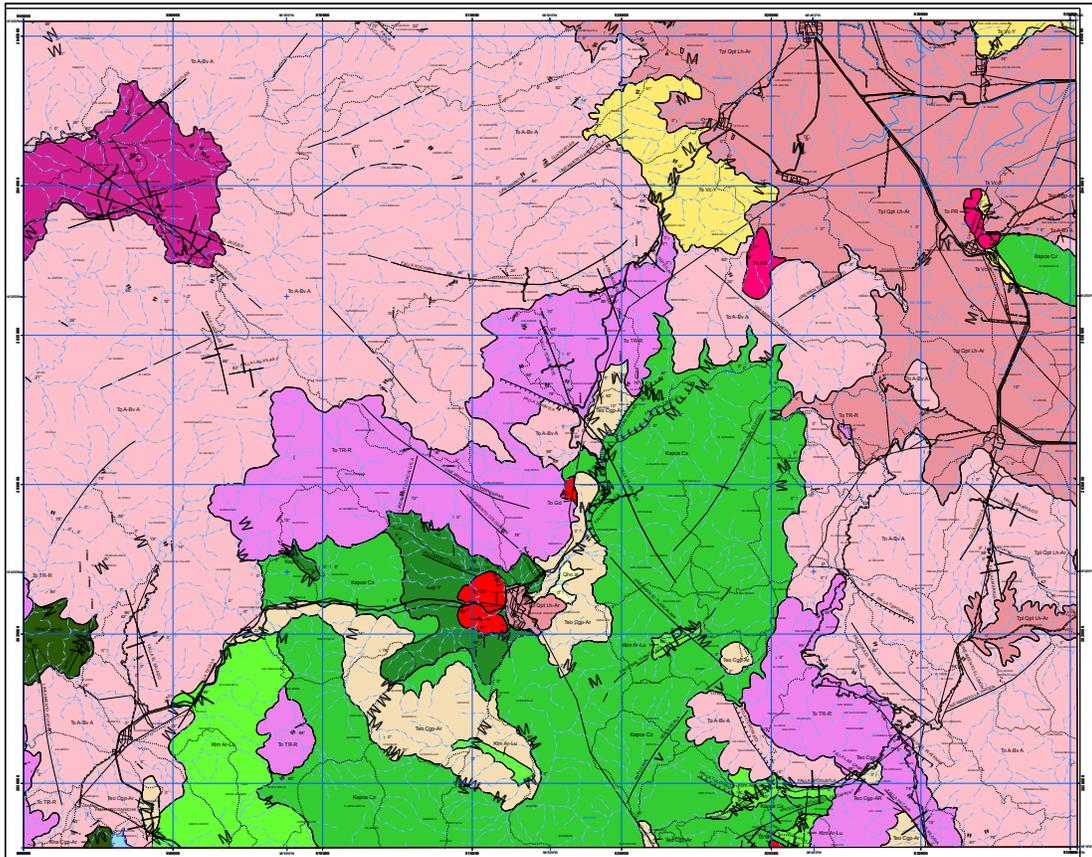


Figura 3.2.1.- Plano geológico estructural de la zona de estudio

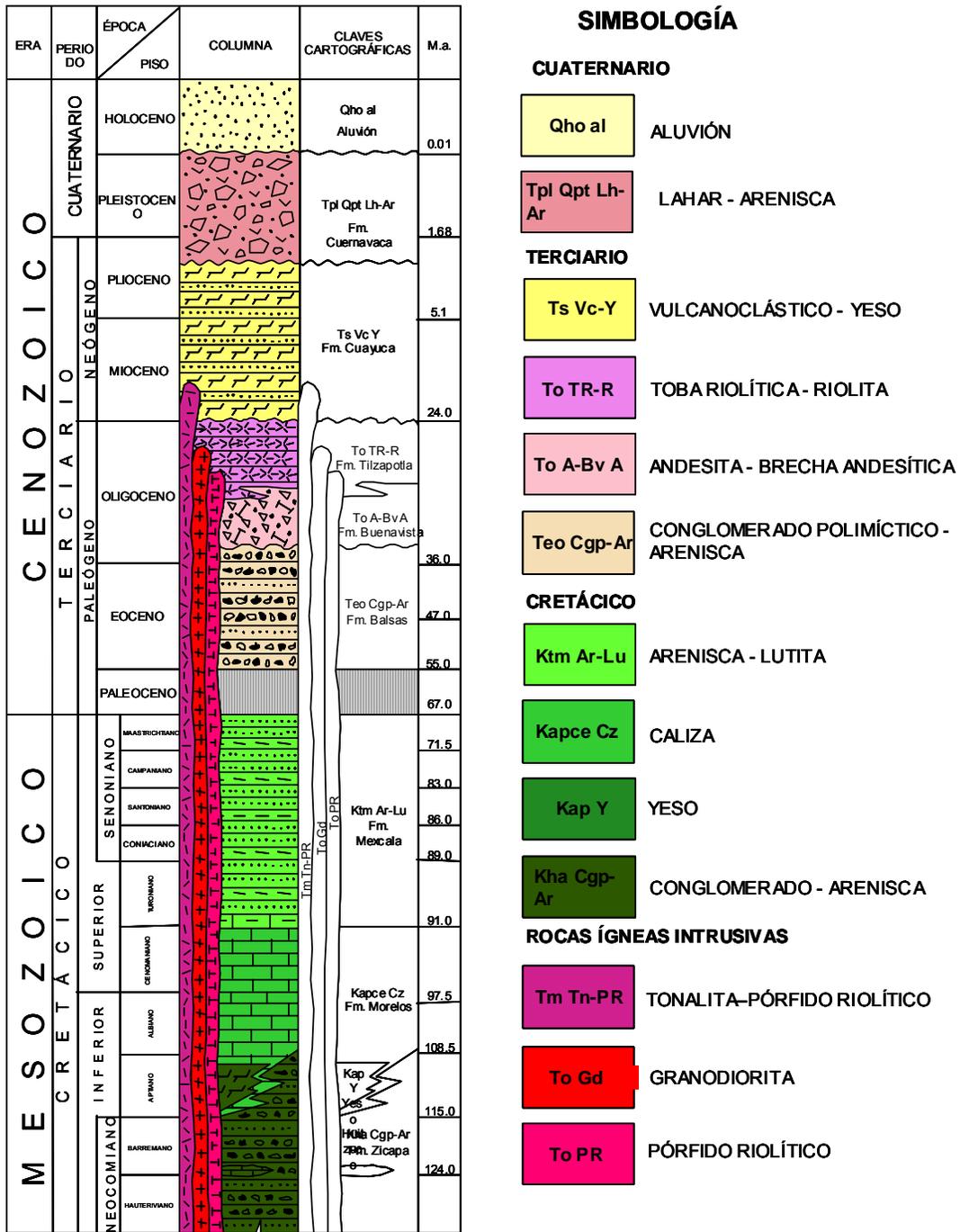


Figura 3.2.1.- Columna Estratigráfica

III.2.1. Formación Zicapa (Kha Cgp-Ar)

- Definición: Guzmán (1950) en su estudio acerca de la geología de Guerrero, describe brevemente una secuencia compuesta por tobas, areniscas y conglomerados finos de cuarzo blanco de origen continental o litoral, para la cual, resalta la ausencia de fósiles; sitúa esta secuencia en el Cretácico Inferior debido a su posición estratigráfica, entre sedimentos del Jurásico Medio (Calloviano) y el Cretácico Inferior. Posteriormente, De Cserna, *et al.* (1980) describen y proponen el nombre de Formación Zicapa para esta secuencia. Guzmán 1976; De Cserna, *et al.* 1980; y Salinas-Prieto 1986, la describen en diferentes localidades dentro de la Plataforma Guerrero-Morelos y le asignan una edad del Cretácico inferior. Hernández (1976 en Sabanero-Sosa, 1990) identifica fósiles del Aptiano en niveles de caliza intercaladas dentro de los conglomerados de San Juan de las Joyas. Recientemente, se reportó una edad de 125 ± 2 Ma de roca total por el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en unas lavas intercaladas en los conglomerados que afloran en el arroyo de Mezquitlán al suroeste de Papalutla (Fitz-Díaz y Campa-Uranga 2002).

- Distribución: Esta unidad está aflorando en el cuadrante suroccidental de la carta Huehuetlán; tiene la mayor exposición al norte del poblado La Junta y la menor al sureste de la población de San Vicente en las inmediaciones de la presa de Huachinantla.

- Litología: Se observa una intercalación de limolita, arenisca arcillosa, silicificada y hematizada, así como conglomerado constituido por clastos de cuarzo principalmente, además se presentan lentes de caliza que se pueden ubicar en la cima de la formación. La roca es de color gris claro a ocre. Se estratifica en capas delgadas entre 5 y 20 cm. Su espesor aproximado tomando en cuenta el área de El Salado es de aproximadamente 70 m.

III.2.2. Yeso Huitzucó (Kap Y)

- Definición: Es considerada por algunos autores como la parte basal de la Formación Morelos. Dicha anhidrita se extiende desde el lago de Tequesquitengo hacia Iguala y desde este último punto hacia el sur-suroeste hasta la latitud del Río Balsas, donde probablemente da vuelta al oriente (Fries, 1960). Grandes áreas de anhidrita y dolomita afloran al sur de Huitzucó. La anhidrita es laminada y fuertemente retorcida por el escurrimiento. El material superficial contiene una mezcla considerable de yeso, pero la roca relativamente está inalterada, cuando es más densa es anhidrita casi pura. El yeso se supone resulta de la hidratación de la anhidrita por las aguas subterráneas.

- Distribución: En la zona estudiada, esta formación se distribuye en los alrededores del poblado de Jolalpan en el estado de Puebla.

- Litología: En la porción central de la zona de estudio, al norte de la población de Jolalpan, aflora una intercalación de yeso, anhidrita, conglomerado calcáreo y caliza. Se estratifica en capas que miden entre 10 y 40 cm. El yeso se observa de forma variada en una zona es de color blanquecino con hábito

fibroso, mientras que la caliza es de coloración grisácea. Se observa recristalización esporádica. En otras zonas es de color gris de estructura laminar y esporádica nodular, que indica una formación subacuosa, alternando color blanco y gris en láminas muy delgadas y muy plegadas incluso en hábito chevron. Es poco común observar ritmicidad de horizontes, fibrosos y masivos, lo que pudiera indicar contenido de yeso y anhidrita e intercalación de niveles calcáreos para formar una estructura laminar várvida.

III.2.3. Formación Morelos (Kapce Cz)

- Definición: Esta unidad ha sido estudiada en diversas ocasiones a través del tiempo y recibió diferentes nombres desde el siglo pasado, pero hasta 1960, Fries hace referencia a los depósitos carbonatados presentes en los estados de Guerrero y Morelos, donde finalmente se propone el nombre de Formación Morelos. Se compone de una interestratificación de caliza y dolomía con nódulos, granos y fragmentos de pedernal, así como fósiles silicificados. La parte más antigua de esta unidad, corresponde al miembro de anhidrita laminada, cuya coloración varía de blanco a gris oscuro, presente desde el lago de Tequesquitengo, Morelos hasta Iguala, Guerrero y de este último punto hacia el suroeste hasta la latitud del río Balsas; en el resto de los afloramientos la capa basal corresponde a capas de caliza.

- Distribución: Se distribuye ampliamente en la carta Huehuetlán. Las zonas con mayor presencia son las porciones central, oriental, suroccidental y sur, presentan ciertas diferencias estructurales y texturales de acuerdo con la zona que se estudie.

- Litología: Generalmente consta de caliza de color gris claro a pardo claro al fresco y castaño claro al intemperismo con una textura *wackestone* y *packstone*. La unidad se presenta en estratificación mediana con espesores de 30 a 50 cm. Los estratos contienen nódulos de pedernal de color negro de forma alargada con fósiles de globigerínidos

III.2.4. Formación Mexcala (Ktm Ar-Lu)

- Definición: Fries (1960) la define como una sucesión de capas interestratificadas de arenisca, limolita y lutita calcárea con escasos lentes de caliza clástica. La parte basal generalmente es de naturaleza calcárea y puede consistir en caliza arcillosa o limolita calcárea. La caliza basal está formada por capas calcareníticas laminadas, de color gris oscuro de 10-20 cm de espesor, sobre las cuales descansan capas interestratificadas de lutita y limolita calcárea con menor cantidad de arenisca. Posteriormente se encuentran interestratos de arenisca y algunas capas de conglomerado de grano fino, los cuales varían en espesor desde algunos centímetros hasta un metro en el caso de las areniscas. Sobre los planos de estratificación de la arenisca, abundan rizaduras y marcas o huellas irregulares. La arenisca procedente de la parte inferior de la formación, muestra un predominio de granos clásticos de caliza y dolomita con regular cantidad de cuarzo, feldespatos y minerales máficos completamente alterados en menor proporción. En capas superiores, los granos carbonatados disminuyen su abundancia. Las capas conglomeráticas superiores de la

formación, contienen mayores cantidades de granos de cuarzo y de otros minerales de origen ígneo. Las capas inferiores contienen considerables cantidades de materia carbonosa en forma de tallos leñosos en los estratos arenosos y limosos; algunas veces su coloración es oscura.

- Distribución: La Formación Mexcala en la carta Huehuetlán se distribuye en la porción sur y suroccidental, desde Teutla hasta el límite suroccidental, continuando su extensión en la hoja Temalac en una franja de aproximadamente 3.5 km. También aparecen pequeños afloramientos al sur y sureste de la zona de estudio en las inmediaciones del poblado de Ayoxuxtla de Zapata.

- Litología y espesor: En la zona de estudio, generalmente esta formación está constituida por arenisca de grano fino a mediano en estratos delgados a medianos, la cual presenta localmente gradación normal y laminación planar, estas capas están interestratificadas con lutita y capas delgadas de caliza y brecha calcárea. El espesor estimado en esta zona es de 250 m

III.2.5. Formación Balsas (Teo Cgp-Ar)

- Definición: Fries C., (1960) modificada por De Cserna (1966, p, 27) describió un conjunto de rocas continentales, representadas por conglomerado calcáreo, volcánico, arenisca y limolita tobácea con yeso, caliza lacustre y algunos derrames volcánicos interestratificados. Este paquete se denominó Grupo Balsas, e incluye a todos los lechos rojos continentales con intercalación de rocas volcánicas del Paleoceno – Eoceno.

- Distribución: Se presentan afloramientos irregulares en la porción sur-central de la carta en las inmediaciones de los poblados de Tlaucingo y Jolalpan. Al sur-suroccidental de la población de Santa Ana Tamazola en los cerros de Tepanatenco y Coechapa. Al suroeste de Huachinantla se encuentra aflorando en pequeños lomeríos.

- Litología: En la carta Huehuetlán, esta unidad está representada por conglomerado polimíctico de color rojizo a ocre, constituido por fragmentos de caliza, arenisca y cuarzo principalmente, esporádicamente se llegan a observar fragmentos de rocas volcánicas. Los clastos se aprecian de diversos diámetros que varían de 5 a 40 cm, de forma redondeada a subredondeada, inmersos en una matriz arenosa. Presenta una estratificación mediana a gruesa con intercalaciones de limolita de color rojo, así como una arenisca conglomerática de grano grueso en una matriz calcárea arcillosa de estratificación mediana. El espesor máximo de esta unidad es 2,500 m en las cercanías de Santa Fe según Fries, C., 1960. Afloramientos de hasta 100 m se pueden apreciar claramente en los cortes de la carretera de Jolalpan y Tlaucingo

III.2.6. Formación Buenavista (To A-Bv A)

- Definición: Fries C., en 1960 definió como Grupo Buenavista a una sucesión volcánica gruesa, compuesta por corrientes lávicas, brechas y tobas de composición andesítica situado al sur del río Amacuzac.

- Distribución: Su extensión principal se localiza en la parte norte-central, suroriental y occidental de la carta. Esta secuencia volcánica está constituida por derrames de andesita con intercalaciones de toba y principalmente por brecha de composición andesítica.

- Litología: Secuencia de tobas con algunos derrames volcánicos y brechas de composición andesítica. El espesor máximo estimado es de 1,000 m en Fries C., 1960. Las andesitas comúnmente son de color violáceo y gris verdoso con estructura compacta y textura afanítica.

III.2.7. Formación Tilzapotla (To TR-R)

- Definición: Estas rocas inicialmente fueron descritas por Fries (1960) en la parte norte del trayecto entre los poblados de Buenavista de Cuéllar y Quezalapa, Gro., denominándolas "Riolita Tilzapotla". Posteriormente Morán-Zenteno et al. (1998) y Morán-Zenteno et al. (2004) hacen referencia a esta unidad con los términos Formación Tilzapotla, Ignimbrita Tilzapotla respectivamente. Se le atribuye como localidad tipo afloramientos de riolita e ignimbrita en la sierra de Tilzapotla en los estados de Morelos y Guerrero.

- Distribución: Fries (1960) menciona que esta unidad aflora en las cercanías del poblado de Tilzapotla y al sur del lago de Tequesquitengo y del río Amacuzac. Es igualmente reconocida en el límite entre los estados de Morelos y Guerrero en el área de Amacuzac (Morán-Zenteno et al., 1998; Rivera-Carranza et al., 1998; Morán-Zenteno et al., 2004; Morán-Zenteno et al., 2007).

- Litología: Esta unidad consiste principalmente de una toba soldada desvitrificada de color rosa claro y de grano grueso que en algunas localidades tiene presencia de corrientes lávicas bien interestratificadas. La riolita es de color pardo rojizo y beige rosáceo de estructura compacta, textura afanítica y una mineralogía esencial de cuarzo, plagioclasa, feldespato y muscovita.

III.2.8. Granodiorita (To Gd)

- Definición: Mencionada por Fries C., 1960, quién lo describe como tronco Coxcatlán, en las inmediaciones de Buenavista de Cuéllar Guerrero, en donde al centro de este tronco la muestra colectada y analizada en lámina delgada resultó ser una granodiorita, mientras que otra de la periferia del cuerpo intrusivo, cambia a un pórfido diorítico, donde muestra la variación textural y mineralógica de este tipo de estructuras magmáticas.

- Distribución: Aflora principalmente en la porción centro-sur de la carta en la cabecera municipal de Jolalpan y en menor proporción en los límites surorientales del área de estudio a 2 Km al sur de Ayoxuxtla de Zapata, cuerpo intrusivo que se prolonga al sur hasta la carta de Temalac E14-B81.

- Litología: La roca corresponde a un cuerpo intrusivo de composición granodiorítica de color blanco al fresco y gris claro a verdoso por efectos de

intemperismo, de estructura compacta, textura equigranular a porfídica, teniendo como minerales esenciales cuarzo, oligoclasa, andesina, hornblenda y augita. Superficialmente se presenta intensamente caolinizado y ligeramente oxidado por los agentes de intemperismo

III.2.9. Pórfido riolítico (To PR)

- Definición: Se define con este nombre a cuerpos ígneos intrusivos hipabisales de composición ácida.

- Distribución: Dentro de la carta se identifican dos pórfidos riolíticos, el de mayor extensión se localiza en el extremo nororiental de la carta al sur de Tzicatlán en el paraje de Mina Vieja y al norte de la comunidad de Tlancualpán, se ubica el de menor dimensión.

- Litología: La litología consiste básicamente en pórfidos de composición riolítica de color gris verdoso a rojizo, estructura compacta, textura porfídica, compuestos principalmente por cuarzo, ortoclasa, oligoclasa y biotita, presenta intensa oxidación y caolinización.

III.2.10. Tonalita-Pórfido Riolítico (Pórfido andesítico) (Tm Tn-PR)

- Definición: Este nombre se empleó para describir cuerpos ígneos intrusivos hipabisales de composición intermedia y ácida de color gris verdoso con textura porfídica y estructura compacta. En esta carta se distinguen rocas hipabisales, tanto riolíticas como andesíticas y ocasionalmente tonalitas que por su distribución y dimensión, se agrupan como una sola unidad denominada Tonalita-Pórfido Riolítico (Tm Tn-PR). La nomenclatura se consideró de acuerdo a la misma unidad cartografiada en la hoja colindante hacia el occidente, Tilzapotla E14-A79 (Salinas Rodríguez, 2009).

- Distribución: Se localiza en el extremo noroccidental de la carta como prolongación del pórfido cartografiado al occidente dentro de la hoja Tilzapotla E14-A79, comprendiendo las comunidades de Ajuchitlán y Santiopan y en menor dimensión al NE de Jolalpan en el cerro Coscomate.

- Litología y Espesor: En la porción noroccidental de la carta, megascópicamente consiste de un pórfido andesítico de coloración gris verdoso, textura porfídica y estructura compacta, compuesto por plagioclasa, oligoclasa, cuarzo, andesina, augita, hornblenda y ortoclasa. En la localidad descrita al NE de Jolalpan, el afloramiento corresponde a una Dacita Porfídica (Tonalita) sobre la base de los resultados del análisis petrográfico efectuado.

III.2.11. Formación Cuayuca (Ts Vc-Y)

- Definición: Propuesta por Fries (1960). Esta formación se compone de tres miembros: 1) La parte inferior está formada por rocas clásticas, cuya litología varía de conglomerado a lutita; 2) la parte intermedia descansa sobre o está intercalada con la anterior y consiste principalmente de caliza lacustre, pedernal y marga con diferentes proporciones de óxido de hierro, arcilla y limo

que les da una coloración de gris claro a castaño; y 3) la parte superior está constituida por yeso con distinto grado de pureza. Los yesos contienen impurezas, principalmente de arcillas y con menor frecuencia ópalo, calcedonia, calcita y barita. Se observa rellenando fracturas e intercalada en algunos planos de estratificación se encuentran cristales fibrosos de selenita. En otros lugares donde tiene presencia esta formación, se considera que está compuesta principalmente por yeso y en menor proporción lutita.

- Distribución: En esta región se distribuye en la porción nororiental de la zona de estudio. Desde el oriente de Axochiapan, aparece en lomeríos bajos que se encuentran cubiertos por el Lahar de la Formación Cuernavaca. También aflora al sur de Tlancualpicán y sur occidente de Teotlalco y Tzicatlán en una franja de aproximadamente 3 Km de ancho por 5 Km de largo.

- Litología y espesor: En la zona de estudio se compone de intercalaciones de lutita rojiza y arenisca verde y crema con intercalaciones de horizontes de yeso.

III.2.12. Formación Cuernavaca (Tpl Qpt Lh-Ar)

- Definición: La Formación Cuernavaca tiene una litología compleja, conformada por conglomerados que en conjunto forman un abanico aluvial de grano medio a grueso, cuyos componentes son predominantemente rocas volcánicas andesíticas, así como otros fragmentos de material volcánico terciario (Fries, 1960). Existen algunos intervalos netamente tobáceos con buena estratificación; en ocasiones presentan estructura masiva.

- Distribución: Dentro de la hoja Huehuetlán, la Formación Cuernavaca aflora en la porción nororiental y oriental de la zona de estudio, desde Axochiapan, pasando por Tlancualpicán, Teotlalco y Tzicatlán hasta los poblados de Huehuetlán y Jolalpan en la porción central de la zona de estudio.

III.2.13. Aluvión (Qho al)

Se distribuye en el valle de Jolalpan en la porción centro-suroccidental de la carta. Constituida por conglomerados, gravas y arenas sin consolidar. Dentro de esta unidad se encuentran los sedimentos más recientes del Cuaternario que fueron originados por acción fluvial en ríos y arroyos y que se encuentran rellenando valles y cauces de arroyos.

El espesor máximo estimado en estos depósitos varía entre los 5.0 y 10.0 m aproximadamente.

III.3 Estructuras geológicas

Desde el punto de vista estructural, la región estudiada se encuentra afectada por diferentes etapas de deformación que implican la formación de pliegues, cabalgaduras y fallas en régimen de compresión en condiciones frágil-dúctil que afectan a rocas de las formaciones Zicapa, Morelos y Mexcala. Así también está afectado por fallas normales y laterales que están presentes

principalmente en la cubierta volcánica de las formaciones Buenavista y Tilzapotla que implican deformación frágil.

III.3.2.- Deformación Dúctil-Frágil.

Las estructuras producidas en este tipo de régimen se observan en los afloramientos de las rocas sedimentarias cretácicas de las formaciones Zicapa, Morelos y Mexcala donde se forman pliegues predominantemente asimétricos y una falla inversa

Anticlinal La Junta

En la porción suroccidental de la zona de estudio, al NW de la población La Junta se configura el núcleo de un anticlinal en areniscas y andesitas silicificadas de la Formación Zicapa las cuales también están afectadas por intenso fracturamiento. Los datos de planos de estratificación medidos en esta estructura son N 64° E/ 45° SE y N 22° W/ 44° SW. Estos datos configuran un eje con orientación NNE-SSW inclinado al SW y geoméricamente es simétrico. La mayor parte del flanco oriental queda cubierto por rocas volcánicas de la Formación Buenavista.

Anticlinal El Pozo

Entre los poblados Tlaucingo y Miquetzingo se midieron superficies de estratificación que configuran un anticlinal asimétrico cuyo flanco occidental es sub horizontal (15° – 29° NW) y alargado mientras que el flanco oriental es más corto y más inclinado (31° - 52° NE). El eje se orienta N 31° E y su plano axial tiene una vergencia al SE. El ancho de la estructura es de 5 km aproximadamente desde Tlaucingo hasta Miquetzingo y aflora a lo largo de 12 kilómetros. Está constituido en rocas carbonatadas de la Formación Morelos.

Sinclinal Tancalapa

En las inmediaciones de Tancalapa en la porción centro sur de la carta, subyacidos por caliza de la Formación Morelos, se encuentran sedimentos de la Formación Mexcala, los cuales presentan inclinaciones que varían de 26° a 58° en estratos orientados NE-SW e inclinados al NW y SE respectivamente, lo cual conforma un pliegue sinclinal asimétrico con vergencia al SE.

Anticlinal Senteocala

Es un anticlinal interpretado a través de las imágenes de sensores remotos. Se forma al norte del poblado del mismo nombre, en la porción sur oriental de la zona de estudio. Dicha estructura se configura entre los sinclinales Ayoxuxtla y Tancalapa y deforma las rocas carbonatadas de la Formación Morelos. La estructura queda cubierta parcialmente por rocas volcánicas de la Formación Buenavista

Anticlinal Ayoxuxtla

En la porción sur de la zona de estudio, en las inmediaciones de Ayoxuxtla de Zapata, se midieron estratos inclinados al NW y al SE respectivamente, los cuales definen este anticlinal que se manifiesta en las rocas de la Formación Morelos. Es un anticlinal simétrico afectado por fallas normales y laterales que se describirán posteriormente.

Sinclinal Ayuxuxtla

En continuidad con el anticlinal Ayoxuxtla,, hacia el noroeste de la estructura, la inclinación de los estratos cambia nuevamente hacia el sureste y configura una estructura sinclinal que tiene en su núcleo a rocas de la Formación Mexcala y a la caliza de la Formación Morelos en sus flancos. Este pliegue está igualmente afectado por fallas normales y laterales que producen una variación en la orientación de su eje.

Cabalgadura El Canelo

Se encuentra en las cercanías de Tlaucingo en la porción central de la zona de estudio, lugar donde se verificó la existencia de una falla inversa de orientación general N-S en su porción sur y NE-SW en su sector norte. La vergencia de esta estructura es al oriente y sur oriente respectivamente. Esta cabalgadura se manifiesta intraformacional en calizas del Aptiano-Cenomaniano.

La figura 3.3.1 muestra la disposición de los planos de estratificación que configura pliegues, que en este caso se generaron por esfuerzo máximo compresivo en posición NW 39°. También se aprecia otra familia de pliegues que fueron producidos por compresión NE-SW y pone en evidencia la interferencia de pliegues por 2 eventos sobrepuestos.

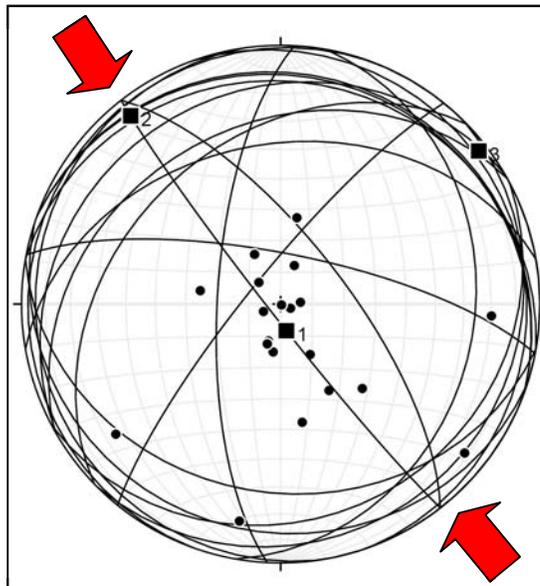


Figura 3.3.1. Diagrama ciclográfico y polar de los planos de estratificación de las Formaciones Zicapa, Morelos y Mexcala. La dirección calculada del esfuerzo máximo compresivo es N 39° W, subhorizontal

Para complementar la idea anterior se muestra la *figura 3.3.2* que se construyó con datos de estratificación de sedimentos de rocas de la Formación Balsas exclusivamente. El resultado muestra un vector de máxima compresión en dirección N 61°, lo cual significa que el campo de esfuerzo en esta dirección representa la última fase de deformación que se sobrepone a la resultante en las rocas cretácicas.

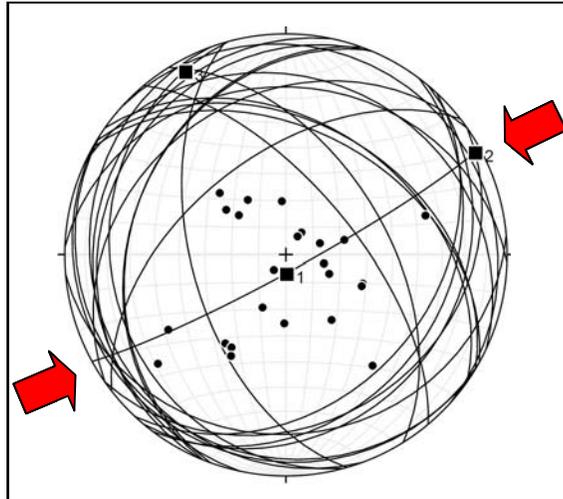


Figura 3.3.2. Diagrama ciclográfico y polar de los planos de estratificación de la Formación Balsas. La dirección calculada del esfuerzo máximo compresivo es N 61 ° E subhorizontal

III.3.3.- Deformación Frágil

Como ya se ha mencionado, la deformación principal en la zona de estudio se generó en condiciones termodinámicas que produjeron estructuras de ruptura neta (frágil) y afecta de manera más evidente a la cubierta volcánica cenozoica, aunque también se documentan estructuras de este tipo, presentes en formaciones más antiguas.

Fallas normales

Este tipo de fallas tienen una orientación preferencial NW-SE, aunque un bajo porcentaje de las que se hallaron corresponde a fallas orientadas NE-SW. Las unidades presentes que están más afectadas son las formaciones Morelos, Mexcala, Buenavista y Tilzapotla

En el límite norte de la carta en la localidad con coordenadas UTM 511851E, 2045460N se midió la Falla La Chachalaca, la cual afecta a la andesita de la Formación Buenavista y corresponde con el plano orientado N 51° W inclinado 72° al NE que de acuerdo con las observaciones de campo corresponde a una falla normal con una componente lateral izquierda ya que las estrías están inclinadas 46° al NW.

Al oriente de Tepoxmatla, en la porción centro oriental de la carta se encuentra la falla normal denominada Falla Tepoxmatla. Dicha estructura se midió sobre un arroyo (coordenadas UTM 528193E, 2026312N) en el cual se observa afectando a la andesita de la Formación Buenavista. El plano de falla medido es $N35^{\circ}W / 65^{\circ} SW$, con estrías inclinadas $56^{\circ} SE$. A través de las imágenes epipolar y de satélite se puede interpretar la continuidad de dicha falla en por lo menos 2 Km. La inclinación del indicador cinemático (estrías) más evidente en esta estructura, da cuenta de la presencia de una componente lateral muy importante

Un kilómetro al norte de Ayoxuxtla de Zapata se observa la Falla Cuatomayo que afecta a rocas andesíticas de la Formación Buenavista y a caliza de la Formación Morelos, se verificó en la localidad con coordenadas UTM 525162E, 2020331N, tiene una cinemática de falla normal y se midió con una orientación preferencial $N 32^{\circ} W / 84^{\circ} NE$ y estrías inclinadas 54° al SE, la cual aparentemente pone en contacto esta roca con caliza arenosa de la Formación Mexcala. Aflora en una longitud de 3 Km aproximadamente. De acuerdo a la geometría de las estrías medidas se interpreta una componente lateral de esta estructura.

En la misma región hacia el límite sur de la carta se encuentra la Falla Aguacatitla la cual fue medida en la localidad con coordenadas UTM 525806E, 2017965N donde los sedimentos de la Formación Mexcala se encuentran en contacto con la caliza de la Formación Morelos a través de esta estructura identificada como falla normal con dirección $N 63^{\circ} W / 62^{\circ} NE$ con una longitud de 1.5 Km en el área estudiada, aunque se prolonga hacia el sur. Rompe el flanco suroriental del Anticlinal Ayoxuxtla de Zapata.

Un kilómetro al NE en la localidad con coordenadas UTM 526030E, 2018789N aflora en los mismos sedimentos de la Formación Mexcala un juego de fallas normales con dirección: $N 10^{\circ} E / 74^{\circ} SE$, $N 57^{\circ} E / 58^{\circ} NW$ que forman pequeños pilares y fosas.

En la localidad con coordenadas UTM 523768E, 2019305N (Falla Tulchigo) se observó la presencia de una pequeña falla normal con dirección $N 17^{\circ} W / 66^{\circ} NE$ y estrías inclinadas 88° al NW que afecta a los sedimentos de la Formación Mexcala y mide aproximadamente 2 Km.

En la porción central de la carta, cerca de Tlaucingo se encuentran las fallas normales llamadas Tepintla y Las Chivas. La primera tiene dirección $N 70^{\circ} W$ y echado de $43^{\circ} SW$ con pitch de $53^{\circ} SE$, fue medida en la localidad HU059B con coordenadas UTM 518012E, 2032740N; afecta a andesitas de la Formación Buenavista y las pone en contacto con las riolitas de la Formación Tilzapotla, la longitud aproximada es de 3.5 Km. La segunda falla fue interpretada por la discordancia litológica que se presenta en el lugar en un rasgo muy recto orientado NE-SW, afecta a la caliza de la Formación Morelos, y pone en contacto estas rocas con los sedimentos terrígenos de la Formación Balsas. Ambas son fallas normales y aunque en el campo no se llegó a observar la intersección entre ellas podrían ser estructuras conjugadas.

Fallas Laterales

La mayor parte de las fallas que se observan en la zona de estudio son de tipo lateral y generalmente tienen una orientación NW-SE, sin embargo, hay otras más escasas que están orientadas NE-SW. Las primeras de acuerdo con las observaciones de campo tienen un desplazamiento preferencial derecho, mientras que las últimas poseen desplazamiento izquierdo. Ambas conforman un sistema conjugado.

En la zona noreste se observa la falla Tlancualpican que pasa al norte del poblado del cual toma su nombre. Se trata de una falla lateral izquierda medida en la localidad con coordenadas UTM 531946E, 2038717N que afecta rocas de la Formación Buenavista. El plano de falla medido es N 10° E inclinado 84° al SE y pitch de 23° al NE. De acuerdo con la imagen epipolar, se puede observar continuidad de la falla hacia el pórfido riolítico que corta la unidad y queda por debajo de depósitos de lahar de la Formación Cuernavaca, por lo cual se interpreta que la falla se originó antes de los depósitos de avalanchas y lahares.

Hacia la porción centro norte de la carta, 1 Km al norte de Maravillas en la localidad con coordenadas UTM 521243E, 2037284N, se encuentra la falla lateral Tepetlalpan. Se midió sobre rocas pertenecientes a la Formación Tilzapotla y también afecta a andesitas de la Formación Buenavista. La falla está orientada al N 60° W en un plano vertical con estrías horizontales que definen un desplazamiento lateral izquierdo. Con apoyo de las imágenes epipolares y de google earth se puede ver que la falla tiene una longitud de no más de un kilómetro.

En la misma región, en la localidad HUR011 con coordenadas UTM 519610E, 2036134N, se midió la Falla Maravillas al oriente del poblado del mismo nombre. Tiene orientación N 26° W con echado de 88° al NE con estrías subhorizontales; de acuerdo con las observaciones de campo, tiene desplazamiento lateral izquierdo. Afecta a las ignimbritas y riolitas de la Formación Tilzapotla y a rocas de composición andesítica de la Formación Buenavista. Al occidente de la población Maravillas se localiza la Falla Xochipal cuya longitud llega a 9.5 Km. Se observó en la localidad con coordenadas UTM 514384E, 2037010N, donde afecta a andesita de la Formación Buenavista. La orientación medida es N 88° W/ 64° NE y estrías subhorizontales que indican movimiento lateral izquierdo.

En la porción central de la zona de estudio, desde el occidente de Tlaucingo hasta el norte de Tlancalapa se observa una falla medida en la localidad con coordenadas UTM 519158E, 2030507, tiene una orientación N 42° W/ 54° NE y estrías subhorizontales de cinemática lateral izquierda. La extensión de dicha falla es de 9.5 Km y se denomina Falla Temeacate

Al sur de Huehuetlán En la porción oriental de la carta se midieron las fallas laterales Chapulco y La Huilota. Ambas se midieron en la localidad con coordenadas UTM 532123E, 2029480N donde la primera tiene orientación N 68° W inclinada 76° NE y estrías de 14° al SE (falla lateral izquierda). La

segunda tiene orientación N 17° E inclinada 56° al SE y estrías de 13° hacia el NE (falla lateral derecha). La falla La Huilota desplaza a la falla Chapulco. Ambas miden aproximadamente 3 Km

En las inmediaciones de San José Chapulco se midió en la localidad con coordenadas UTM 532284E, 2027776N, la Falla Amarilla. Dicha falla tiene orientación N 18° W inclinada 88° NE con estrías inclinadas 14° al SE lo que denota un desplazamiento lateral derecho. Afecta a las rocas andesíticas de la Formación Buenavista y se extiende sobre la Barranca Agua Amarilla por aproximadamente 2.8 Km

Al sur de Tepoxmatla, en las inmediaciones de El Platanar en la localidad con coordenadas UTM 529274E, 2021972N se encuentra la falla que lleva el mismo nombre, es de tipo lateral de acuerdo con el plano medido en campo con dirección N 42° W inclinada 80° NE y estrías inclinadas 45° NW. Es una falla lateral izquierda con una importante componente vertical Se extiende a lo largo de 3.5 Km aproximadamente.

En la porción sur oriental, al oriente de Ayoxuxtla de Zapata se encuentra la Falla Ayoxuxtla la cual es de tipo lateral izquierda y pone en contacto las andesitas de la Formación Buenavista con arenisca de la Formación Mexcala. Se midió en la localidad con coordenadas UTM 526885E, 2019912N y el plano obtenido es N 85° W, echado de 70° NE y estrías de 32° al NW, lo que denota además una ligera componente vertical

Aproximadamente 3 Km al oriente de Ayoxuxtla sobre la carretera que conduce a Huehuetlán el Chico, en la localidad con coordenadas UTM 527784E, 2020373N se midió una falla lateral (Falla Las Casas) de orientación N 68° W inclinada 66° NE y estrías de 38° al SE que denotan una falla lateral derecha con una componente normal.

En el límite sur de la carta, 500 m al oriente de la presa Huachinantla se encuentra una falla lateral de corta expresión (Falla Tecoanicha, 1.2 Km) y que pone en contacto a las rocas volcánicas de la Formación Buenavista con los sedimentos continentales de la Formación Balsas, como se observa en la localidad con coordenadas UTM 504150E, 2018259N y que tiene dirección N 12° W / 88° SW con estrías horizontales que denotan un desplazamiento lateral derecho.

En las inmediaciones de la población llamada Teutla se interpretó la Falla Teutla la cual tiene una longitud de 1.5 Km y afecta a las rocas de la Formación Buenavista y Mexcala

En la localidad con coordenadas UTM 503608E, 2025576N a 2.5 km al sur del poblado Rancho El Salado, la andesita de la Formación Buenavista está afectada por una Falla de desplazamiento lateral con dirección N 18° W / 62° NE y estrías que miden 32° de inclinación hacia el SE. La longitud aproximada es de 3.3 Km

En la porción noroccidental de la zona de estudio, aproximadamente un kilómetro al SE de la comunidad llamada Las Pilas (coordenadas UTM 506598E, 2034022N) , se midió una falla lateral derecha con dirección N 40°W inclinada 73° al NE y estrías con 40° al SE. Afecta a la andesita de la Formación Buenavista y se extiende aproximadamente 3 Km de acuerdo con las interpretaciones de imágenes epipolar y de satélite. Un kilómetro al oriente se encuentra la Falla Las Pilas II medida en la localidad con coordenadas UTM 507170E, 2033769N y definida por el plano N 85° E inclinado 83° al SE y estrías con sólo 05° de inclinación al SW.

En la zona noroccidental de la zona de estudio, al oriente del distrito minero de Huautla se midieron las Fallas laterales El Jagüey, Cerro Bola y Santiopan, las primeras dos de desplazamiento derecho y la última con movimiento izquierdo. Los planos que las definen son N 70° W/ 88NE (Coordenadas UTM 503590E, 2039250N), N 73° E/ 86° SE y estrías con 19° NE (Coordenadas UTM 503197E, 2039052N) y N 48° W/ 85° NE y estrías inclinadas 12° NW (Coordenadas UTM 505472E, 2037723N) respectivamente. Cabe mencionar que se tomaron más datos en la zona que pertenecen al sistema mencionado y afectan al pórfido andesítico que aflora en la región.

Hacia la porción norte de esta zona, en la localidad con coordenadas UTM 503695E, 2042291N, se obtuvieron datos de una falla de desplazamiento lateral derecho llamada Ajuchitán. Se observó un fracturamiento intenso con dirección N 42°E / 62° NW. A partir de las interpretaciones de imágenes de sensores remotos se determinó la presencia de dicha falla

Al sur de Ayoxuxtla se encuentran las fallas Pilcaya y Tierra Blanca, ambas laterales derechas con orientación NW-SE y medidas en localidades de la carta Temalac, donde se describen más a fondo. En la zona de estudio afectan a rocas de la Formación Balsas y Morelos respectivamente determinado por interpretación de las imágenes epipolar y de satélite.

Para complementar la información obtenida, se graficaron en un estereograma los datos medidos de fallas laterales. A partir de estos datos se calculó que el campo de esfuerzos que las generaron está orientado con el vector de máxima compresión en 203°/ 9.6° como se muestra en la *Figura 3.3.3*

Fracturas

En la zona de estudio se midieron diversas fracturas que de manera general son más evidentes en la cubierta volcánica de las Formaciones Buenavista y Tilzapotla y en caliza de la Formación Morelos. Debido a la diversidad de datos obtenidos y a la dispersión de los datos de fracturamiento, las superficies medidas se plasman en una roseta que ayuda a determinar estadísticamente la dirección preferencial de las fracturas en esta carta, las cuales son NW – SE, WNW y SW. Esta disposición muestra una compresión máxima promedio en dirección N 60° W la cual es consistente con la compresión máxima general de la región (*Figura 3.3.4*).

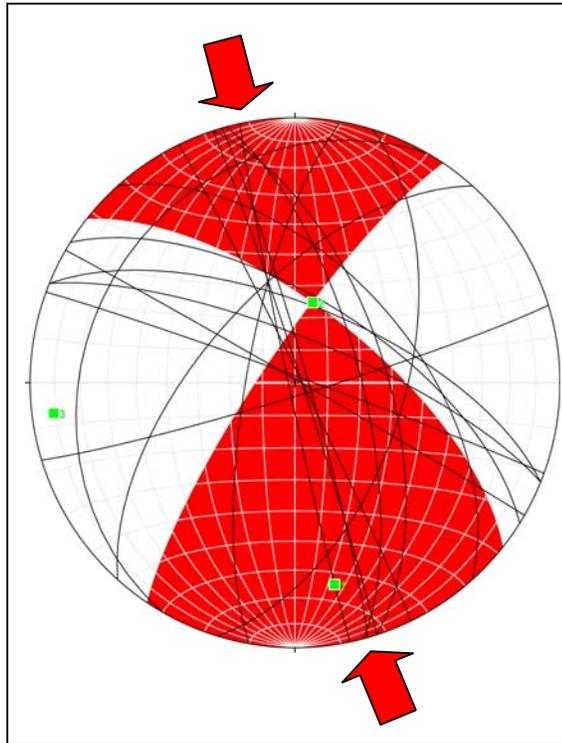


Figura 3.3.3. Diagrama ciclográfico de los planos de fallas laterales medidos en la carta Huehuetlán. La dirección calculada del esfuerzo máximo compresivo es 203/9

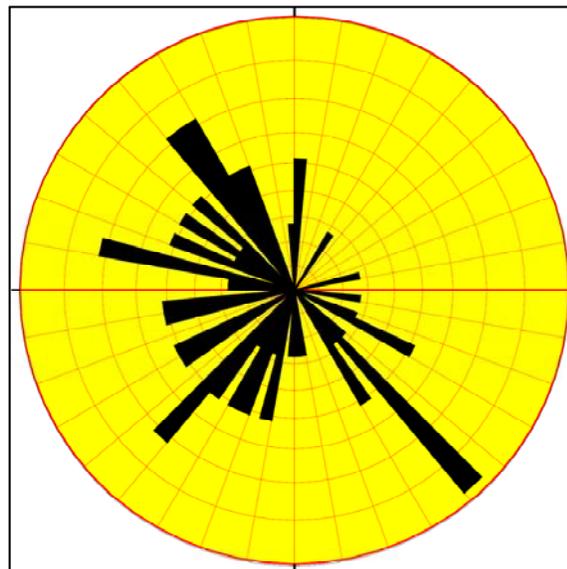


Figura 3.3.4 Roseta de fracturas de la carta Huehuetlán y que muestra la disposición preferente hacia el NW

Lineamientos

En la región se observan diversos lineamientos mayoritariamente orientados NW - SE sin embargo existen algunos orientados NE - SW. Dichos lineamientos fueron interpretados a partir de las imágenes de sensores remotos. Cabe mencionar que en las localidades verificadas cercanas a dichos lineamientos, no se encontraron indicadores cinemáticos con los que se pueda confirmar la presencia de alguna falla.

En la porción noroccidental alrededor de la zona que afecta el pórfido andesítico se puede observar una serie de lineamientos sensiblemente radiales al pórfido mencionado.

De acuerdo con las observaciones de campo, con los datos medidos y los diagramas calculados es posible proponer que en la región de estudio existen dos eventos compresivos, el primero afecta a rocas cretácicas y tiene σ_1 orientado NW-SE, dirección que también se manifiesta para la generación de fallas laterales. Posiblemente este evento corresponda a la deformación Laramide documentada por otros autores (*cf.* apartado de Tectónica de este documento) desarrollado durante el Paleoceno en esta región, en su fase final, cuando se registra la deformación retrógrada asociada a la Cabalgadura de Papalutla, que aflora al oriente y sureste de la carta estudiada.

El segundo evento compresivo tiene una dirección de σ_1 orientada NE-SW y se registra en rocas de la Formación Balsas (Eoceno-Oligoceno). Esta fase de deformación se desarrollo durante el período posterior al depósito de las capas rojas Balsas, pero previo al emplazamiento de las rocas volcánicas de las formaciones Buenavista y Tilzapotla, ya que estas no están plegadas. En algunas porciones se observan pliegues de amplio radio de curvatura e interferencia de pliegues. Mención aparte merece la influencia que ejerce el depósito de yeso a la base de la caliza de la Formación Morelos, ya que esta unidad que se comporta plásticamente también produce plegamiento.

Las fallas laterales se desarrollaron durante el primer evento compresivo, como está documentado más al sur de la zona de estudio y se reactivaron durante el último evento distensivo ya que afecta a rocas de la cubierta volcánica.

III.4 Evolución tectónica

La región donde está localizada la zona de estudio muestra una complejidad estructural y tectónica que ha sido escasamente abordada a pesar de diversos trabajos realizados en la región desde hace varias décadas. Pertenece a un mosaico heterogéneo de basamentos o bloques corticales y cubiertas que han tenido evolución sedimentaria y de deformación diferentes entre sí y están separados tectónicamente. Estos bloques se acrecionaron al continente en la margen circumpacífica, al final de Mesozoico e inicio del Cenozoico y hoy conforman, en esta zona, la Sierra Madre del Sur. A estos bloques corticales se les ha nombrado Terrenos Tectonoestratigráficos Campa y Coney, 1983), los cuales fueron establecidos para todo el país. (Figura III.4.1). Considerando esta división de terrenos, la carta objeto de este trabajo está ubicada dentro del Terreno Mixteco.

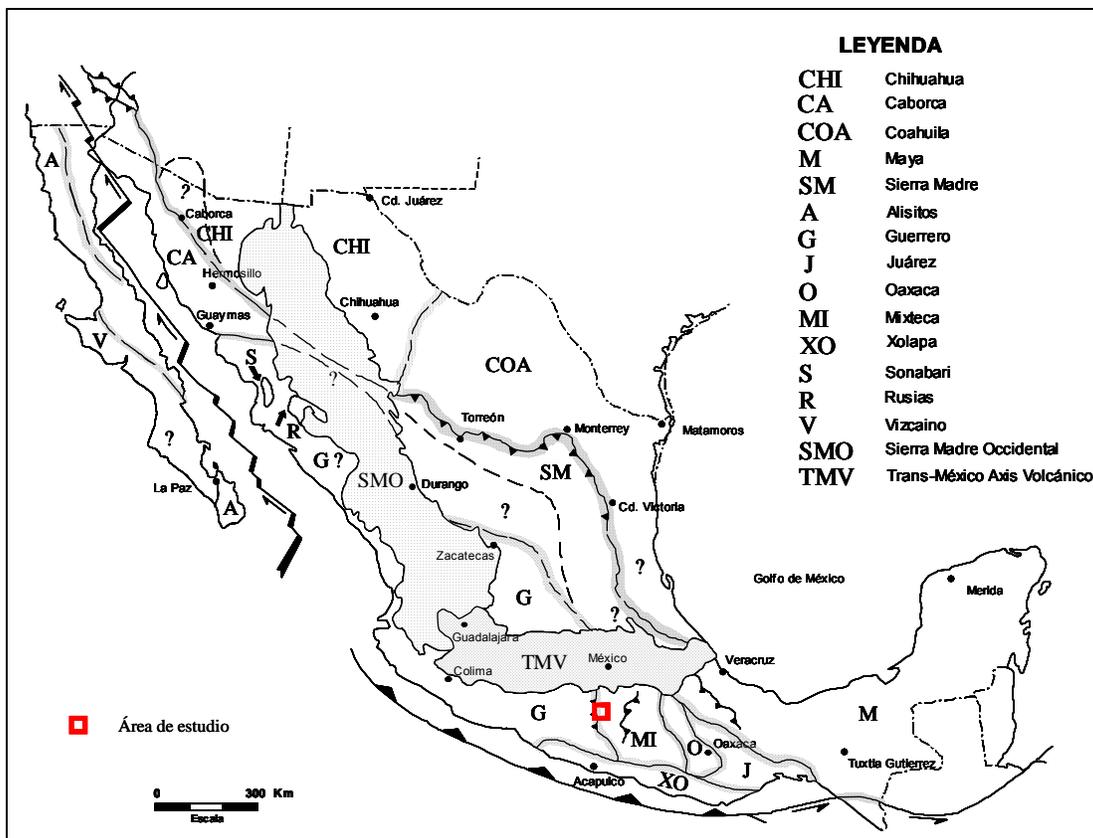


Figura 3.4.1.- Plano de distribución de Terrenos Tectonoestratigráficos de México. Tomado de Campa y Coney, 1983

Una década después de la primera propuesta de distribución de terrenos, Sedlock y colaboradores (1993) propone otros nombres y límites para los terrenos en México, sin embargo, los límites del terreno Mixteco quedan prácticamente igual.

Con el hallazgo de rocas metasedimentarias y metavolcánicas asociadas a un arco volcánico mesozoico (Arco Cascalote) en la región de Chiautla de Tapia,

Pue., (Sabanero et al., 1996) se cuestiona por primera vez el límite del terreno Mixteco y el papel de la cubierta carbonatada de la Plataforma Morelos-Guerrero (PMG). La presencia de este arco volcánico afín a los arcos de islas del terreno Guerrero, planteó la posibilidad de postular que el límite del terreno Mixteca no estuviera adecuadamente ubicado.

El límite original entre estos elementos se ubicaba en la región de Teloloapan, Gro., hasta donde supuestamente afloraban las rocas de arcos cretácicos (Campa y Coney, 1983).

Con base en análisis geoquímicos, Talavera (1992, 1994) estableció que las rocas metamorfizadas de Taxco, ubicadas al oriente del límite del cinturón de cabalgaduras de Teloloapan, pertenecen a un arco magmático de afinidad toleítica. Desde el punto de vista estructural Salinas-Prieto (1994, 2000) demostró que la deformación de las formaciones Esquisto Taxco y Roca Verde Taxco Viejo (Fries, 1960) son muy similares a las de las rocas de los arcos de Teloloapan y Arcelia en cuanto al régimen de deformación y condiciones termodinámicas y propone que estas rocas de Taxco pertenecen al terreno Guerrero.

Más tarde se realizan determinaciones isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ en circones por el método SHRIMP-RG (Campa e Iriondo, 2004, Campa et al., 2012); para establecer la edad de las formaciones mencionadas y se define que pertenecen al Cretácico inferior (Esquisto Taxco 137.1 ± 0.9 Ma y Taxco Viejo 135.6 ± 1.4 Ma) y no Precámbricas, Paleozoicas o Triásicas como se habían considerado (Fries, 1960, De Cserna, 1974), lo cual refuerza el planteamiento de su pertenencia al Terreno Guerrero. Hasta la fecha no hay datos sobre la geoquímica y/o la edad isotópica del arco Cascalote, aunque las relaciones estratigráficas establecidas por Sabanero y colaboradores (op. cit) implican también edad del Cretácico inferior.

En la región taxqueña, las rocas de arco se sobreponen tectónicamente a sedimentos carbonatados de la plataforma Morelos-Guerrero, como también se documenta para la región de Chiautla de Tapia. (Sabanero et al., 1996).

En este contexto, el origen y evolución del dominio de la plataforma Morelos - Guerrero es actualmente motivo de controversia.

Con argumentos sedimentológicos y estratigráficos, las formaciones Amatepec y Teloloapan fueron excluidas de la PMG para asociarlas a los arcos volcánicos del Terreno Guerrero (Guerrero-Suastegui et al., 1990, 1991, Guerrero-Suastegui, 2004). Consecuentemente la PMG comprende actualmente a las formaciones Zicapa, Morelos y Mexcala.

Por otro lado, las formaciones Amatepec, Teloloapan, Miahuatepec y Pachivia, ubicadas al oeste de la zona de estudio, han sido relacionadas a la evolución del terreno Guerrero en función de su edad, naturaleza y relación estratigráfica con los materiales volcánicos de arco (Campa y Ramírez, 1978, Campa y Coney 1993; Sedlock et al., 1999; García et al., 2004; Campa 2007, en García et al., 2009).

Los autores que describieron inicialmente a las rocas de la PMG (Fries, 1960, De Cserna et al., 1980, 1980, De Cserna y Fries, 1981), definieron, con base en aspectos estratigráficos, que pertenecen a la cubierta de un basamento Precámbrico-Paleozoico del Complejo Metamórfico Acatlán (Abad 1976, Araujo 1980, Guzmán 1950 Hernández 1976, Quezada 1971 y 1972).

Estudios de proveniencia de circones, permitieron asociar la evolución del dominio de la plataforma Morelos-Guerrero a la evolución del terreno Mixteco (Campa et al., 1983, 1984; Levresse et al., 2006; Talavera M. et al., 2007, in García D. J. L. et al., 2009)

Campa y colegas (1998) identifican que la cabalgadura de Papalutla, al suroeste de la localidad del mismo nombre, entre Zicapa y San Juan de las Ollas, desaparece y conforma el flanco normal del Anticlinal Tres Vestidos, convirtiéndose en la raíz de la cabalgadura y colocando de manera discordante al Complejo Metamórfico de Acatlán debajo de la Formación Zicapa. Esta relación estratigráfica, que implica que la PMG tiene como basamento al Complejo Acatlán, se observa dentro de la carta Temalac, en varias localidades a lo largo del río Papalutla, al occidente y norte de Chila de las Juntas, así como al sur de Pilcaya en el Anticlinal La Ciénega.

Lo anterior apoya la idea de que los arcos magmáticos de Taxco y El Cascalote culminaron su actividad posiblemente en el Albiano y el conjunto del terreno Guerrero se acrecionó al bloque del terreno Mixteca-Oaxaca durante el Cretácico inferior temprano, seguido inmediatamente después de una fase distensiva que dio lugar al depósito de capas rojas en cambio de facies hacia cuenca carbonatada. Sin embargo, esta hipótesis se contrapone a los datos de edades de los registros de la Orogenia Laramide que sitúa la acreción en el Cretácico superior – Paleoceno. Esta discrepancia está aún en discusión.

Recientemente, se reportó una edad de 125 ± 2 Ma de roca total, por el método $40\text{Ar}/39\text{Ar}$, en lavas intercaladas en los conglomerados de la Formación Zicapa, que afloran en el arroyo Mezquitlán, al oeste de Papalutla (Fitz-Díaz y Campa-Uranga 2002).

Esta hipótesis no cuenta aún con datos suficientes para sostenerse, pero podría ser investigada para dilucidar la historia. Lo que podría significar que la relación genética de los arcos magmáticos afines al terreno Guerrero están asociados a la plataforma Morelos-Guerrero.

La propuesta más aceptada es la que señala que la acreción del terreno Guerrero al bloque Mixteca-Oaxaca se llevó a cabo en el Cretácico superior. Ese evento mayor de acortamiento progresivo con sentido de transporte al oriente y relacionado con la Orogenia Laramide, ocurrió aproximadamente en el intervalo entre 88 y 67 Ma., período de tiempo marcado por el final e inicio de dos episodios termo-magmáticos de escala regional (Cerca 2004).

Esta historia de la deformación y el magmatismo registrado en la Plataforma Morelos Guerrero se dio posiblemente en el Cretácico Superior y Cenozoico

Inferior. Es probable que durante este periodo de tiempo, el despegue de la caliza de la Formación Morelos haya dado lugar a una napa tectónica que cubrió una parte de la PMG.

El despegue de esta *napa* pudo haber sido disparado por la presencia de evaporitas en la parte oeste de la Plataforma. La secuencia evaporítica ha sido reconocida en el pozo Zoquiapan 1 de PEMEX, a una profundidad de alrededor de 2000 m sobre un basamento metamórfico que podría corresponder al Complejo Metamórfico Acatlán (Vélez 1990). Alternativamente, una vez generado el cabalgamiento, la presencia de lutitas con una alta presión de poro pudo haber ayudado al despegue de la caliza (Cerca, 2004).

La cabalgadura de Papalutla, ubicada al sur de la zona estudiada, es la estructura más espectacular e importante de la región. De Cserna (1980) especula sobre la posibilidad de que esta estructura se desarrolló durante el Cenozoico, aunque debido a que el régimen predominante en la zona durante ese período es extensional, la propuesta resulta difícil de sostener. Sin embargo, la posibilidad de un evento de deformación compresiva en el Cenozoico fue reportado también por otros autores (Salinas-Prieto, 1982; Campa 1988) en zonas cercanas a la región estudiada

Una manifestación de la deformación laramídica en las calizas, tanto de la PMG como en las de los depósitos asociados a los arcos magmáticos, es la presencia de pliegues y cabalgaduras con ejes orientados sensiblemente N-S y planos de cabalgaduras con inclinaciones menores a 20° y vergencia hacia el oriente en las regiones desde Arcelia hasta Tixtla Gro., al occidente de la región estudiada. Sin embargo, también se han documentado pliegues y cabalgaduras con la misma orientación de sus ejes pero con vergencia hacia el occidente, particularmente en la región de Chilapa – Zitlala (Salinas-Prieto, 1986) (*Figura III.4.2*)

Es probable que la doble vergencia sea el resultado de un retrocabalgamiento formado en la fase tardía de la orogenia Laramide (Salinas-Prieto, 1994, Salinas-Prieto et al., 2000 y Cerca, 2004)

Desde el punto de vista estratigráfico y sedimentológico, se ha documentado que los potentes depósitos de ambiente marino de la Formación Mexcala y sus cambios de facies pertenecen al desarrollo de una cuenca de antepaís cerrada hacia el poniente y una alta tasa de subsidencia (Hernández-Romano et al. 1997). Hacia el final del Cretácico e inicios del Cenozoico, el ambiente de depósito cambió de marino a continental de forma abrupta en el poniente y de forma gradual hacia la parte oriental de la PMG. Algunos autores, con evidencias paleontológicas, señalan que la edad de la Formación Mexcala es variable en función de su ubicación geográfica y se hace más joven de noreste a suroeste (Salinas, 1986) y la edad más antigua en el extremo noreste de la PMG es Maastrichtiano (Perrillat et al., 2000).

A final del Maastrichtiano se presentan las primeras manifestaciones de un evento magmático durante el cual se emplazaron cuerpos intrusivos (Meza-

Figuroa *et al.*, 2003, Gonzalez-Partida *et al.*, 2003) que se emplazan en las zonas de debilidad, particularmente cortando o siguiendo planos de fallas inversas en la zona cercana a las poblaciones de Mexcala y Tetelcingo Gro., (Ortega-Gutierrez 1980, Salinas-Prieto, *com. pers.*). En la porción sur de carta Temalac, al sur y sureste del poblado Papalutla, existen cuerpos intrusivos de composición granítica que tienen una geometría alargada y alineada con una de las cabalgaduras cartografiadas en el Complejo Acatlán y reportadas más al sureste (Ramírez-Espinoza, 2001)

Existen evidencias de otro episodio de magmatismo de edad Eoceno-Oligoceno que está representado por intrusivos, lavas, y piroclastos de composición predominantemente riolítica, aunque también se han reportado de composición andesítica (Rivera-Carranza *et al.*, 1998, Morán-Zenteno *et al.*, 1999, Martiny *et al.*, 2000).

Estas unidades afloran en la porción norte de la carta y es más extensa su presencia al norte, y occidente de la misma.

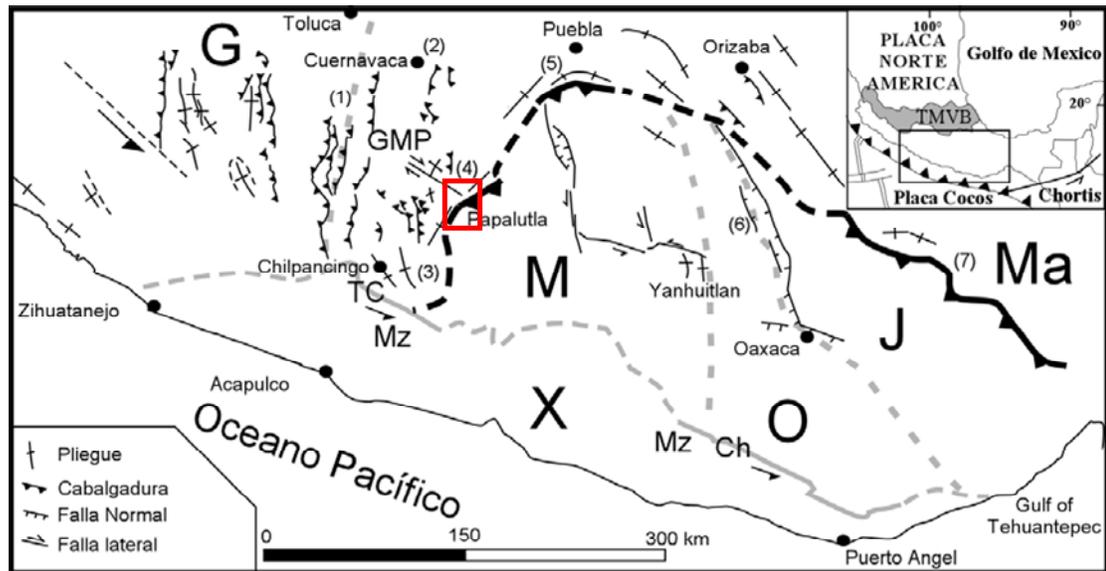


Figura 3.4.2. Límites de los Terrenos tectonoestratigráficos del sur de México (líneas grises discontinuas) y estructuras mayores (modificado de Campa y Coney 1983; Sedlock *et al.* 1993). FVTM, Faja Volcánica Trans-Mexicana. Terrenos: G, Guerrero; M, Mixteco; O, Oaxaca; J, Juárez; Ma, Maya; y X, Xolapa. PGM, Plataforma Guerrero Morelos. Estructuras: (1) Sistema de cabalgaduras Teloloapan-Ixtapan de la Sal; (2) Sistema de cabalgaduras Zitlala-Cuernavaca; (3) pliegues iaramídicos que muestran evidencias de rotación y re-plegamiento; (4) Cabalgadura de Papalutla; (5) Pliegues en forma de semi-círculo en la Sierra del Tentzo; (6) Falla Oaxaca; y (7) Cabalgadura de Vista Hermosa. Tomado de Cerca, 2004.

El episodio corresponde en tiempo con la expulsión de rocas de composición similar en la Sierra Madre Occidental, por lo que se ha considerado la continuación de ese arco en el sur del país (Ferrari *et al.*, 1999 y 2000)

Cerca (2004) señala que al sur de la PMG la caliza forma potentes espesores de conglomerado en contacto con rocas del Complejo Xolapa, lo que se

interpreta como evidencia de la exhumación de ese complejo metamórfico asociado al desplazamiento del Bloque Chortis (Morán-Zenteno *et al.*, 1996; Mills, 1998).

El último evento magmático registrado en la zona es el correspondiente con el desarrollo del Eje Volcánico Transmexicano que tiene actividad evidente al norte de la carta Temalac durante el Plio-Cuaternario con la presencia de depósitos de avalanchas, lahares y piroclastos.

Se han realizado trabajos geológicos que, desde diferentes puntos de vista, tratan de entender las relaciones entre volcanismo y deformación durante el Cenozoico en el sur de México (Robinson *et al.* 1989; Ratsbacher *et al.* 1991; Riller *et al.* 1992; Herrmann *et al.* 1999; Shaaf *et al.* 1995; Tolson 1998; Morán-Zenteno *et al.* 1996; Morán –Zenteno *et al.* 1999; Alaniz-Álvarez *et al.* 2002; entre otros). La hipótesis más aceptada en la actualidad y en la que la mayoría de los trabajos concuerda, sugiere que el régimen de deformación lateral-izquierdo que se observa en la mayor parte del sur de México podría estar asociado con el movimiento del Bloque de Chortís desde su supuesta posición original en el sur de la placa Norteamericana hacia su ubicación actual en Centroamérica durante el Cretácico (Mills 1998; Rogers *et al.* 2003).

IV YACIMIENTOS MINERALES

IV.1. METÁLICOS.

En el presente estudio y en los recorridos efectuados en la zona de estudio, se identificó el distrito minero de Jolalpan-Tlaucingo y se localizaron 2 áreas mineralizadas: Ajuchitlán-Santiopan y La Junta.

Antecedentes.

Existe poca información geológica sobre los antecedentes mineros en la región, sin embargo, en 1921, Gómez del Campo describe que la mina de San Juan Tlaucingo es la única mina con historial de explotación y menciona que fue abandonada en 1897; Moreno F. (1960) señala "a la mina El Cristo como la única mina digna de considerarse como tal y constituyó una unidad de trabajo operada por los españoles, habiendo suspendido sus operaciones en 1915 debido a la revolución"; En 1952, con el aumento del precio del manganeso El Cristo fue nuevamente explotado por óxidos de hierro y manganeso, para 1959 el mismo autor señala que en la mina La Aurora, se hicieron algunas obras para explotar el manganeso, encontrándose incidentalmente algunas pequeñas bolsas con cobre y uranio.

Posteriormente y en tiempos mas recientes, el CRM a través de sus diferentes programas y convenios de apoyo a los gobiernos estatales y federal realizó algunos trabajos de exploración por hierro principalmente y de minerales no metálicos (Yeso, Caliza y Bentonita) en 1970, 1973, 1976, 1980 y 1996.

Distrito minero de Jolalpan-Tlaucingo

Ambiente geológico

Las rocas que afloran en el Distrito minero de Jolalpan-Tlaucingo son: Yesos del Aptiano (yesos Huitzucu Kap Y); Caliza de la Fm. Morelos (Kapce Cz); Conglomerado calcáreo y areniscas de la Fm. Balsas; (Teo Cgp-Ar); derrames de la andesita Buenavista To A-BvA intercalados con Tobas riolíticas y riolitas de la Fm Tilzapotla y (To TR-R) finalmente un intrusivo granítico (To Gd) que afecta a los yesos, a la caliza, al conglomerado y a la toba riolítica.

Como se describió anteriormente, en el distrito minero de Jolalpan-Tlaucingo afloran yesos del Aptiano (Kap Y) calizas de la Fm. Morelos (Kapce Cz); conglomerado calcáreo y areniscas de la Fm. Balsas; (Teo Cgp-Ar); tobas riolíticas y riolitas de la Fm Tilzapotla (To TR-R) y derrames de la andesita Buenavista To A-BvA, finalmente se observó un intrusivo granítico (To Gd) que intrusión y afecta a los yesos, a la caliza, al conglomerado y a la toba riolítica.

Mineralización de hierro

Con los recorridos y visita a las minas se pudo determinar que en este distrito se presentan varios hechos que se asocian con las ocurrencias de mineral de hierro y son:

IV. YACIMIENTOS MINERALES

- El intrusivo aflora principalmente en el poblado de Jolalpan, se observa con variaciones en el prospecto Santa María y al oriente de Tlaucingo, los tres contienen mineralización de fierro (hematita) por lo que se considera que es el mismo intrusivo y es el generador de la mineralización. El fierro se presenta de dos maneras:

a) Como un sombrero de fierro en el yeso y la caliza en la zona de Jolalpan; y en el conglomerado y toba riolítica en la zona de Tlaucingo.

b) Se observó una inyección de fierro dentro de un cuerpo tonalítico, considerado como un pequeño apófisis del intrusivo de Jolalpan (prospecto Santa María).

- En las zonas mineralizadas se observa claramente reemplazamiento metasomático de la hematita por la caliza, por yeso y en los boleos calcáreos del conglomerado, finalmente el desarrollo de grandes lentes de jaspe (sílice y hematita) se asocian al mismo fenómeno mineralizador.

- Es igualmente notable es la ausencia de calcosilicatos, propios de yacimientos de skarn sin embargo, su ausencia se podría explicar por la distancia de la mineralización observada con el intrusivo, y los calcosilicatos podrían ubicarse en

IV.2 No metálicos

Con relación a este tipo de yacimientos, en la zona de estudio se localizaron 2 zonas, una con ocurrencias de arcillas Bentoníticas cercanas al poblado de Teotlalco y otra con afloramientos extensos de yeso al occidente de Jolalpan (área de El Llano).

Mina Teotlalco.- Se ubica a 2.5 km al SW del poblado de Teotlalco. Se trata de una secuencia vulcanoclástica en medio lagunar que produjo alteración de las arcillas montmorilloníticas a bentonita *verde claro con echado N 20°W y 15° NE.*

La secuencia es parte de la Fm. Cuayuca del terciario superior TsY, es importante señalar que esta unidad contiene adicionalmente horizontes de yesos que aunque no ocurren dentro de los límites de la región estudiada, se explotan intensivamente al NE del poblado de Axochiapan. Las pruebas de humedad, hinchamiento, absorción de agua, aceite y viscosidad realizados por Bastida J.R. (CRM en 1998), determinaron que no cumple con las normas establecidas por PEMEX para la perforación petrolera, por lo que el uso que se le da actualmente es como aglutinante para alimentación animal. Las reservas determinadas anteriormente son del orden de las 200,000 ton, con un potencial mucho mayor, puesto que no se conocen los límites de los horizontes de bentonita.

En gran parte de los afloramientos situados en los alrededores del poblado de Maravillas se observan explotaciones con las mismas características pero no

IV. YACIMIENTOS MINERALES

fue posible acceder a ellos por negativa del propietario. Las reservas de este material son muy grandes y podría ser una fuente importante de trabajo en la región.

Yeso: En las inmediaciones de Jolalpan, aflora un extenso paquete de yeso que pudiera correlacionarse con la anhidrita Huitzucó y/o ser la base de la Fm Morelos (Kap Y), es en esta zona que se han desarrollado varias canteras que explotan el yeso para diversas cementeras.

En 1996, Correa (CRM), realizó un estudio de evaluación de la zona y determinó que la pureza del yeso sobrepasa todos los estándares para los diversos usos que se le pueden dar en el mercado de la construcción y obtuvo un estimado de 6,000,000 ton.

Actualmente son varios los bancos en explotación:

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

V.1. Conclusiones

Desde el punto de vista estratigráfico podemos señalar que las edades de las rocas que afloran en la carta se mantienen igual que en las referencias bibliográficas. Destaca la posición estratigráfica de las unidades volcánicas del Oligoceno. De manera general, las rocas de composición andesítica de la Formación Buenavista se mantienen subyaciendo a las de composición riolítica de la Formación Tilzapotla, sin embargo se detectó que existe una interdigitación entre ellas, lo que permite observarlas intercaladas en la base de la Formación Tilzapotla.

Existe una determinación palinológica que ubica a la unidad de yeso en el Eoceno en la zona de Jolalpan, sin embargo ninguna relación estratigráfica de campo sustenta esa edad ya que invariablemente se ubica a la base de la Formación Morelos, es posible que se trate de alguna muestra ubicada en otro sitio más al noreste, donde existe una unidad similar de edad Mioceno.

Se detectó la presencia de afloramientos de la Formación Zicapa en la región suroccidental de la carta, los cuales tienen continuidad hacia el occidente.

De acuerdo con las observaciones de campo, con los datos medidos y los diagramas calculados es posible proponer que en la región de estudio existen dos eventos compresivos, el primero afecta a rocas cretácicas y tiene δ_1 orientado NW-SE, dirección que también se manifiesta para la generación de fallas laterales. Posiblemente este evento corresponda a la deformación Laramide documentada por otros autores (cf. apartado de Tectónica de este documento) desarrollado durante el Paleoceno en esta región, en su fase final, cuando se registra la deformación retrógrada asociada a la Cabalgadura de Papalutla, que aflora al oriente y sureste de la carta estudiada.

El segundo evento compresivo tiene una dirección de δ_1 orientada NE-SW y se registra en rocas de la Formación Balsas (Eoceno-Oligoceno). Esta fase de deformación se desarrolló durante el período posterior al depósito de las capas rojas Balsas, pero previo al emplazamiento de las rocas volcánicas de las formaciones Buenavista y Tilzapotla, ya que estas no están plegadas. En algunas porciones se observan pliegues de amplio radio de curvatura e interferencia de pliegues. Mención aparte merece la influencia que ejerce el depósito de yeso a la base de la caliza de la Formación Morelos, ya que esta unidad que se comporta plásticamente también produce plegamiento.

Las fallas laterales se desarrollaron durante el primer evento compresivo, como está documentado más al sur de la zona de estudio y se reactivaron durante el último evento distensivo ya que afecta a rocas de la cubierta volcánica.

V.2 Recomendaciones

La experiencia cartográfica requiere de conocimientos sólidos de diversas áreas dentro de la geología. La Facultad de Ingeniería de la UNAM, aporta un conocimiento teórico muy fuerte de esas áreas, sin embargo, se debe hacer énfasis en que el mejor aprendizaje de los ingenieros geólogos se encuentra en el campo para comprender mejor lo que se enseña en

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

las aulas. Practicar toma de datos estructurales y su interpretación en un mapa. Ubicación espacial de puntos específicos, manejo de software que facilite la captura de datos y su ubicación, pero sobre todo actualizar el aprendizaje enfocado a los nuevos métodos que se desarrollan para la elaboración de la cartografía geológica.

En el campo es muy importante reconocer las características de las rocas y hacer descripciones de la forma más completa posible. También es importante conocer el lugar que se estudia a través de la investigación previa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alam Hernández C, Vélez López J, Hernández Pérez I., 2000., Texto Guía Carta Magnética "Cuernavaca" E14-5 Escala 1:250,000. SGM.

Alba Aldave L.A., Reyes Salas M., Altuzar Coello P.E., Ángeles García B.S., Morán Zenteno D. J., Corona Esquivel R. 1995. Estratigrafía y Geoquímica de las rocas volcánicas terciarias de la región de Taxco-Tilzapotla. Geos, v. 15, p. 101-102 (abstract).

Albinson T., 1989. Vetas Mesotermales auríferas del sector norte del Estado de Sonora. Grupo catorce S.A. de C. V. inédito.

Araujo Mendieta O, 1980. Prospecto Quechultenengo, Gro. IGZS PEMEX. Inédito.

Alvarado Carias C. H., y Rosal Higueros O. R., 1999. Guía del Inversionista Minero. Dirección General de Minería de Guatemala.

Alvarez Salinas E., 1997. Evaluación de los yacimientos de manganeso (lote Mara, El Zapote, El Cordoncillo y La Fabrica) ubicados en el municipio de Huehuetlán el Grande, Estado de Puebla. C.R.M.

Bastida Jimenez R., 1998., Evaluación del yacimiento de Bentonita Área Teotlalco, Mpio. de Teotlalco, Edo. De Puebla. C.R.M.

R Bastida Jimenez R., 1998a., Evaluación del yacimiento de Calizas Xochitepec, Mpio de Jolalpan, Edo. De Puebla. . C.R.M.

Campa M.F, Oviedo A., Tardy M. 1976. La Cabalgadura Laramídica del Dominio Volcánico Sedimentario (Arco Alisitos Teloloapan) sobre el Miogeosinclinal Mexicano en los límites de los Estados de Guerrero y México. Acapulco Gro., III Cong, Lat. Geol. Memorias (en prensa). 1976.

Campa Uranga M. F., Ramírez E. J., Coney P. J. 1981. Conjuntos estratotectónicos de la Sierra Madre del Sur, región comprendida entre los estados de Guerrero, Michoacán, México y Morelos. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, p. 45-67.

Campa Uranga M.F., and Coney P.J. 1983. Tectono - stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico. Canadian Journal of Earth Sciences, 20: 1040–1051.

Campa Uranga M. F., García Díaz J. L., Bustamante García J., Torreblanca Castro T. J., Aguilera Martínez M.A., y Vergara Martínez A. 1998. Carta geológico minera Chilpancingo E14-8, Guerrero, Oaxaca y Puebla, Consejo de Recursos Minerales, scale 1:250,000

Campa-Uranga, M.F., Iriondo A., 2004, Significado de dataciones cretácicas de los arcos volcánicos de Taxco, Taxco el Viejo y Chapolapa, en la evolución de la Plataforma Guerrero Morelos (resumen), en IV Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra: Juriquilla, Querétaro, Sociedad Geológica Mexicana, p. 76.

Campa-Uranga, M.F., Torres-De Leon, R., Iriondo A., y Wayne R.P., 2012. Caracterización geológica de los ensambles metamórficos de Taxco y Taxco El Viejo, Guerrero, México. Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana Vol. 64, Núm 3. p 369-385.

Carrizales Aguilar A., 1996., Informe final de la visita de reconocimiento al lote minero La Santa Cruz ubicado en el ejido Coacalco Mpio. De Xicotlán, Edo. De Puebla. C. R. M.

Cerca M., 2004. Deformación y magmatismo Cretácico Tardío – Terciario Temprano en la zona de la Plataforma Guerrero Morelos. Tesis Doctorado. Posgrado en Ciencias de la Tierra. Centro de Geociencias. Juriquilla UNAM., 175 p

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cerca M., Ferrari L., López Martínez M., Martiny B. 2007. Late Cretaceous shortening and early Tertiary shearing in the Central Sierra Madre del Sur, southern México: Insights into the evolution of the Caribbean-North American plate interaction: *Tectonics*, 26(3), TC3007, 1-34.
- Correa Castañeda P., 1996. Informe de la exploración geológica- minera del prospecto Santa Ana Tamazola, Mpio de Jolalpan, Estado de Puebla. C.R.M.
- Corona Esquivel Rodolfo, Martínez Hernández Enrique, Ramírez Arriaga Elia, Moralez Isunza Azucena, Ángeles Hernández Jorge y Castillejos Echeverría María Ocotlán. 2004. Primer reporte de yesos del Paleógeno en el Área de Jolalpan, Puebla: Implicaciones paleogeográficas.
- De Cserna Z., Fries C. Jr., Rincón O. C., Silver L. T., Westley H., Solorio Munguía J. y Schmitter Villada E. 1974. Datos geocronométricos terciarios de los estados de México, Morelos y Guerrero. *Bol. Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, Vol. XXVI nos. 4-6, pp. 263-273.
- De Cserna Z., Fries C. Jr. 1981. Resumen de la geología de la Hoja Taxco, estados de Guerrero y Morelos, Hoja Taxco 14Q-h (7), Esc. 1:100 000: México, D. F., Instituto de Geología, UNAM, texto y carta.
- Dickinson, W. R., Klute, M. A., Hayes, M. J., Janecke, S. U., Lundin, E. R., McKittrick, M. A., y Olivares, M. D. 1988. Paleogeographic and paleotectonic setting of Laramide sedimentary basins in the central Rocky Mountain region. *Geological Society of America Bulletin*, 100, 1023 – 1039
- Eguiluz de Antuñano S., Amezcua-Torres N., y Aquino A., 2004. Oro en el Gneiss Novillo, Tamaulipas, México. En *Depósitos Minerales en México: Nuevas Perspectivas y avances en su estudio*. GEOS, Vol. 24, No. 2.
- Ferrari, L., López-Martínez, M., Aguirre-Díaz, G., and Carrasco-Núñez, G. 1999. Space-time patterns of Cenozoic arc volcanism in central Mexico – from the Sierra Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt. *Geology* 27 (4), 303-306.
- Ferrari, L., Pasquaré, G., Venegas, S., Romero, F., 2000, Geology of the western Mexican Volcanic Belt and adjacent Sierra Madre Occidental and Jalisco block, en Delgado-Granados, H., Aguirre-Díaz, G., Stock, J. (eds.), *Cenozoic tectonics and volcanism of Mexico*: Boulder, CO, Geological Society of America, Special Paper 334, p 65-84.
- Fitz-Díaz E.. 2001. Evolución Estructural del Sinclinorio de Zacango en el límite oriental de la Plataforma Guerrero Morelos –Tesis de Licenciatura IPN, inédita.
- Fitz Díaz E., Campa M. F., López Martínez M. 2002. Fechamiento de lavas andesíticas de la Formación Zicapa en el límite oriental de la Plataforma Guerrero-Morelos (resumen), en 3ª Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, Puerto Vallarta, Jalisco, México: México, DF., Unión Geofísica Mexicana, GEOS, 22(2), p. 178.
- Fries C. Jr. 1960. Geología del estado de Morelos y partes adyacentes de México y Guerrero, Región Central Meridional de México, UNAM, Bol. No. 60, 180 p.
- Fries C. Jr. 1966. Hoja Cuernavaca 14Q-h(8), con resumen de la geología de la hoja Cuernavaca, estados de Morelos, México, Guerrero y Puebla: UNAM, Instituto de geología, carta geológica de México, serie de 1:100,000, Map with explanatory text on the reverse.
- Goldfarb R.J., Grovesb, D.I., Gardollb S. 2001. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. *Ore Geology Reviews*. 18 Ž2001. 1–75.
- González-Partida, E., Levresse, G., Carrillo-Chavez, A., Cheilletz, A., Gasquet, D., Jones, D. 2003. Paleocene adakite Au- Fe bearing rocks, Mezcala, Mexico: evidence from geochemical characteristics. *Journal of Geochemical Exploration* 4105, 1-16.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., and Robert, F., 1998, Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types: *Ore Geology Reviews*, v. 13, p. 7–27.
- Groves D. I.,†, Kent C., Goldfarb R. J., Hronsky J. M. A., and Vielreicher R. M., 2005. Secular Changes in Global Tectonic Processes and Their Influence on the Temporal Distribution of Gold-Bearing Mineral Deposits. 100th Anniversary Special Paper. Society of Economic Geologists, Inc. *Economic Geology*, v. 100, pp. 203–224.
- Guerrero Suastegui M., Ramírez E. J. y Talavera M. O. 1990. Estudio estratigráfico del arco Volcánico Cretácico inferior de Teloloapan Guerrero, Sociedad Geológica Mexicana, Conv. Geol. Nal., X, México, D.F., Resúmenes, p 67.
- Guerrero Suastegui M., Ramírez E. J., Talavera M. O. y Campa U. M. F. 1991. El desarrollo carbonatado del Cretácico inferior asociado al arco de Teloloapan, Noroccidente del Estado de Guerrero, UNAM., Inst. Geol., Universidad. Autónoma de Hidalgo., Inst. Invest. C.T., Soc. Mex. Mineral. y SEP, Convención sobre la Evolución Geológica de México y Congreso Mexicano de Mineralogía, Pachuca, Hgo., México., Mem., p 67-70
- Guerrero Suastegui M. 2004. Depositional and tectonic history of the Guerrero Terrane, Sierra Madre de Sur; with emphasis on sedimentary successions of the Teloloapan area, Southwestern Mexico: Newfoundland, Canada, Memorial University of Newfoundland, Ph. D. thesis, 332 p.
- Guerrero Suastegui M., Ramírez Espinosa Joel. Plataformas carbonatadas en ambientes de arcos volcánicos del Cretácico inferior en el Terreno Guerrero, Sur de México. Escuela Regional de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Guerrero.
- Guzmán J. Eduardo, 1950. Geología del Noreste de Guerrero. Boletín Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros V.2, No. 2 p 95-136.
- Hernández Rosalío.,1976. Prospecto Zitlala. IGZS-709. PEMEX. Inédito.
- Hernández Romano U. 1999. Facies Stratigraphy and diagenesis of the Cenomanian - Turonian of the Guerrero - Morelos Platform, southern Mexico: Reading, Postgraduate Research Institute for Sedimentology. University of Reading, UK, PhD thesis. 322 pp
- Jiménez Hernández Acel, 2011. Mineralización de oro en el Complejo Oaxaqueño, sur de México. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias, mención Geología. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología.
- Jörding A., Ferrari L., Arzate J. and Jödicke H., 2000. Crustal variations and terranes boundaries u southern México as inaged by magnetotelluric transfer functions. *Tectonophysics* 327,1.
- Kitney Kathryn E., Olivo Gema R., Davis Donald W., Desrochers Jean-Philippe, and Tessier André., 2011. The Barry Gold Deposit, Abitibi Subprovince, Canada: A Greenstone Belt-Hosted Gold Deposit Coeval with Late Archean Deformation and Magmatism. Society of Economic Geologists, Inc. *Economic Geology*, v. 106, pp. 1129–1154.
- Levresse, G., González-Partida, E., Carrillo-Chávez, A., Tritlla, J., Camprubí, A., Cheilletz, A., Gasquet, D., Deloule, E., 2004, Petrology, U/Pb dating and (CO) stable isotope constraints on the source and evolution of the adakite-related Mezcala Fe-Au skarn district, Guerrero, Mexico: *Mineralium Deposita*, v. 39, p. 301-312
- Léxico estratigráfico de México. (2009). Servicio Geológico Mexicano.
- Maksaev V, 2010, Curso de Metalogenia, SGM.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Martínez H, E, Ramírez A, E., 2004. Palinoestratigrafía de cuencas continentales con énfasis en el Grupo Balsas. Libro de resúmenes, Simposio Dr. Zoltan de Scerna, Instituto de Geología, UNAM.
- Martiny, B., Martínez-Serrano, R., Morán-Zenteno, D.J., Macías-Romo, C., y Ayuso, R. 2000. Stratigraphy, geochemistry and tectonic significance of the Oligocene magmatic rocks in western Oaxaca, southern Mexico. *Tectonophysics*, 318, 71-98.
- Meza-Figueroa, D., Valencia-Moreno, M., Valencia, V. A., Ochoa-Landín, L., Pérez-Segura, E., Díaz-Salgado, C., 2003, Major and trace element geochemistry and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of Laramide plutonic rocks associated with goldbearing Fe skarn deposits in Guerrero state, southern Mexico: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 16, p. 205-217.
- Monter Ramírez A., Morán Zenteno D.J., Alba Aldave L.A., Centeno García E. 2004. Revisión de la estratigrafía del grupo Balsas en el área de Amacuzac, estados de Morelos y Guerrero (resumen), en IV Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra: Juriquilla, Qro., México, México., UGM, SMM, SGM, SELPER, SMC, SGM e INAGEO, GEOS, 24(2), 223.
- María del Carmen Calderón Velázquez 2008. Monografía Geológico-Minera del Estado de Puebla.
- Montiel Escobar J. E., 2013. Evolución Estructural e Implicaciones Metalogenéticas de la zona de Cizalla El Muleto, Sureste de México. UMSNH, tesis de Maestría, en prensa.
- Morán-Zenteno, D.J., Corona-Chávez, P., y Tolson, G., 1996, Uplift and subduction erosion in southwestern Mexico since the Oligocene: pluton geobarometry constraints: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 141, p. 51-65.
- Morán Zenteno D. J., Alba A. L. A., Martínez S. R. G., Reyes S. M. A., Corona E. R., Ángeles G. S. 1997. Stratigraphy, geochemistry and tectonic significance of the Tertiary volcanic sequences of the Taxco-Tilzapotla region, southern Mexico. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, p. 23.
- Morán Zenteno D. J., Alba A. L. A., Martínez S. R. G., Reyes S. M. A., Corona E. R. and Ángeles G. S. 1998. Stratigraphy, geochemistry and tectonic significance of the Tertiary volcanic sequences of the Taxco-Quetzalapa region, southern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, volumen 15, número 2, p. 167-180.
- Morán-Zenteno D. J., Tolson G., Martínez Serrano R. G., Martiny B., Schaaf P., Silva Romo G., Macías Romo C., Alba Aldave L. A., Hernández Bernal M. S., Solís Pichardo G. N. 1999. Tertiary arc-magmatism of the Sierra Madre del Sur, Mexico, and its transition to the volcanic activity of the Trans-Mexican volcanic belt. *J. South Am. Earth Sciences*. 12, 513– 535.
- Morán Zenteno D. J., Alba Aldave L. A., Solé J., Iriondo A. 2004. A major resurgent caldera in southern Mexico: the source of the late Eocene Tilzapotla ignimbrite: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 136, 97-119.
- Morán-Zenteno D.J., Cerca M., Keppie J.D. La evolución tectónica y magmática cenozoica del suroeste de México: avances y problemas de interpretación. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Volumen Conmemorativo del Centenario. Temas Selectos de la Geología Mexicana, Tomo lvii, núm. 3, 2005, P. 319-341
- Morán Zenteno D. J., Monter R. A., Centeno G. E., Alba A. L. A., and Sole J. 2007. Stratigraphy of the Balsas Group in the Amacuzac area, southern Mexico: relationship with Eocene volcanism and deformation of the Tilzapotla-Taxto sector. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, volumen 24, número 1, p. 68-80.
- Moreno F. J. , 1960., Estudio geológico y radiométrico del mineral de Tlaucingo, Mpio de Teotlalco, Edo. De Puebla. Comisión Nacional de Energía Nuclear.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Nieto Samaniego A. F., Silva R. G., Eguiza C. M. H., Mendoza R. 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. *GSA bulletin*, v. 118, p. 1868-1882.
- Ortega-Gutiérrez F. 1980. Rocas volcánicas del Maestrichtiano en el área de San Juan Tetelcingo, Estado de Guerrero, Sociedad Geológica Mexicana. Libro Guía de la excursión geológica a la parte central de la cuenca del alto Río Balsas. V Convención Geológica Nacional, 34-38.
- Oyarzun, R., Castiñeiras P., López I., Blanco I. y Herrera R., 2004. The Challenge (Goldcorp Inc.): prospección aurífera vía Internet. Aplicación del modelo de zona de cizalla aurífera a la mina Red Lake, (Ontario, Canadá). *Boletín Geológico y Minero*, 115 (4): 699-710. ISSN: 0366-0176
- Pérez Segura E., Cheilletz A., Herrera Urbina S., y Hanes Y.J., 1996. Geología, mineralización, alteración hidrotermal y edad del yacimiento de oro de San Francisco, Sonora. Un depósito mesotermal en el noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. V 13, núm. 1. UNAM. p65-89.
- Perrilliat, M.C., Vega, F., Corona, R., 2000, Early Maastrichtian mollusca from the Mexcala Formation of the State of Guerrero, southern Mexico: *Journal of Paleontology*, v. 74 (1), p. 7-24
- Quezada J. M. 1971. Estudio Geológico del Prospecto Huamuxtitlán Gro. PEMEX. Inédito
- Quezada J. M. 1972. Prospecto Apango IGZS-566. PEMEX. Inédito
- Quintanar Ruiz F. J., 2008. La Herradura ore deposit: an orogenic gold deposit in northwestern Mexico. Thesis Submitted to the Faculty of the Department of Geosciences. Master of Science. University of Arizona.
- Rivera Carranza E., De la Teja S. M. A., Miranda H. A., Lemus Bustos O., Motolína García O., León A. V. y Moctezuma S. M. D. 1998. Carta Geológico-Minera Cuernavaca, clave E14-5, Esc. 1:250,000. Consejo de Recursos Minerales.
- Sabanero S. M. H., Salinas P. J. C., Talavera M. O., Campa U. M. F., Sanchez R. L. E. 1996. Informe final de la carta geológico-minera y geoquímica de Chiautla E14-B72, Estado de Puebla, escala 1:50,000, Convenio Consejo de Recursos Minerales – Escuela Regional de Ciencias de la Tierra. 105 pp.
- Salinas-Prieto, J. C. 1994. Etude structurale du sud-ouest mexicain (Guerrero): Analyse microtectonique des deformations ductiles du Tertiaire Inférieur. Thèse doctorale inédite. Université d'Orléans, Orléans Géosciences Mémoire 16, 226 p.
- Salinas Prieto J. C., y Flores de Dios G. L. A. 1981. Pliegues de Estilo Laramídico en Capas Rojas Terciarias (?) de la Región de la Montaña de Guerrero. Serie Técnico-Científica. Vol 11. Universidad Autónoma de Guerrero.
- Salinas Rodríguez J. M., García González J. F., 2009. Informe Geológico Minero y Geoquímico. Carta Tilzapotla E14-A79 Esc: 1: 50,000. Estados de Guerrero, Morelos y Puebla. Servicio Geológico Mexicano.
- Sánchez R. D, 1980. Estudio geológico-geofísico por hierro de la región de Jolalpan-Tlaucingo Mpios. de Jolalpan y Teotlalco, Edo. De Puebla. C.R.M.
- Sedlock L. R, Ortega Gutiérrez F., Speed C. R., 1993. Tectonostratigraphic Terranes and Tectonic Evolution of Mexico. *Geological Society of America, Special Paper* 278 pp. 153
- Talavera-Mendoza, O., 1993, Les formations orogéniques mésozoïques du Guerrero (Mexique meridional). Contribution a la connaissance de l'évolution géoginamique des cordillères mexicaines [Ph.D Thesis] Univ. Joseph Fourier, Grenoble, France, 462 pp.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Talavera-Mendoza O., and Guerrero–Suástegui M. 2000. Geochemistry and isotopic composition of the Guerrero Terrane (western Mexico): implications for the tectono-magmatic evolution of southwestern North America during the Late Mesozoic. *Journal of South American Earth Sciences* 13 (4-5), 297-324

Talavera-Mendoza, O., Ruiz, J., Gehrels, G.E., Valencia, V.A., y Centeno-García, E., 2007, Detrital circón U/Pb geochronology of southern Guerrero and western Mixteca arc successions (southern Mexico): New insights for the tectonic evolution of the southwestern North America during the late Mesozoic: *GSA Bulletin*, v. 119, p. 1052-1065.

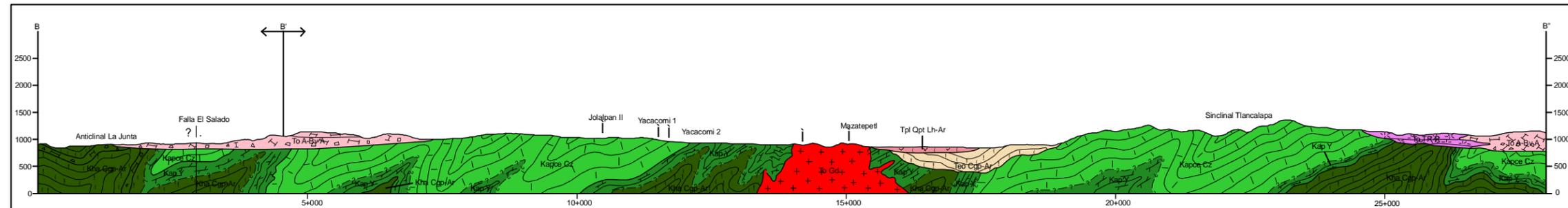
Ugalde V. H. 1970., Evaluación geológico minera de la zona de Tlaucingo, Edo. De Puebla. C.R.M.

Ugalde V. H., 1973. Observaciones geológico-económicos por plomo, arcillas, calizas, mármol, onix y cobre en los municipios de Matamoros, Tepeyahualco, Cohetzala, Jolalpan, S.M. Atexcal y vecindad de la Ciudad de Puebla, Pue. Consejo de Recursos Minerales no Renovables.

Vélez. S. D. 1990. La cuenca Guerrero: un ejemplo de deformación por transcurrencia en el sur de México. *Asociación Ingenieros Petroleros de México, A. C. Ingeniería Petrolera* 30 (1), 25-35

Croquis Geológico-Estructurales

Sección B-B'



Sección A-A'

