



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Análisis Estratigráfico de las Secuencias Jurásicas de la Región Tecocoyunca-Tecomatlán en Puebla.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTAN:

ROSALINDA MARÍA HERNÁNDEZ VULPES

MARLENE RODRÍGUEZ CALDERÓN

**CONACYT 10773 “Reconstrucción Paleoclimática y Distribución de
Gimnospermas en el Jurásico de Oaxaca”**

**PAPIIT iN106010 “Distribución de Gimnospermas en el Jurásico de la
Región Norte del Terreno Mixteco y Reconstrucción Paleoecológica”.**

Director:

Ing. José Luis Arcos Hernández



Ciudad Universitaria

2012.

AGRADECIMIENTOS

Marlene Rodríguez Calderón.

“Al ampliar la capacidad de aprender, se amplía la capacidad de acción y por ende se amplía la capacidad de triunfar”.

Engelberth Freites.

Gracias a *Dios* por todo lo que tengo y lo que no, porque ha sido mi fortaleza y nunca me ha abandonado.

A mis padres a quienes amo profundamente, por su apoyo y amor incondicional, por todo su esfuerzo y dedicación. A mi madre *Etelvina Calderón Campos* que con su amor, bondad, fortaleza, paciencia y consejos, me ha enseñado lo más importante en la vida. A mi padre *Roberto Rodríguez Castillo* a quien admiro grandemente, quien me ha dado fuerza para levantarme, para seguir, por sus consejos que me han servido en cada momento de mi vida. A mi hermano *Roberto* que me ha enseñado lecciones de vida importantes y quien ha sido clave fundamental en mi formación, te amo hermano.

A mi familia *Rodríguez Castillo y Calderón Campos* que han sido parte esencial en mi desarrollo como persona. Especialmente a mi *tía Lourdes, tía Claudia*, a mis primas *Samantha y Jocelyn* por su amistad, cariño y apoyo total en la etapa más difícil de mi vida.

A *Luis Felipe Mitre del Moral* a quien quiero, admiro y respeto, por su cariño, tiempo, consejos y todo el apoyo incondicional que me ha brindado. Dios te bendiga.

A mis amigas *Mariana Rivas, Diana Contreras, Jessica Rodríguez, Sra. Imelda Tapia, Jasendy de la Vega, Ariadna Morales, Orquídea Barrera, Martha Sánchez, Nancy Morales y Claudia Chávez*. Quienes estuvieron para aconsejar, platicar, reír, llorar y disfrutar. Muchas gracias porque son fundamentales en mi vida. Las quiero.

A la *UNAM* por ser mi alma máter, a la *Facultad de Ingeniería*, a todos los profesores que me apoyaron y orientaron en el transcurso de mi carrera especialmente a: *Ing. Guadalupe Alvarado, Mtro. Emiliano Campos y Dr. Gilberto Silva*, por sus conocimientos, su tiempo; por escucharme, entenderme y aconsejarme.

A los ingenieros: *Javier Arellano, José Luis Arcos, Dra. Patricia Velasco y Noé Santillán* por la oportunidad y confianza para la elaboración de esta tesis, gracias por su orientación, tiempo, apoyo y paciencia. A mi compañera y amiga *Rosalinda Hernández*, por su apoyo, entrega y cariño en los momentos importantes.

A cada una de las personas que me enseñó algo, gracias por los regaños, las palabras de aliento, y todas las muestras de cariño.

Gracias.

AGRADECIMIENTOS

Rosalinda María Hernández Vulpes.

La presente Tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia y dando ánimo, por ello:

Agradezco a mis Padres, *Gerardo Hernández y Rosalinda Vulpes*, por su amor, orientación, apoyo incondicional y esfuerzos, en cada paso de mi vida, a realizar mis metas y felicidad, sólo espero que comprendan que mis ideales, esfuerzos y logros han sido también suyos e inspirados en ustedes.

A mis hermanos, a *Dudu, Dodo, Chely y Gerald* por creer en mí, su aliento, cariño, consejos, sus alegrías, sonrisas e inocencia, los mejores amigos de niñez y mi presente, porque ustedes me animan para seguir luchando por mis sueños.

A mi *Alita* por que me ha iluminado, guiado y protegido, en cada paso que he dado y continua siempre a mi lado.

A mi peque *Sofy* por brindarme una sonrisa en el mejor momento. A *Dorita* por cuidarme, su compañía y cariño. Mi *Tía Iris* por su acercamiento y consejos.

A mis amigos *Dianita, Isel, Nan, Claus, Marlene, Ángel (Di marichi), Raúl, Luis J., Mexica, Lion, Beto (El Pelón), Felix, Rychi, Lukas, San Peter, Mike, Eleazar, Marquitos, Yorch, Chuchin, Ussiel, Cesar y Sandra* por su amistad y cariño, porque formaron parte de esta aventura y quienes dieron un toque especial a esta travesía como estudiante y persona, siempre estarán en mis recuerdos y saben que cuentan con una amiga de mi parte.

A la banda, *geólogos, geofísicos, mineros y petroleros* por su compañerismo y experiencias.

Le agradezco a las siguientes personas por haber participado en la realización de esta Tesis:

A *Patricia Velasco* por permitirme la oportunidad de realizar mi tesis con su equipo de trabajo, su orientación y conocimientos.

A *Javier Arellano y José Luis Arcos* por la oportunidad, su paciencia, el tiempo y conocimiento para guiarme y dirigirme en la elaboración de esta tesis.

A los anteriormente mencionados y alumnos involucrados en el proyecto, porque cada salida a campo fue de conocimiento y diversión con cada ocurrencia e imaginación.

A mis sinodales: *Emiliano Campo y Noé Santillán* por su tiempo, apoyo y orientación.

A *Marcos Tress Bello* por su colaboración, paciencia, amistad y tiempo valioso que me dedico en la elaboración del Mapa Geológico.

Índice	Págs.
Resumen.	i
Abstract.	iv
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.	
1.1 Objetivos.	1
1.2 Método del Trabajo.	2
1.2.1 Investigación Bibliográfica.	2
1.2.2 Material Cartográfico.	2
1.2.3 Trabajo de Campo.	2
1.2.4 Trabajo de Gabinete.	3
1.3 Antecedentes.	4
1.4 Características Generales de la localidad de Tecamatlán, Puebla.	6
1.4.1 Ubicación.	6
1.4.2 Vías de Comunicación.	8
1.4.3 Fisiografía.	9
1.4.3.1 Orografía.	9
1.4.3.2 Hidrografía.	12
1.4.4 Clima y Vegetación.	14
1.4.4.1 Clima.	14
1.4.4.2 Vegetación.	14
1.4.5 Economía y Recursos Naturales.	15
1.4.6 Características y Uso de Suelo.	15
CAPÍTULO 2. ESTRATIGRAFÍA REGIONAL Y ESTRATIGRAFÍA LOCAL.	
2.1 Estratigrafía Regional.	16
2.1.1 Paleozoico.	16
2.1.1.1 Complejo Acatlán.	19
2.1.1.2 Formación Cuxtepeque.	24
2.1.2 Mesozoico.	28
2.1.2.1 Jurásico Inferior.	28
2.1.2.1.1 Conglomerado Peña Colorada.	28
2.1.2.1.1.1 Conglomerado Cualac.	29
2.1.2.1.1.2 Conglomerado Peña Colorada.	31

2.1.2.2 Jurásico Medio.	34
2.1.2.2.2 Formación Tecomazuchil.	34
2.1.2.3 Jurásico Superior.	45
2.1.2.3.1 Formación Chimeco.	45
2.1.2.3.2 Formación Mapache.	47
2.1.2.4 Cretácico.	49
2.1.2.4.1 Formación Teposcolula.	50
2.1.3 Cenozoico.	52
2.1.3.1 Conglomerado Tecomatlán.	52
2.1.3.2 Formación Huajuapán.	54
2.1.3.3 Rocas Volcánicas.	59
2.1.3.3.1 Unidad Ahuehuetitlán.	60
2.1.3.3.2 Andesita Basáltica Chila.	61
2.1.3.3.3 Brecha Volcánica.	61
2.1.4 Neógeno.	62
2.1.4.1 Depósitos Recientes.	62
2.2 Estratigrafía Local.	63
2.2.1 Columna Estratigráfica.	63
2.2.1.1 Columna Estratigráfica del Conglomerado Peña Colorada.	63
2.2.1.2 Columna Estratigráfica de la Formación Tecomazuchil.	71
2.2.1.3 Columna Estratigráfica de la Formación Huajuapán.	87
2.2.2 Contenido Paleontológico.	95
2.2.3 Litofacies.	101
2.2.4 Biofacies.	108
2.2.5 Ambiente Sedimentario.	109
2.2.5.1 Conglomerado Peña Colorada.	110
2.2.5.2 Formación Tecomazuchil.	112
 CAPÍTULO 3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.	
3.1 Descripción de las Estructuras.	115
3.2 Análisis Cinemático.	127
 CAPÍTULO 4. PALEOGEOGRAFÍA Y EVOLUCIÓN GEOLÓGICA.	
4.1 Evolución Tectónica del Sur de México.	130
4.1.1 Paleozoico.	130
4.1.2 Mesozoico.	131

4.1.2.1 Triásico-Jurásico.	131
4.1.2.2 Cretácico.	134
4.1.3 Cenozoico.	135
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	
5.1 Conclusiones.	137
5.2 Recomendaciones.	140
BIBLIOGRAFÍA.	141

La zona de estudio se ubica en las inmediaciones de Tecamatlán, Puebla, en el suroeste del Estado de Puebla, donde aflora un basamento metamórfico (Complejo Acatlán), cubierto de manera discordante por rocas sedimentarias marinas Paleozoicas de la Formación Cuxtepeque y las secuencias Jurásicas continentales, representadas por el Conglomerado Peña Colorada y la Formación Tecamazuchil. La cima de la columna corresponde a rocas Cenozoicas de la Formación Huajuapán.

El Conglomerado Peña Colorada está constituido en la parte basal por fragmentos de cuarzos y esquistos provenientes del Complejo Acatlán, que se depositaron en un abanico aluvial en su parte proximal; la parte superior se compone de clastos de cuarzo, esquistos, gneiss y fragmentos líticos retrabajados con matriz arcillosa. La secuencia fue depositada por flujos de escombros provenientes de zonas de altas pendientes y con saturación de agua. Se midió una columna estratigráfica con un espesor total de 56.90 [m]; los estratos presentan orientaciones preferenciales al NE con inclinaciones al SE, además se encuentran afectados por fallamiento normal y lateral. Su contacto inferior es discordante con el Complejo Acatlán, mientras que su contacto superior se infiere concordante y transicional con la Formación Tecamazuchil. El registro fósil en esta formación son las Bennettitales pertenecientes a los géneros *Zamites*, *Otozamites*, además de *Mexiglosa varia*, Helechos y Coníferas de tipo *Elatocladus*. Se infiere para esta unidad una edad del Jurásico Inferior y Medio.

La Formación Tecamazuchil consiste de una secuencia de conglomerados, areniscas, limolitas y lutitas de origen continental. La parte basal de esta unidad corresponde a un conglomerado polimíctico con matriz arenosa intercalada con capas gruesas de conglomerado con clastos de cuarzo blanco y esquisto. La parte media está constituida por una secuencia terrígena arrítmica de colores beige a gris claro de capas de areniscas y areniscas conglomeráticas, con cuerpos lenticulares de conglomerados arenoso, estructuras de flute cast y bioturbación. La cima consiste en una intercalación de arenisca fina con conglomerado grueso a medio, con horizontes de lutita carbonosa y carbón, seguido por una alternancia de limolitas verdes y rojas con arenisca conglomerática, con algunas costras de hierro.

Se analizaron un total de 31 muestras de roca, de las cuales a 20 se le realizó lámina delgada; 3 se clasificaron como esquisto de clorita; gneiss feldespático y una roca metasedimentaria del Complejo Acatlán; 2 como pelespatita y mudstone de la Formación Cuxtepeque, 14 de la Formación Tecamazuchil, clasificándose 1 lutita, 1 limolita, 3 limolitas arcillosas, 8 litarenitas y 1 sublitarenita. Finalmente 1 como dacita correspondiente a la Brecha Volcánica. A 11 muestras se les realizó descripción macroscópica, 3 del Conglomerado Peña Colorada y 8 de la Formación Huajuapán.

Las diferentes asociaciones de facies dentro de la Formación Tecamazuchil, indican que existió un sistema fluvial de tipo río meándrico a lo largo de un graben originado en la fase de extensión que precedió a la apertura del Golfo de México en el Triásico–Jurásico Medio. Este sistema presentó periodos de alta energía con la correspondiente acumulación de sedimentación, lo que originó la migración del cauce, teniendo como resultado un conjunto de canales abandonados donde se formaron pantanos de reducidas dimensiones, que dio lugar al carbón.

Se midió una columna estratigráfica de la Formación Tecamazuchil con un espesor total de 228.27 [m], donde la estratificación de esta secuencia presenta dirección preferencial hacia el N25°W con inclinación de 21° a 65° al NE. Así mismo, se encuentra afectado por fallamiento normal y lateral; su contacto inferior es discordante con el Complejo Acatlán, mientras que su contacto superior es discordante con la Formación Huajuapán. Las evidencias fósiles se encuentran en 2 niveles, el primero, hacia la base perteneciendo al grupo de las Bennettiales de género *Zamites*, *Otozamites*, *Ptilophyllum* y *Pterophyllum*; además de Helechos, Equisetum, *Mexiglosa varia*, conos del género *Williamsonia* y Coniferales. El segundo, hacia la cima, pertenece a las Bennettiales de género *Otozamites*, *Zamites*, *Ptilophyllum*, además de *Brachyphyllum*. Se analizaron por el grupo de Paleontología de la FES Zaragoza 161 ejemplares y fueron identificadas 21 especies; el análisis paleontológico indica condiciones climáticas iniciales cálidas y húmedas, que posteriormente evolucionaron a un clima semicálido a subhúmedo durante el Jurásico Medio.

La Formación Huajuapán está constituida en su parte basal por una intercalación de arenisca conglomerática y arenisca media de color rojizo, cementada por carbonato de calcio con fracturas rellenas de yeso fibroso y carbonato de calcio; además presenta horizontes de limolita y lentes de

conglomerado. La parte superior consiste de intercalación de areniscas, limolitas y lutitas, cubiertas por estratos de calizas y areniscas tobáceas. Se midió una columna estratigráfica con espesor total de 80.12 [m]. Los estratos presentan una orientación preferencial hacia el S59°W con inclinación de 15° a 33° al NW, los que se encuentran afectados por fallamiento lateral. Su contacto inferior es discordante con el Complejo Acatlán.

The study area is located near Tecamatlán, Puebla, in the southwestern state of Puebla, where metamorphic basement outcrops (Acatlan Complex), covered unconformable by Paleozoic marine sedimentary rocks of the Cuxtepeque Formation and Jurassic continental sequences, represented by Peña Colorada Conglomerate and Tecomazuchil Formation. The top of the column corresponds to Cenozoic rocks from Huajuapán Formation.

Peña Colorada Conglomerate consists, in the basal part by quartz and schist fragments from Acatlan Complex, which were deposited in an alluvial fan at its proximal area; the upper area consists by quartz clasts, schist, gneiss and reworked lithic fragments with clay matrix. The sequence was deposited by debris flows from high slopes and water saturation areas. Stratigraphic column was measured with a total thickness of 56.90 [m]; where layers have a preferential NE strike and SE dip direction, it is also affected by normal and lateral faulting. Its lower contact is discordant on the Acatlan Complex, while its upper contact is inferred to be concordant and transitional in relation to the Tecomazuchil Formation. The fossil record on this formation, Bennettitales, belongs to the *Zamites*, *Otozamites*, plus *Mexiglosa varia*, ferns and conifers *Elatocladus* type; inferring them to be from the Lower and Middle Jurassic.

Tecomazuchil Formation consists of a sequence of conglomerates, sandstones and siltstones of continental origin. The basal part of this unit corresponds to a polymictic conglomerate with sandy matrix interspersed with thick layers of conglomerate with white quartz clasts and shale fragments. The middle part consists of a sequence of terrigenous arrhythmic beds, of color beige to light gray of layers of sandstone and conglomeratic sandstone with lenticular bodies of sandy conglomerate, flute cast structures and bioturbation. The upper part consists of an intercalation of fine grain sandstone with coarse to medium conglomerates, with carbonaceous shale horizons and coal, followed by alternating red and green limestones with conglomeratic sandstone, with a few crusts of iron and nodules of flint.

A total of thirty one rock samples were analyzed, of which 20 samples were set into thin sections, 3 were classified as: chlorite schist, feldspathic gneiss and metasedimentary rock from Acatlan Complex; 2 as pelsparite and mudstone from Cuxtepeque Formation, 14 from the Tecomazuchil Formation were classified as: 1 shale, 1 siltstone, 3 argillaceous siltstones, 8 litharenitas and 1 sublitharenits.

Finally 1 of them, belonging to the volcanic breccia, was classified as dacite. 11 samples were classified by macroscopic studies, 3 from Peña Colorada Conglomerate and 8 from Huajuapán Formation.

The different facies associations within Tecmazuchil Formation indicate that there was a fluvial system of meandering river type, along a graben originated in the extension phase that preceded the opening of the Golfo in the Triassic-Jurassic. This system showed periods of high energy with a corresponding accumulation of sediment, resulting in migration of the channel, taking as result a set of abandoned channels, where is formed swamps of small size, and formed the coal deposits.

The stratigraphic column measured from Tecmazuchil Formation has a total thickness of 228.27 [m], where the stratification of this sequence has a preferential direction towards N25°W at inclination of 21° to 65° NE. It is affected by normal and lateral (right and left) faults; its lower contact is discordant with the Acatlán Complex, while its upper contact is discordant with Huajuapán Formation. The fossil evidence were found in two levels, the first toward the base, belonging to the group of the Bennettitales of *Zamites*, *Otozamites*, *Ptilophyllum* and *Pterophyllum* genus, besides Ferns, Equisetum, *Mexiglosa varia*, cones of *Williamsonia* genus and Coniferales. The second towards the top, belongs to the Bennettitales of *Otozamites*, *Zamites*, *Ptilophyllum* genus, besides Brachyphyllum. Were analyzed by FES Zaragoza Paleontology group 161 specimens and identified 21 species, the paleontological analysis indicate warm and humid climate conditions, which later evolved into a semi-hot and sub-humid climate in the Middle Jurassic age.

Formation Huajuapán it the youngest unit in the area and it consists in a basal part by a intercalation of conglomeratic-sandstone and sandstone of reddish colors, cemented by calcium carbonate, with fractures filled with fibrous gypsum and calcium carbonate, besides it has siltstone horizons and lenses of conglomerate. The top consists of intercalation of sandstones, siltstones and shales beds, covered by strata of limestone and tuffaceous sandstone. The stratigraphic column was measured with a total thickness of 80.12 [m]. The stratas have a preferential orientation toward S59°W, with inclination of 15° to 33° NW. This formation is affected by lateral faults. Its lower contact is discordant with the Acatlán Complex.

Capítulo I
Generalidades

Los estudios geológicos de la región de la Mixteca son relativamente abundantes, pero no existe ningún estudio detallado publicado de la zona de Tecamatlán, Puebla, a pesar de ser un área de gran importancia geológica.

Este trabajo fue realizado con el apoyo de los proyectos CONACYT 10773 “Reconstrucción Paleoclimática y Distribución de Gimnospermas en el Jurásico de Oaxaca” y PAPIIT iN106010 “Distribución de Gimnospermas en el Jurásico de la Región Norte del Terreno Mixteco y Reconstrucción Paleoecológica”, los cuales estuvieron a cargo de la Dra. María Patricia Velasco de León, se contó con la colaboración de: Ing. Javier Arellano Gil, Ing. José Luis Arcos y los alumnos de la carrera Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería y alumnos de la carrera de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

OBJETIVOS.

El presente escrito está basado en el trabajo de campo y la recopilación de datos de trabajos regionales realizados anteriormente. Las referencias nos permitieron conocer la evolución geológica de las secuencias jurásicas continentales de la región Tecamatlán, Puebla, en función de su estratigrafía, geología estructural y paleogeografía.

Los principales objetivos de este trabajo son:

- 1.-Describir con detalle las principales características litológicas de unidades litoestratigráficas del Jurásico Medio.
- 2.- Determinar la edad, las relaciones estratigráficas y el ambiente sedimentario de las unidades continentales del Jurásico Medio.
- 3.- Describir las características de las estructuras primarias que permiten interpretar los procesos dinámicos que intervinieron en el proceso de sedimentación de las unidades continentales del Jurásico Medio.
- 4.- Interpretar la evolución geológica y la paleogeografía de la región durante el Jurásico Medio.

1.2. MÉTODO DE TRABAJO.

La metodología llevada a cabo para la elaboración de esta investigación se realizó mediante una estructura de trabajo a continuación descrita, con el fin de cumplir con los objetivos mencionados.

1.2.1. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Para esta parte se adquirió y analizó los trabajos previos referentes a la geología de la región de Tecamatlán, Puebla y zonas aledañas a la región de estudio como documentos, datos, escritos, artículos, tesis de licenciatura y posgrado, mapas y demás trabajos geocientíficos con el fin de tener un panorama general de la geología eminente de la zona de trabajo.

1.2.2. MATERIAL CARTOGRAFICO.

Se adquirieron cartas tanto topográfica de Acatlán de Osorio (E14-B83) a escala 1:50,000 publicadas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2000) como la carta geológica-minera de Acatlán de Osorio (E14-B83) a escala 1:50,000, publicada por el Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2000). Así como también se utilizaron imágenes digitales de Google Earth disponibles en internet, que nos permitió delimitar la zona de trabajo donde afloran las secuencias jurásicas, esto con el fin de medir la columna estratigráfica del área de estudio.

1.2.3. TRABAJO DE CAMPO.

Posteriormente delimitada la zona de estudio y haciendo un reconocimiento geológico de las unidades aflorantes en el área de trabajo, se procedió al trabajo de campo que consistió en:

- Tomar puntos de interés con la ayuda del GPS, llevándose a cabo la medición de las columnas estratigráficas utilizando el báculo de Jacob, la brújula Brunton y cinta métrica; estas columnas fueron medidas y descritas, la primera sobre la Barranca La Mina, entre los poblados de La Herradura y el Porvenir, a faldas del Cerro Chicaltepec y a orillas del Río Acatlán (Formación Tecamazuchil) (*Figura 1.1*), la segunda entre los poblados de Tezoquipa y Peña Colorada (Conglomerado Peña Colorada) y por último sobre la carretera que conecta a los poblados de La Unión y Tezoquipan (Formación Huajuapán), donde sus afloramientos mejores expuestos permitieron la medición de estas columnas estratigráficas.



Figura 1.1 Columna medida de la Formación Tecomazuchil, sobre la Barranca La Mina.

- Se llevó a cabo la descripción macroscópica de las unidades litoestratigráficas expuestas, detallando el tipo de litología, composición mineralógica, color al fresco y al intemperismo, las estructuras sedimentarias primarias y secundarias presentes en los estratos, describiendo los tipos de contactos entre las unidades geológicas y la descripción del relieve.
- Obtención de muestras del contenido fósil para su posterior clasificación y datación relativa, realizada por la Dra. Patricia Velasco de León y alumnos de la carrera de biología.
- Se obtuvieron y describieron muestras de mano orientadas para su posterior análisis petrográfico.
- Obtención de datos estructurales como pliegues, fallas y fracturas para su posterior interpretación.

1.2.4. TRABAJO DE GABINETE.

Posteriormente al trabajo realizado se analizó la información y los datos obtenidos en campo, que nos permitió continuar con la elaboración de este trabajo.

- Mapa geológico. Se realizó basándonos en la carta geológica del Servicio Geológico Mexicano con clave (E14-B83), así como también en el estudio de afloramientos y contactos presentes dentro del área de estudio y posteriormente se digitalizaron utilizando el software ArcGis 10, con el apoyo del estudiante de Ingeniería Geológica, Marco Tress Bello.
- Columnas estratigráficas. Se identificaron los mejores afloramientos en campo de cada formación, de los cuales, se realizó la descripción litológica y medición vertical para posteriormente digitalizar dichas columnas estratigráficas con la ayuda de AUTOCAD 2011.
- Láminas delgadas. Se hizo el análisis y la clasificación de las unidades litológicas por medio de láminas delgadas, basándonos en la clasificación de Dott (1964), modificada por Pettijhon (1974). Se utilizó un microscopio petrográfico con luz incidente, platina móvil y cámara integrada para la toma de fotomicrografías, con la asesoría del Ing. Juan Carlos Cruz Ocampo. Identificando texturas y contenido mineralógico así como sus porcentajes, redondez, tamaño de clastos, porcentaje de matriz contenida, relación entre clastos y fábrica.
- Paleoambiente. Para la interpretación del paleoambiente se realizaron modelos ambientales que representan los procesos geológicos que dieron origen a las secuencias Jurásicas del área estudiada.

1.3 ANTECEDENTES.

Dentro de esta porción del Terreno Mixteco se han realizado gran cantidad de trabajos geológicos regionales, los primeros fueron de fines del siglo XIX relacionados con la geología, particularmente con la estratigrafía y paleontología. El primero fue de Félix (1891), seguidos por los de Aguilera (1897; 1906), Felix y Lenk (1899), Flores (1909), Birkinbine (1911), Wieland (1914:1916) y Burckhardt (1927).

Entre los trabajos más recientes y más próximos al área que abarca el presente trabajo, se tienen los realizados para el Paleozoico por Ortega (1978a), quien describe al Complejo Acatlán en la provincia morfotectónica de la Sierra Madre del Sur; su extensión superficial rebasa los 10,000 [km²], ampliándose desde su área tipo principalmente hacia el sur y el poniente; el limite oriental

del Complejo Acatlán está constituido por una amplia zona de falla, al oriente se encuentra yuxtapuesto con el Complejo Oaxaqueño del Precámbrico. Fue definido con base en un reconocimiento geológico de las rocas cristalinas expuestas en la Mixteca de los estados de Puebla y noroeste de Oaxaca, se divide en 2 subgrupos: Petlalcingo y Acateco y en 3 unidades granítico-metagraníticas: Granitoide Esperanza, Tronco de Toltepec y Diques San Miguel (Ortega Gutiérrez, 1978 a). Enciso de la Vega (1988) designa a la Formación Cuxtepeque como una secuencia sedimentaria marina de conglomerado, lutita-yeso, arenisca y calizas, asignándole una edad del Pérmico.

Para el Mesozoico se tiene a la Formación Tecamazuchil propuesta por Pérez-Ibargüengoitia *et. al.* (1965), descrita por Caballero (1990) y Galina (1996), como una secuencia de conglomerado, arenisca y limolita de origen continental de color beige a rojizo que descansa en discordancia angular sobre el Complejo Acatlán; asignándole una edad Jurásico Medio. Para la Formación Chimeco se tienen varios reportes de Pérez *et. al.*, (1965), Alencaster y Buitrón (1965), Caballero (1990) y Galina (1996); está constituida principalmente de arenisca calcárea subyaciendo a la Formación Mapache y sobreyaciendo a la Formación Tecamazuchil, su litología consta de arenisca calcárea, caliza arenosa y ooesparita en la parte inferior; en la parte superior consta de caliza arenosa y caliza arcillosa, con equinoides, pelecípodos y rellenos de gusanos. Se le asigna una edad Oxfordiana de acuerdo a su contenido paleontológico. La unidad más joven del Jurásico Medio es la Formación Mapache, Pérez (1965), Alencaster y Buitrón (1965), Caballero (1990) y Galina (1996) quienes reportan a esta secuencia de calizas arcillosas que están interestratificadas con limolitas y lutitas calcáreas que sobreyacen concordantemente a la Caliza Chimeco y están cubiertas discordantemente por estratos de la Formación Morelos. Su espesor varía de 380 [m] a 150 [m] el cual se acuña hacia el sur hasta desaparecer. Asignándole una edad Kimmeridgiano-Portlandiano. Para el Cretácico, se tiene a la Formación Teposcolula reportada por Salas (1949), Erben (1956 b), Ferrusquía (1970) y Caballero (1990); se compone de un paquete calcáreo que cubre discordantemente al resto de las unidades Mesozoicas, en la parte inferior la presencia de calizas se presentan de manera masiva, de textura mudstone a packstone con nódulos de pedernal, la parte superior es calcárea con fracciones arcillo-arenosas, caliza arcillosa, caliza limosa, arenisca calcárea, marga y caliza masiva. Su espesor estimado es de 400 [m] de edad Albiano-Cenomaniano.

Para el Cenozoico se tiene a la Formación Huajuapán, definida originalmente por Salas (1949); descrita por Erben (1956) y Caballero (1990); está formada por areniscas, cenizas volcánicas, arcillas arenosas, capas de conglomerado y brechas estratificadas. Las fracciones areno-conglomeráticas se componen de clastos de esquisto, arenisca, conglomerado y cuarzo, conglomerados calizos, limolitas y areniscas; con un espesor promedio de 250 [m]. Posteriormente se tiene a la Unidad Ahuehuetitlán descrita por Caballero (1990), quien define a esta secuencia volcánica de morfología tabular y superficie irregular de fuertes pendientes, conformado por diversas emisiones lávicas y piroclásticas, con un espesor estimado de 200 [m], cuya composición predominante es de andesita. La Andesita Basáltica Chila, que cubre a la unidad anterior, fue estudiada por Caballero (1990), reporta a rocas volcánicas de composición andesítica-basáltica compuesta por basaltos vesiculares de color gris oscuro a negro y estructura lajeada; posterior a la Unidad Ahuehuetitlán, con estructuras que han sufrido menor intemperismo y erosión. Para el Reciente, Schlaepfer (1970 a, b) propone al Conglomerado Tecomatlán como un conglomerado compuesto por fragmentos de caliza gris mal clasificados, fragmentos de pedernal y abundantes fósiles de pelecípodos, corales y gasterópodos. Asignado una edad del Eoceno Tardío-Oligoceno con base en sus relaciones estratigráficas, estimando un espesor aproximado de 20 [m]. De Cserna (1960), Visser (1965) y Sedlok *et. al.*, (1993) proponen un área de 35 000 [km²] para el Terreno Mixteco, el cual está constituido por un basamento de rocas metamórficas e ígneas asociadas a diferentes eventos de deformación debido a la dinámica y colisión de diversas masas continentales, además Sedlok *et. al.*, (1993) propone la distribución geográfica de los terrenos tectonoestratigráficos en el sur de México.

1.4 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA LOCALIDAD DE TECOMATLÁN, PUEBLA.

1.4.1 UBICACIÓN.

El nombre de Tecomatlán es de raíz náhuatl y significa “junto o cerca de los tecomates o vasos de árbol”. El municipio se localiza en la parte suroeste del Estado de Puebla, con coordenadas geográficas entre los paralelos 17° 53' 18" y 18° 07' 24" de latitud norte y los meridianos 98° 12' 42" y 98° 21' 54" de longitud occidental (*Figura 1.2*). Tiene una superficie de 181.15 [km²], que lo ubican en el 71º lugar con respecto a los demás municipios del Estado de Puebla. Tecomatlán colinda con los municipios de Piaxtla al noreste- sureste, al sur con el Estado de Oaxaca, al suroeste con Tulcingo y al noroeste con Axutla y Chila de la Sal.

En el área de estudio los poblados vecinos más importantes de la zona de Tecamatlán son Mixquiapan, El Porvenir, La Herradura, Quicayan, Independencia, Ixtayo, Xantoxtla, Tezoquipan, El Platanar, La Unión, El Tempexquixtle, Telolinga, Tezoquipa, El Progreso, El Tigre, El Novillero, Peña Colorada, Santiago llamacingo, llamacingo y Suxtle.

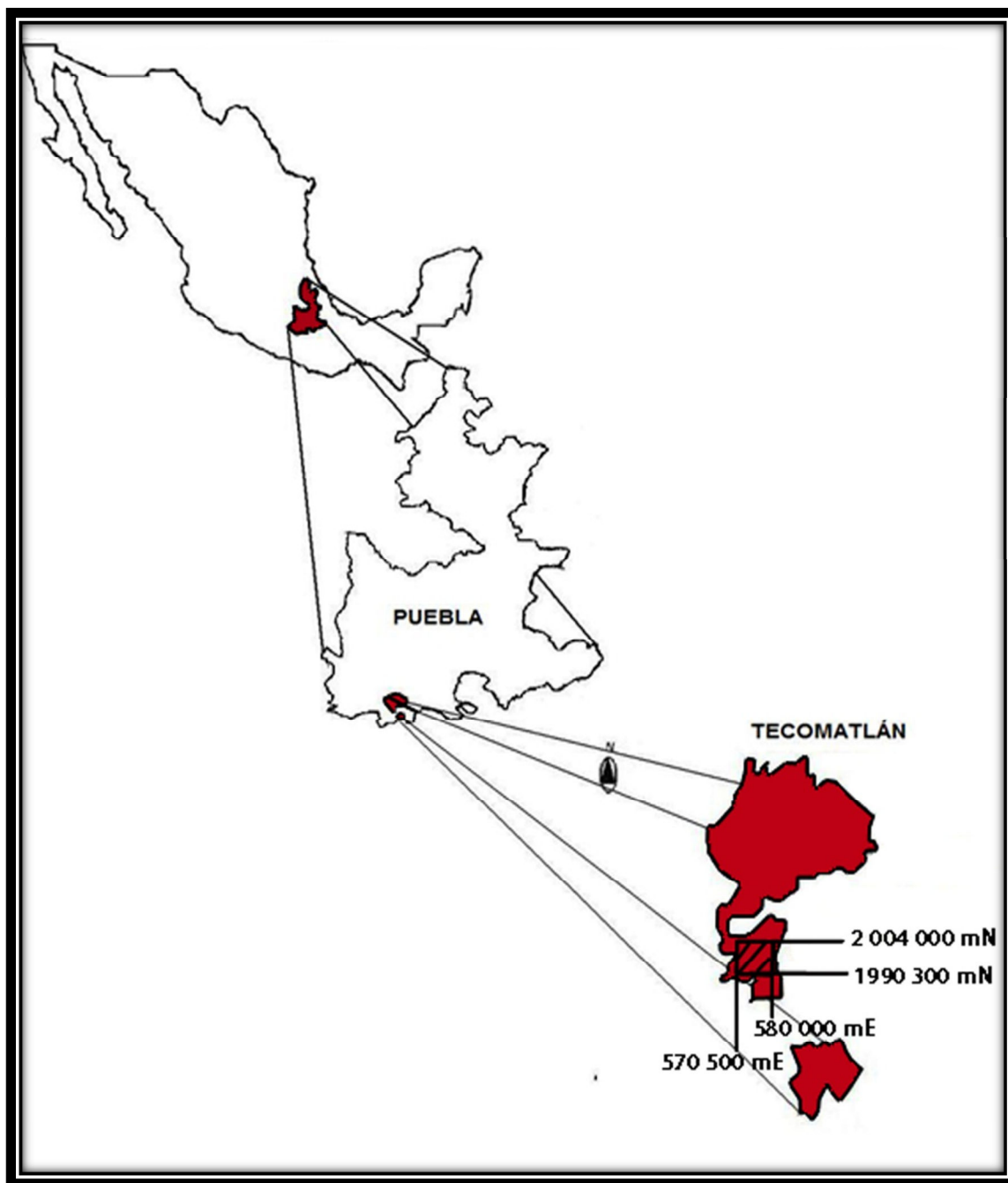


Figura 1.2 Ubicación geográfica del municipio de Tecamatlán en el Estado de Puebla y del área de estudio.

1.4.2 VÍAS DE COMUNICACIÓN.

Una carretera estatal atraviesa el municipio de norte a oeste y lo comunica, por un lado, con Tulcingo, en el estado de Guerrero y por el otro con Piaxtla y Ahuehuetitlán, Puebla; en este último punto entronca por la carretera estatal Núm. 190, que pasa por Acatlán, Petlalcingo, Chila de las Flores, Tehuitzingo, Izúcar de Matamoros, Tilapa y Tepexco. A pocos kilómetros de la cabecera municipal, una carretera secundaria comunica con Tulcingo y Albino Zertuche, además se tienen caminos de terracería que llevan a las comunidades de Mixquiapan, Quicayan, Independencia, Xantoxtla, Colonia Isla la Paz, Tempexquixtle, Olomatlán, Tezoquipan y Comunidad Agraria Emiliano Zapata. En el Río Mixteco hay un puente vehicular y un puente peatonal colgante, además en el Río Acateco hay 2 puentes vehiculares y 2 puentes peatonales colgantes.

Para llegar al área de estudio partiendo de la ciudad de Puebla se toma la salida suroeste de Puebla por la carretera estatal Núm. 190 hacia San Gregorio Atzompa hasta pasar los municipios Atlixco, Tepeojuma e Izúcar de Matamoros respectivamente; posteriormente se toma hacia la derecha incorporándose a la carretera estatal Núm. 160, continuando nuestro viaje hacia el sureste retomamos la carretera Núm. 190 que continua hasta el poblado de Tehuitzingo hasta llegar al cruce con la carretera Núm. 293 que se comunica con el municipio de Piaxtla, siguiendo por este mismo trayecto, por la misma carretera llegamos al municipio de Tecomatlán, Puebla (*Figura 1.3*).

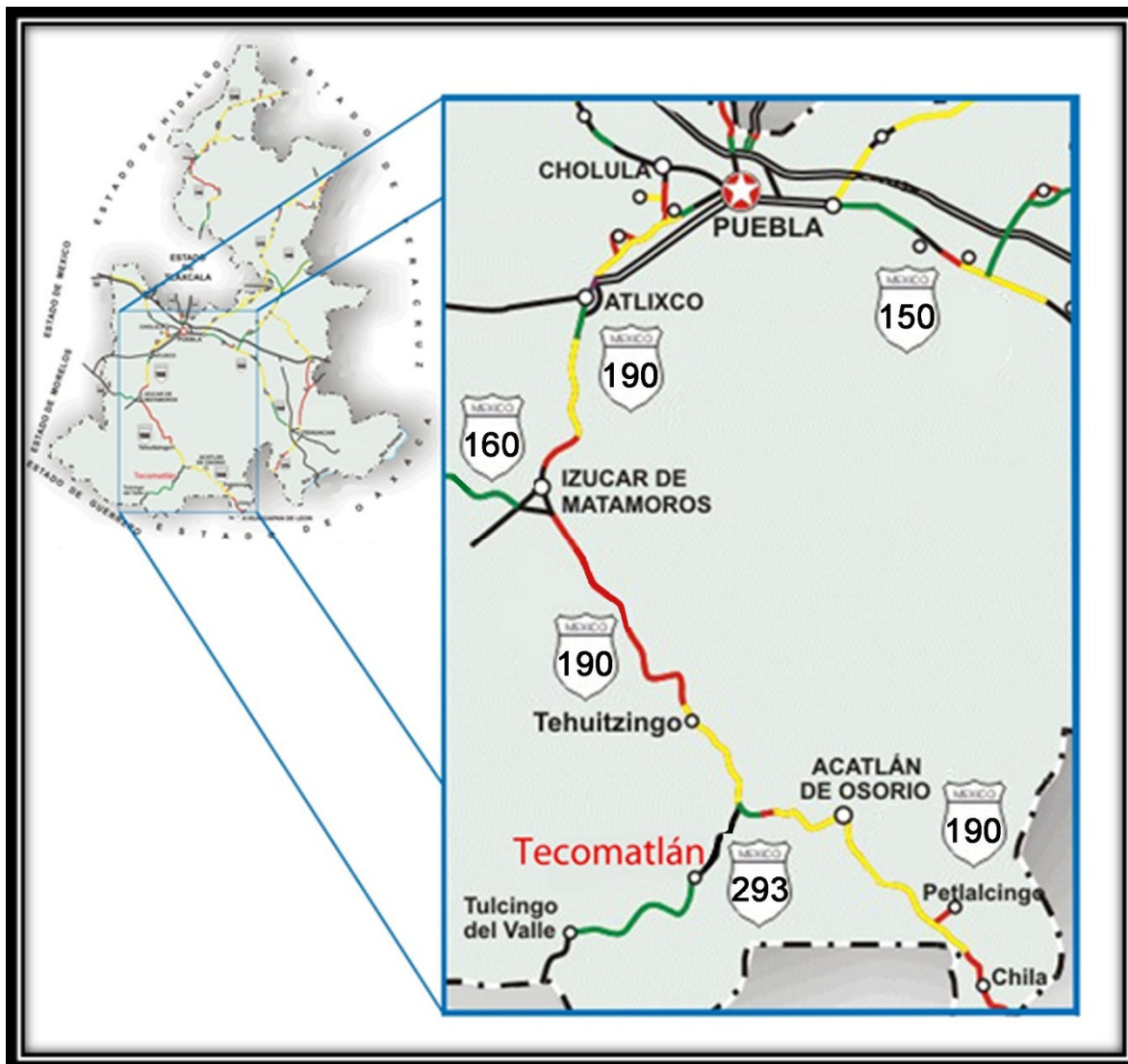


Figura 1.3 Vías de Comunicacionde Puebla al municipio de Tecamatlán (SCT, 2011).

1.4.3 FISIOGRAFÍA.

1.4.3.1 OROGRAFÍA.

El área de estudio se encuentra en la región central de la Mixteca Baja, la cual es montañosa y forma parte de la Sierra Madre del Sur; presenta altitudes entre los 1,200 [m.s.n.m.] y 1,540 [m.s.n.m.] y sus ríos llevan el agua de la Sierra Madre del Sur hacia la cuenca del Río Atoyac-Balsas.

Entre las principales elevaciones en la zona de estudio, destaca al noreste el Cerro Chicaltepec [1,540 m.s.n.m.] que se presenta de forma alargada con un par de picos en la cima; al este los Cerros Pelado [1,420 m.s.n.m.], el Cerro Tenayo [1,360 m.s.n.m.] y El Cerro Escobillal [1,200

m.s.n.m.]; al sureste en el poblado de Peña Colorada se tiene al Cerro Cuxtepeque [1,420 m.s.n.m.] que en su conjunto encontramos la mesa El Copale [1,340 m.s.n.m.] y Las Cucharas [1,300 m.s.n.m.]. Al suroeste, en el poblado del Novillero sobresale el Cerro Novillero de donde toma dicho nombre [1,240 m.s.n.m.]; al noreste en el poblado de El Tempexquixtle se encuentra el Cerro El Mirador [1,280 m.s.n.m.]; entre los poblados de la Unión y Tezoquipan se tiene al Cerro Tepeyehuale [1,200 m.s.n.m.]. La inclinación promedio de pendiente del relieve son los propios de una topografía moderada pues cerca del 85% presenta 30° de inclinación y el restante por debajo de los 25° (*Figura 1.4*).

Dentro del área de estudio se aprecia una diversidad morfológica, ya que hacia el oriente se tiene mesetas formadas sobre rocas metamórficas (Complejo Acatlán) y lomas como el Tecorral, Cochonoxtle y Loma Larga con orientación al norte-sur. Complementan la geomorfología del área la presencia de barrancas y cañadas de las cuales las más representativas son al noreste la Barranca Sangre de Grado, la Cañada Rancho San Pedro y la Barranca Casahuatle Blanco, a faldas del Cerro Chicaltepec, al este a orillas del Cerro Escobillal, se encuentra la Cañada Telolinga; al sureste en la Loma Xenoxtle se presenta sobre sus costados la Cañada Chipixtla y la Cañada la Cruz; al suroeste cerca del poblado del Progreso encontramos la Barranca El Muerto y la Cañada Comala, al noroeste a orillas del Cerro el Mirador, La Cañada, El Carbonero, y entre los poblados de Tezoquipan y Tecomatlán la Barranca Los Monos.

Tomando en cuenta los factores que modifican al relieve como la erosión diferencial, los tipos de roca, el clima, la lluvia y la vegetación, se puede explicar la complejidad del relieve de la zona, que se tienen desde lomeríos por intemperización, hasta grandes cañadas o barrancas producto de la erosión diferencial.

Al noreste de la región de estudio debido a su carácter morfológico no cuenta con valles de extensión considerable. Sin embargo destaca una estructura de tipo valle angosto entre los altos morfológicos que componen El Cerro Pelado, El Cerro Tenayo y El Cerro Chicaltepec, donde afloran la Formación Tecomazuchil (*Figura 1.4*). En la porción sur, a faldas del poblado Peña Colorada se presenta una estructura de tipo anticlinal entre los cerros El Cuxtepeque y el Cerro Novillero, en el cual encontramos aflorando al Conglomerado Peña Colorada (*Figura 1.4*).

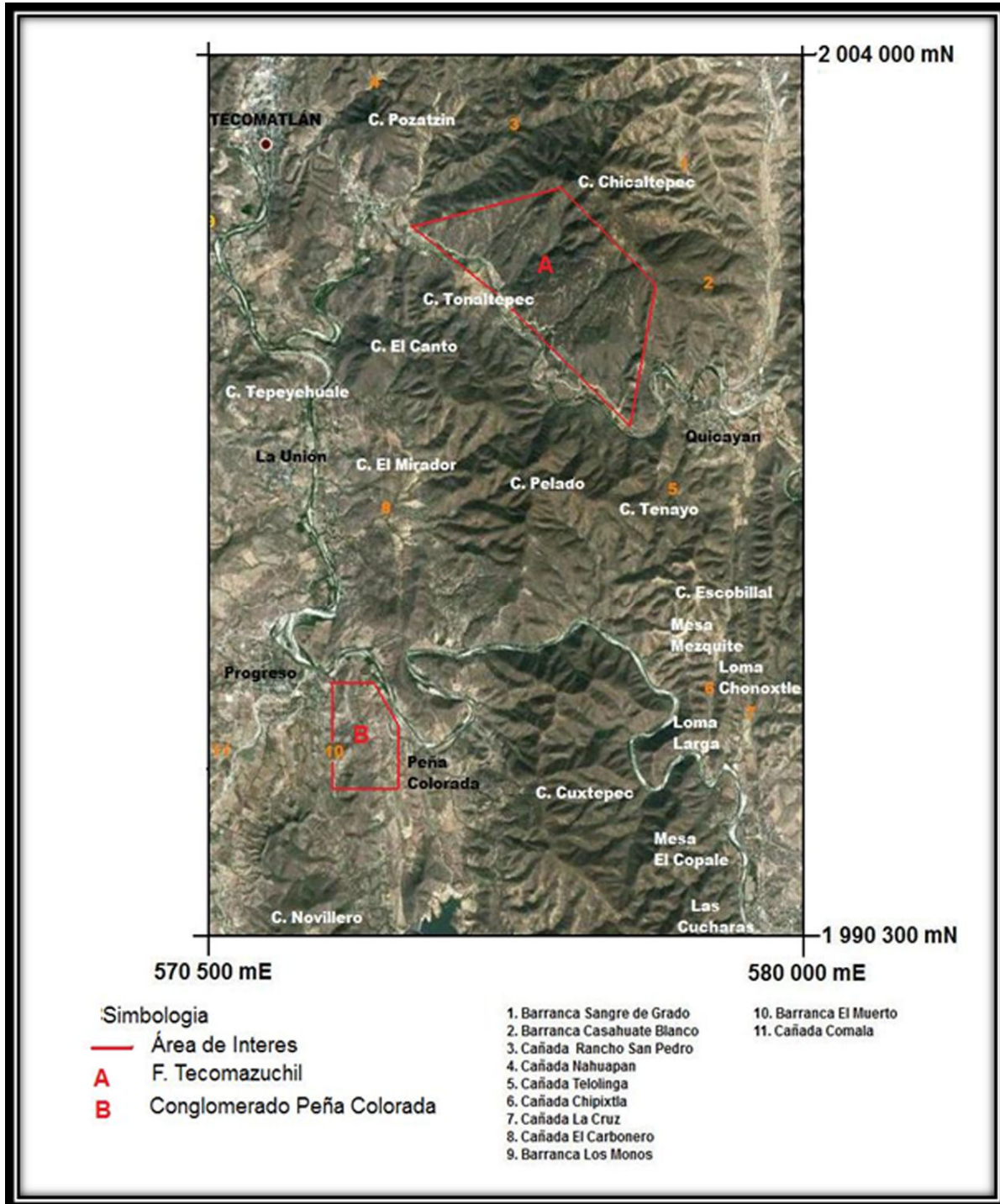


Figura 1.4 Mapa Orográfico del área de estudio. En la imagen se muestra la zona A y B, correspondientes a los afloramientos de la Formación Tecomazuchil y el Conglomerado Peña Colorada (Google Earth, 2009).

1.4.3.2 HIDROGRAFÍA.

El sistema hidrográfico y la orografía resultan complejos, debido a la gran cantidad de corrientes fluviales con diversos patrones asociados al clima y a la gran variedad de las rocas que afloran; su aprovechamiento está dirigido a su uso como agua potable y a la agricultura.

El municipio se localiza dentro de la vertiente del Río Atoyac que desemboca en el Océano Pacífico por la profunda cuenca hidrológica del Río Balsas (*Figura 1.5*). El Río Atoyac se inicia a partir de los deshielos que descienden, desde altitudes superiores a los 4000 [m], del flanco oriental del Volcán Iztaccihuatl, en los límites del estado de México y Puebla. En su recorrido recibe varias aportaciones relevantes, por una y otra margen, como son las de los Ríos Nexapa, Mixteco, Acatlán, Zahuapan, Alseseca y otros más pequeños en el límite entre Puebla y Guerrero, el Río Atoyac se une con el Río Tlapaneco para formar el Río Balsas.

El río que pasa por la zona de estudio se denomina Río Mixteco, proveniente del Estado de Oaxaca, recorre el centro y occidente del municipio para continuar por el valle de Acatlán y desembocar en el Río Atoyac; el Río Acatlán que baña el norte, de este a oeste y se une al Río Mixteco. También cruzan el territorio arroyos intermitentes como el Salado, Casahuate, Tehixtle, etc., que se unen a los ríos mencionados. En relación a aguas subterráneas la zona presenta acuíferos de baja productividad.

En el área de estudio las corrientes de agua son cortas y de escaso caudal; en el Municipio de Tecamatlán, Puebla, es drenado por afluentes del Río Mixteco. También se encuentra el Río Acatlán, ubicado entre los poblados de Independencia Quicayan, La Herradura, El Porvenir y Mixquiapan, que desemboca en el Río Mixteco en la porción NW del área de estudio.

En el sector noreste del área de estudio, debido a la litología de roca metamórfica y clástica se refleja un patrón de drenaje de tipo dentrítico y paralelo, respectivamente, debido a que la unidad metamórfica es impermeable y las rocas clásticas de origen continental tienen un desarrollo de drenaje menos marcado, donde parte del agua que llega a ellas se infiltra. Se aprecia que las líneas de escorrentías llevan una orientación preferencial hacia el suroeste para converger con el afluente del Río Acatlán. Para la zona centro y sureste se refleja un patrón de drenaje dentrítico

sobre rocas metamórficas y a su vez un drenaje subparalelo en rocas clásticas como ocurre en las proximidades del poblado de Peña Colorada (Figura 1.5). Dentro del área de estudio se encuentra el lago de Peña Colorada. Los ríos confluyen con dirección hacia el sureste, a estos se unen las vertientes de los altos estructurales de la zona.

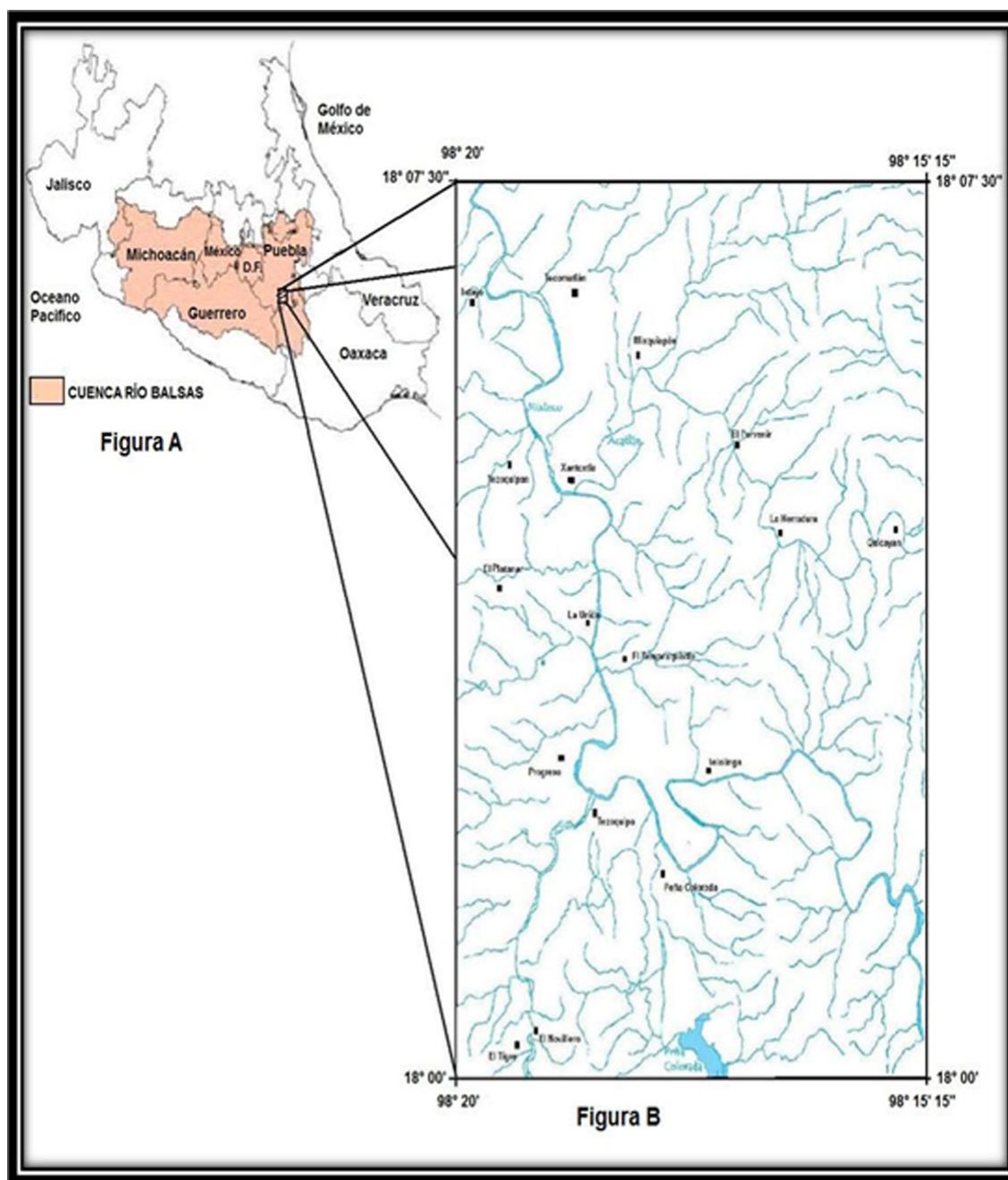


Figura 1.5 Mapa Hidrológicos del área de estudio. A) Representa la distribución de la cuenca del río Balsas, y B) Red hidrográfica del área de estudio.

1.4.4 CLIMA Y VEGETACIÓN.

1.4.4.1 CLIMA.

En el municipio de Tecumatlán, Puebla, se presentan 2 variedades de clima siguiendo un sentido de norte a sur.

- Clima semiseco muy cálido con precipitación invernal menor a 5°C, temperatura media anual superior a 22°C; la del más frío superior a los 18°C con lluvias en verano que abarca los meses entre mayo y octubre, las cuales son escasas. Es el clima predominante que se presenta en el norte del municipio.
- Clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano con temperatura media anual mayor de 22°C; la temperatura del mes más frío mayor de 18°C; con precipitación pluvial del mes más seco menor de 60 [mm]. Este clima se presenta en una franja latitudinal del centro del municipio.

El área de estudio está representada principalmente por dos tipos de clima; al poniente tenemos un clima subhúmedo en la zona de lomeríos en cuyas tierras se cultivan para la agricultura y al oriente se presenta un clima semicálido con escasas de vegetación.

1.4.4.2 VEGETACIÓN.

En el área de estudio se aprecia una vegetación propia de selva baja caducifolia. La vegetación se caracteriza por su marcado aspecto distinto en época de lluvias y en época seca.

- La época de lluvias dura entre 3 y 4 meses; en este tiempo los árboles tienden a ser perennifolios, con alturas entre 8 y 12 [m], con un follaje denso, muy próximos entre sí, observándose un gran número de especies entrelazadas. Los árboles, además de bajos, suelen ser ramificados desde la base y en muchos casos retorcidos. Algunas especies distintivas de plantas son de Matorral tipo *Eysenhardtia* y *Acacia-mimosa*.
- La época seca llega a durar hasta ocho meses, los árboles pierden su follaje. Las especies que abundan principalmente son las cactáceas, algunas de ellas son trepadoras. También se identifican especies como maderales (como caoba, jabillo y samán), además de copal, cuajilote, jacalosúchil, flor de mayo, cucharo, cubata, tepeguaje, palo mulato, crucillo y cazahuate.

1.4.5 ECONOMÍA Y RECURSOS NATURALES .

El municipio de Tecamatlán Puebla, produce su beneficio económico basado en las siguientes vertientes naturales:

- Explotación Forestal: Cuenta con bosques en donde existen maderas finas como caoba y cedro, que se utilizan para la fabricación de muebles; también se tienen pinos de diferentes especies utilizados para la construcción, artefactos de madera y muebles rústicos.
- Minería. En el municipio se tienen yacimientos de barita, cuarzo, talco, serpentina y bentonita; también se cuenta con cantera, mármol, travertino, ónix mexicano, cemento y yeso.

Actualmente en la zona de estudio no se realiza ninguna actividad de explotación de recursos naturales.

1.4.6 CARACTERÍSTICAS Y USO DE SUELO.

En el municipio se identifican suelos pertenecientes a dos grupos:

- Feozem: Se presenta en angostas franjas, generalmente en la ribera de los ríos como el Petlancingo y Mixteco; presenta fase gravosa (fragmentos de roca o tepetate menores de 7.5 centímetros de diámetro).
- Regosol: Es el suelo predominante, ocupa más del 75% del municipio, presentando fase lítica (roca a menos de 59 centímetros de profundidad) (*Figura 1.6*).



Figura 1.6 En la parte superior se muestra el tipo de suelo correspondiente al suelo regosol.

Capítulo 2

Estratigrafía
Regional y Local

2.1 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL.

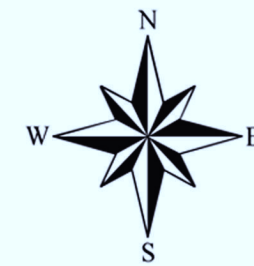
El registro estratigráfico del área de estudio es propia del Terreno Mixteco (Ortega *et. al.*, 1978), por lo que se tienen aflorando rocas con edades del Paleozoico hasta el Reciente, cuya distribución se indica en el mapa geológico (*Figura 2.1*). La secuencia estratigráfica en el entorno geológico consiste en un basamento metamórfico de edad Paleozoica, que está cubierto por secuencias sedimentarias del Jurásico, de origen continental, que gradualmente pasan a sedimentos calcáreos y calcáreo arcillosos marinos del Jurásico Superior. Estas secuencias están cubiertas discordantemente por areniscas conglomeráticas y calizas del Cretácico Inferior y Superior; a los que a su vez sobreyacen discordantemente rocas clásticas continentales del Cenozoico Inferior; también se tiene una brecha volcánica y el aluvión del reciente que completan la secuencia estratigráfica regional (*Figura 2.2*).

Considerando que el objetivo central de este trabajo es el estudio de las unidades sedimentarias presuntamente del Jurásico que afloran en el área, estas son las que se describen con mayor detalle (Conglomerado Peña Colorada y Formación Tecamazuchil). De las unidades restantes, sólo se hace una presentación resumida de la información que se tiene disponible de ellas. Se consultaron a varios autores, para la elaboración de este capítulo utilizando como referencias principales, los trabajos de Ortega (1978), Ruiz (1970) y Yañez *et. al.*, (1991) para el Paleozoico; a Pérez *et. al.*, (1965) y Caballero (1990) para el Mesozoico, además de los trabajos de Erben (1956 a y 1956 b), Ferrusquía (1976), y Morán (1987) para el Cenozoico.

2.1.1 PALEOZOICO.

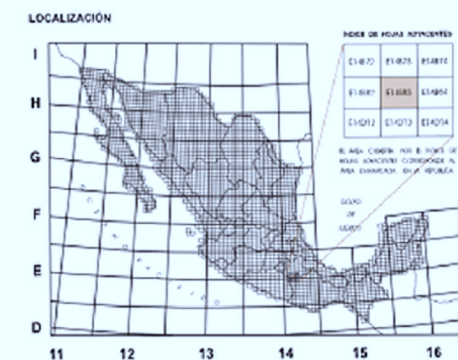
El Paleozoico abarca al Complejo Acatlán y a la Formación Cuxtepeque, las cuales se encuentran en el mapa geológico (*Figura 2.1*). En la mayor parte de la región de estudio se encuentran aflorando en zonas amplias, rocas metamórficas que pertenecen al Complejo Acatlán, el cual se ubica estratégicamente en el periodo Devónico-Silúrico del Paleozoico; se trata de depósitos marinos deformados y metamorfizados por una orogenia de tipo alpino. Estas rocas constituyen la base litológica como se aprecia en la columna estratigráfica (*Figura 2.2*) y se encuentran subyacidas por la Formación Cuxtepeque.

TECOMATLAN



SIGNOS CONVENCIONALES

- +— ANTICLINAL
- ▲▲▲ FALLA NORMAL
- ▲▲▲ FALLA INFERIDA
- +— FALLA LATERAL
- +— FALLA LATERAL INFERIDA
- +— RUMBO Y ECHADO
- +— FOLIACION
- SECCION A-A'
- SECCION B-B'
- POBLACIONES
- CARRETERA
- BRECHA
- CALLE
- AREA URBANA
- CORRIENTE DE AGUA
- CUERPO DE AGUA
- CONTACTO
- CURVA DE NIVEL ACOTADA EN METROS
- CURVA DE NIVEL AUXILIAR
- Qal ALUVION (Cuaternario, Aluvión-suelo-caliche)
- TiHu Fm. HUAJUAPAN (Oligoceno, Arenisca conglomeratica-Calizas-Tobas)
- KBvd BRECHA VOLCANICA (Cretácico, Dasita)
- JmTz Fm. TECOMAZUCHIL (Jurásico Medio, Cg-Arenisca-Limolitas-Lutitas)
- JIPC Cg. PEÑA COLORADA (Jurásico Inferior, Conglomerado)
- PpCx Fm. CUXTEPEQUE (Pérmico, Cg-Arenisca-Lutita-Yeso-Calizas)
- E(?)CA COMPLEJO ACATLAN (Pensilvanico - Silúrico, Esquisto)



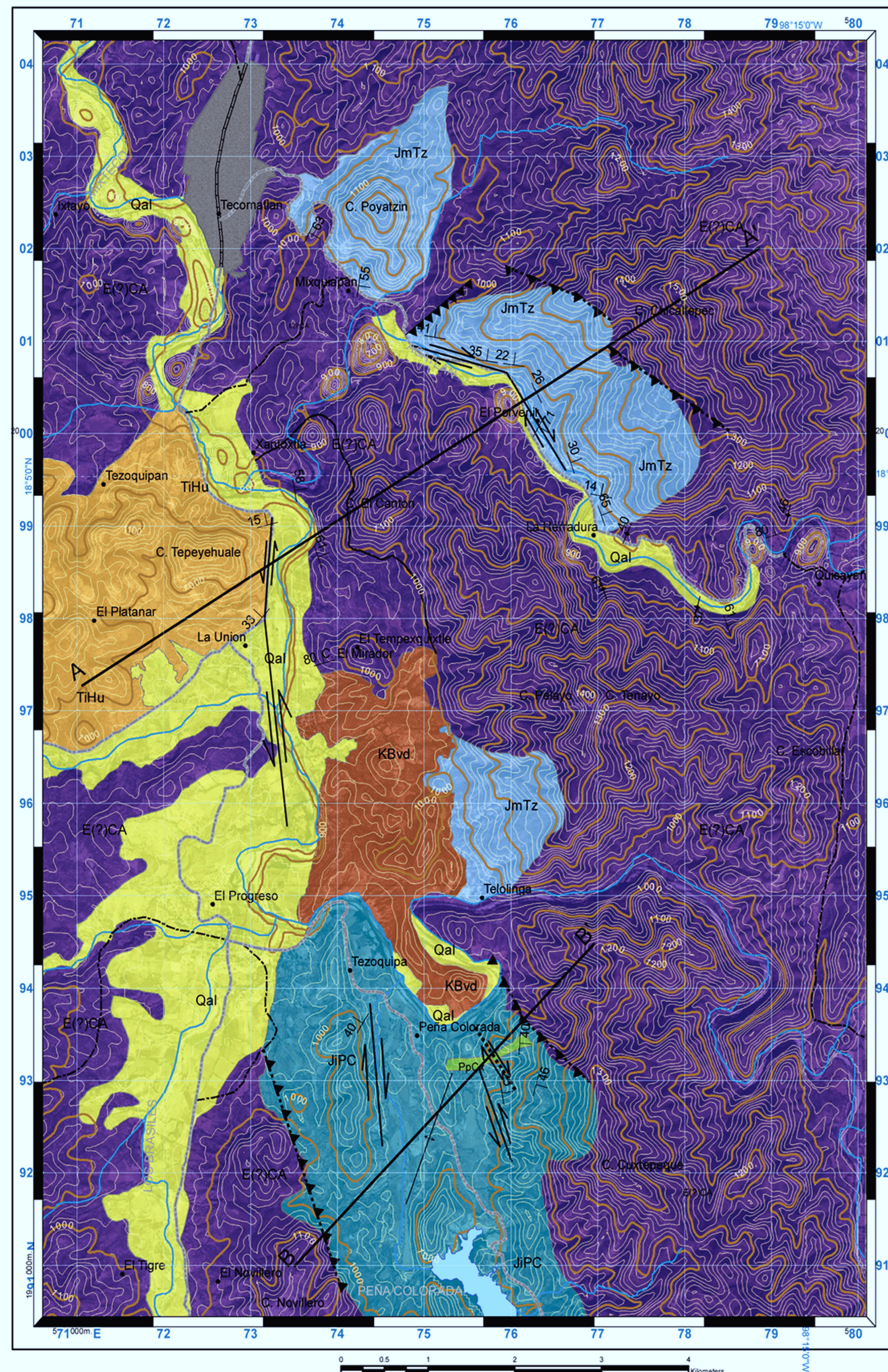
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 14N
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
False Easting: 500,000.0000
False Northing: 0.0000
Central Meridian: -99.0000
Scale Factor: 0.9996
Latitude Of Origin: 0.0000
Units: Meter

MAPA GEOLÓGICO 1:50,000

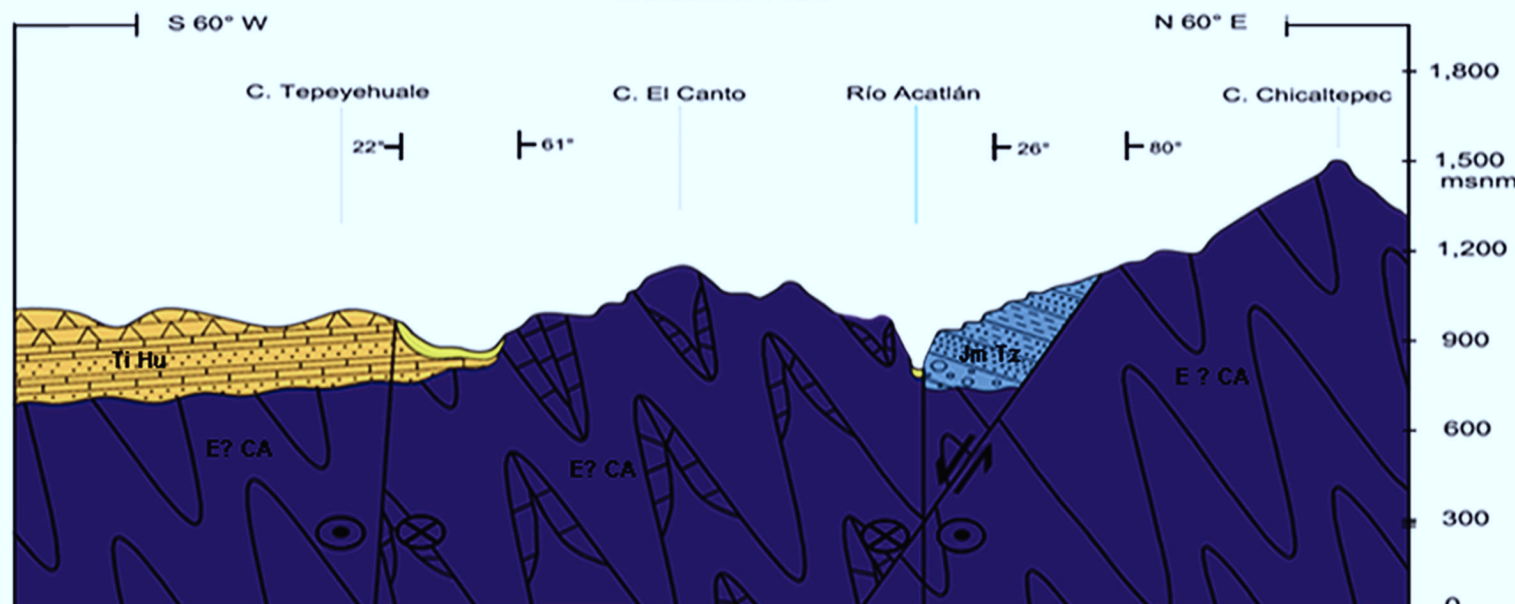
ÁREA TECOMATLÁN, PUE.

FACULTAD DE INGENIERÍA

AUTORES:
HERNÁNDEZ VULPES ROSALINDA MARÍA
RODRÍGUEZ CALDERÓN MARLENE
DIBUJO: TRESS BELLO MARCO ANTONIO



Sección A-A'



Sección B-B'

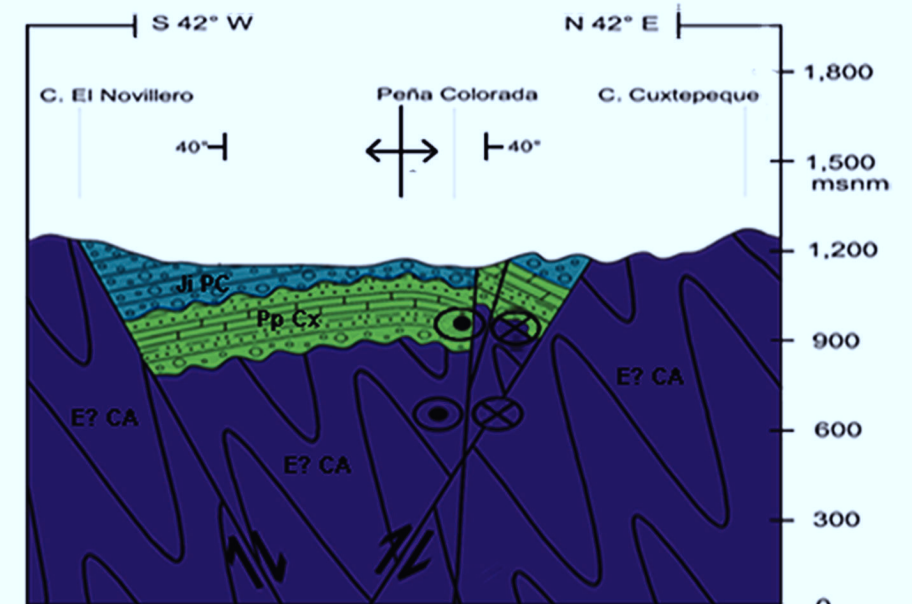


FIGURA 2.1. MAPA GEOLÓGICO, ÁREA TECOMATLÁN, PUE., 2012.

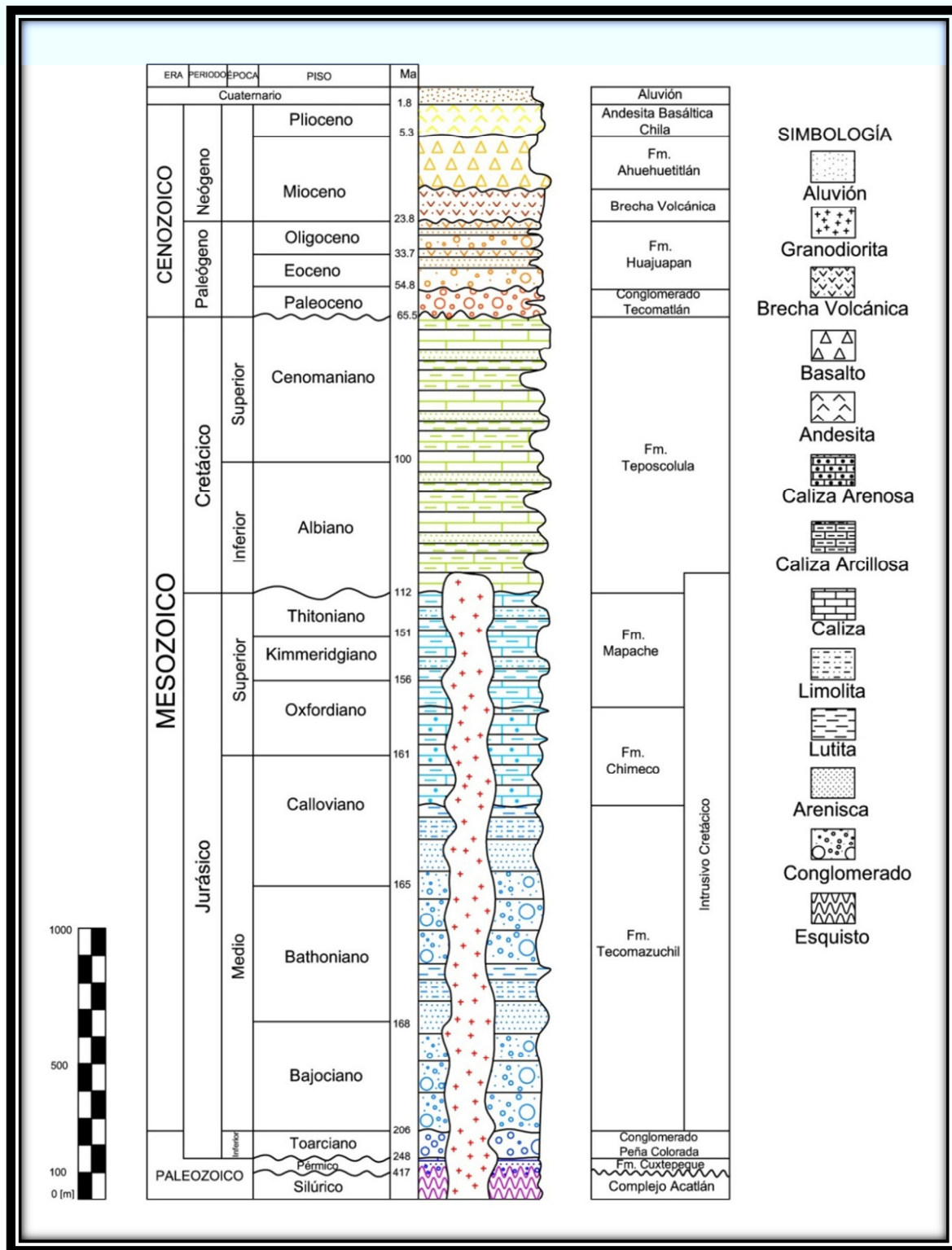


Figura 2.2 Columna estratigráfica regional del área de Tecomatlán, Puebla. (Modificado de Grimaldo, 2010).

2.1.1.1 COMPLEJO ACATLÁN.

Definición. Ortega (1978a) propone formalmente el nombre de Complejo Acatlán en sustitución al nombre anterior de Formación Acatlán, informalmente definida por Fries y Rincón (1965). Su localidad tipo son los afloramientos de rocas metamórficas expuestas en la Mixteca de los estados de Puebla y al norponiente de Oaxaca, y su sección tipo se ubica a lo largo del tramo de la carretera federal 190 (México-Oaxaca), que va del entronque con el camino a Tecamatlán hasta los últimos afloramientos metamórficos que cortan la misma carretera, situados entre los poblados de Petlalcingo y Chila de las Flores, Puebla.

El Complejo Acatlán fue dividido por Ortega (op. Cit.) en 2 subgrupos y en 3 unidades más de tipo granítico-metagraníticos: Granitoides Esperanza, Tronco de Totoltepec y Diques San Miguel. Las dos últimas excluidas tácitamente en un trabajo posterior del autor (Ortega, 1981). Estas unidades afloran conformando bandas de orientación NW-SE a NE-SW, paralelas a la foliación general de las rocas.

- El Subgrupo Petlalcingo se encuentra compuesto por 3 unidades: la Migmatita Magdalena en la base, seguida por la Formación Chazumba; ambas sobreyacidas por la Formación Cosoltepec.
- El Subgrupo Acateco lo forman la Formación Xayacatlán y la Formación Tecomate.

Litología. Ortega (1978a) detalla que el Subgrupo Petlalcingo consta de tres formaciones: Migmatita Magdalena de composición tonalítico-diorítico, con anfibolita, piroxenita, calsilicita, mármol y gneiss granítico. La Formación Chazumba se compone de esquistos pelíticos micáceos de biotita, feldespáticos y cuarcitas; y la Formación Cosoltepec de esquistos pelíticos, psamíticos, cuarcitas, roca verde y metapedernal. Las rocas originales de este subgrupo a juzgar por sus componentes, debieron corresponder a una secuencia marina probablemente pelágica, de grauvacas, lutitas, pedernales y escasos carbonatos, asociada con volcanismo e intrusiones básicas durante ciertos lapsos.

El Subgrupo Acateco, estructuralmente superior, incluye a dos Formaciones: Xayacatlán y Tecomate. La primera está constituida por un conjunto petrográfico metaofiolítico de serpentinita, metagabro, anfibolita, eclogita y esquistos verdes con intercalaciones metasedimentarias. La segunda contiene psamitas y semipelitas bandeadas, metagrauvas y conspicuos niveles de metaconglomerado y metacalizas, con algunos fragmentos fósiles. La litología indica un origen marino de ambiente somero en virtud a los fósiles preservados (invertebrados marinos y crinoides).

Ortega (op. Cit.), incluye originalmente en este subgrupo a una unidad metagranítica. Los Granitoides Esperanza, las cuales están constituidas por rocas graníticas, aplíticas y pegmatíticas cataclaseadas en diferentes grados, con complejas relaciones entre sí. Su litología y mineralogía (abundante turmalina y feldespatos marcadamente peritéticos), además de su composición química (similar a las granodioritas promedio) y sus relaciones estructurales internas, indican un origen plutónico con una o varias intrusiones sintectónicas ocurridas durante el Paleozoico Temprano al nivel del Subgrupo Acateco.

Dentro del área estudiada se encuentran buenos y amplios afloramientos del Complejo Acatlán, donde físicamente se encuentran separados por un afluente del Río Acatlán. Con base al análisis litológico se infiere que la unidad metamórfica pertenece al Subgrupo Acateco, correspondiente a la Formación Xayacatlán.

Las rocas metamórficas presentan diferentes datos de foliación; hacia al NE de la zona de estudio la litología está representada por esquistos de color verde oscuro al intemperismo y verde claro al fresco, se aprecia foliación de los minerales, con una actitud de foliación al NE-SW con inclinación de 40 a 90°; al E encontramos una semejante litología pero está caracterizada por esquistos con gran abundancia de micas de tipo muscovita y un gneiss, de coloración rosa parduzco por intemperismo, con inclusiones de cuarzo y feldespato potásico, son subredondeados a redondeados, con diámetros de 0.2 a 3 [cm], los metaclastos se presentan orientados en sentido de la estratificación, con foliación al N21°W con inclinación de 59° al NE; presenta horizontes de cuarzo bandeado, con espesores que varían de 5 a 10 [cm] (*Figura 2.3*).



Figura 2.3 Afloramiento del Complejo Acatlán, ubicado a orillas del Río Acatlán, en las cercanías del poblado La Herradura.

La litología es diferente hacia el oeste entre los poblados de Xantoxtla y El Tempexquixtle, hasta el Cerro El Mirador, donde aflora una unidad metasedimentaria que presenta una coloración al intemperismo café pardo. Con base a la textura se considera que el protolito son lutitas y areniscas de grano fino, por lo que corresponden con metalutitas y metareniscas; se presentan con alto grado de intemperismo. La estratificación es casi vertical con rumbo preferencial al N15°W con inclinación de 58° a 61° al NE. Presenta deformación con micropliegues angulares tipo kink, correspondientes con metalutitas y metareniscas con tamaño de hasta 4 [cm] de longitud.

Descripción microscópica. Se identificaron tres tipos de rocas que corresponden con esquistos de muscovita, gneiss y metareniscas.

- Esquisto

Muestra CA-1, con contenido mineralógico de mayor a menor porcentaje de clorita, cuarzo, feldespatos, plagioclasa y muscovita; además de algunos cristales de epidota. Se clasifica como un esquisto de clorita (Figura 2.4).

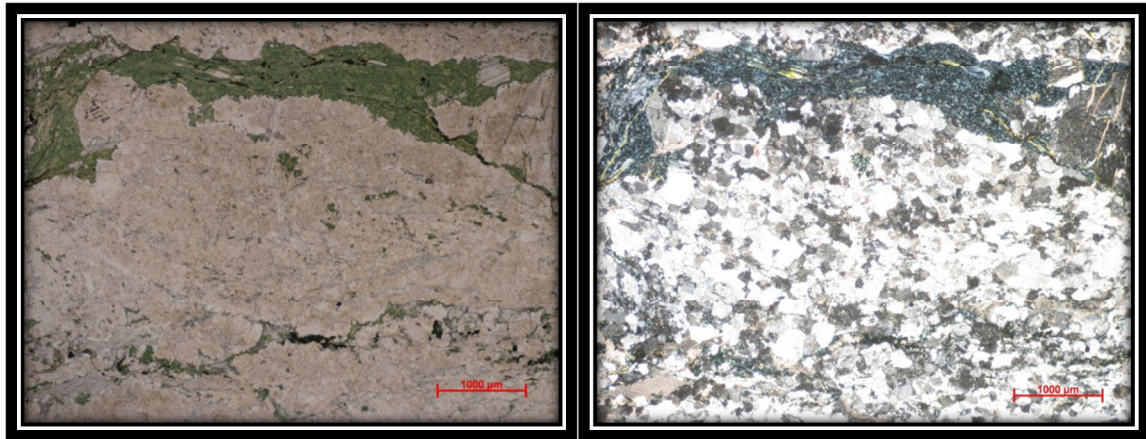


Figura 2.4 Muestra CA-1, vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

- Gneiss

Muestra CA-2, presenta un contenido mineralógico de feldespatos en mayor porcentaje, además de clorita, micas (biotita y muscovita) y epidota; así mismo presenta sericita. Se clasifica como gneiss feldespático (*Figura 2.5*).

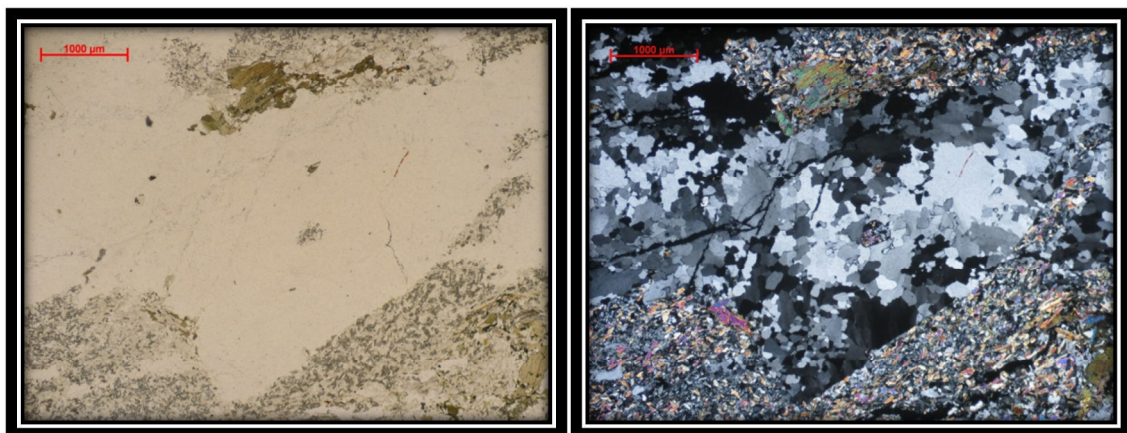


Figura 2.5 Muestra CA-2 vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

- Metasedimentario.

Muestra CA-3, constituida por un contenido mineralógico de mayor porcentaje de calcita, además de clorita, biotita y opacos, clasificándose como roca metasedimentaria (*Figura 2.6*).

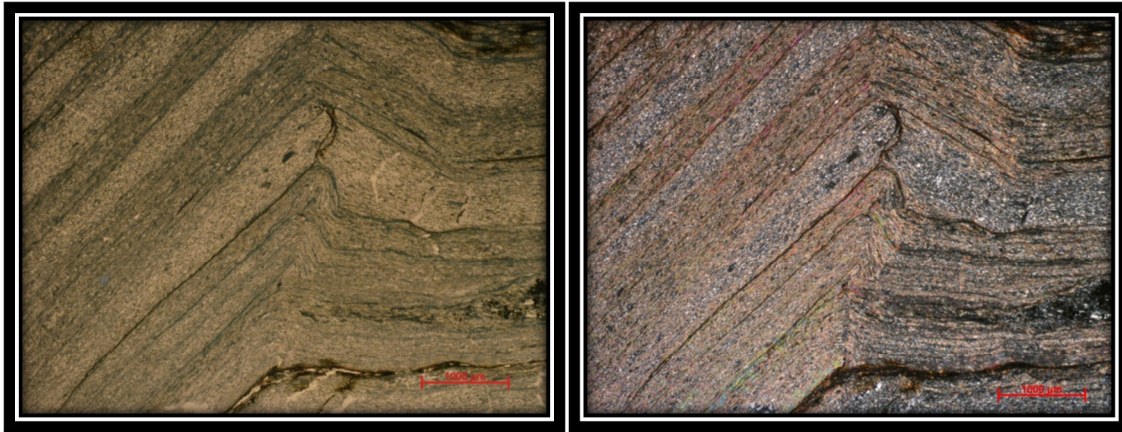


Figura 2.6 Muestra CA-3 vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

Relación estratigráfica. De acuerdo a Vázquez (1986), el contacto inferior no se conoce. En la región de Tehuacán, Puebla, el Complejo Acatlán se encuentra cubierto en discordancia por la Formación Matzizi del Pensilvánico; por la Formación Los Arcos en el noreste de Guerrero, y por una unidad marina del Paleozoico Superior al sureste de Izúcar de Matamoros.

En el área de estudio, en las cercanías del poblado Peña Colorada, este complejo se aprecia su contacto superior de manera discordante con la Formación Cuxtepeque y con el Conglomerado Peña Colorada y al noreste con la Formación Tecamazuchil. Se encuentra emplazado por un cuerpo ígneo afanítico de composición intermedia que se localiza en la parte centro de la zona.

Correlación. De acuerdo a Ortega (1981), el Complejo Acatlán se correlaciona con el Grupo Chuacús (Guatemala) y con gran parte de las rocas metamórficas de la Sierra de Omoa (Honduras), con las cuales presenta muchas semejanzas litológicas, estructurales y cronológicas. Además, existen diversas similitudes litológico-estructurales y tectonoestratigráficas entre el Complejo Acatlán y el Esquisto Granjeno de la región de Ciudad Victoria, Tamaulipas (Carrillo, 1961; Denison *et. al.*, 1970; Ramírez, 1974; De Cserna *et. al.*, 1977; Ortega, 1978a) que permite considerar a estas dos secuencias correlativas entre sí.

Paleontología. Ortega (1978) reporta para la Formación Tecomate una colección de fósiles preservados de tipo invertebrados marinos y crinoides.

Edad. La edad precisa del Complejo Acatlán es debatida por los autores que lo han estudiado, debido a sus fechamientos geocronológicos que varían del Precámbrico Tardío al Pérmico, tal como lo reportan Fries y Rincón, (1965); Fries *et. al.*, (1960 y 1970); Halpern *et. al.*, (1974). Mientras que Ruíz (1970) y Cserna *et. al.*, (1980) proponen que se encuentra entre el Cámbrico y Devónico, con dos isócronas de Rb-Sr correspondientes al Ordovícico y una al Devónico, respectivamente, dicho por cada autor.

2.1.1.2 FORMACION CUXTEPEQUE.

Definición. Enciso de la Vega (1988), propone formalmente a esta formación, la cual tiene su localidad tipo en afloramientos ubicados en una franja norte-sur en la ladera occidental del cerro El Cuxtepeque, en las inmediaciones del poblado Peña Colorada, Puebla. Esta franja de rocas sedimentarias marinas tiene un desarrollo de aproximadamente 3 [km] de longitud, es paralela al cerro antes mencionado y su anchura máxima expuesta es cercana a los 400 [m]. A esta secuencia la describe como una unidad conformada por conglomerado, lutita-yeso, lutita-arenisca y caliza, que se acuña entre rocas metamórficas. Los tipos litológicos más constantes lateralmente son un intervalo de caliza gris con crinoides y un conglomerado de cuarzo. Dicho autor reporta evidencias micropaleontológicas consideradas del Leonardiano Medio-Tardío.

Litología. De acuerdo a Enciso de la Vega (1988), esta secuencia sedimentaria consiste en un conglomerado de cuarzo, constituida en un 80% de fragmentos de cuarzo, 5% de líticos de rocas metamórficas y el resto por una fracción arenácea cuarcítica, fuertemente cementada por sílice, que localmente presenta alineación de clastos. Los fragmentos de cuarzo son de origen ígneo y metamórfico. Sobre este conglomerado sobreyace una secuencia de lutita, arcilla-yeso y arenisca que se encuentran interestratificados con dos horizontes de calizas, el primero es una caliza gris crinoidal, el cual consiste en dos bancos calcáreos hasta de 3 [m] de espesor, formados por caliza gris de grano grueso con abundantes restos de crinoides, algo silicificada y cementada por calcita, y el segundo se compone de caliza crema oolítica que consiste en un paquete calcáreo,

aparentemente discontinuo hasta de 2 [m] de espesor, presenta coloraciones tenues de café claro en roca fresca y amarillento al intemperismo. En algunos afloramientos presenta pequeños nódulos y desarrollos irregulares de pedernal, de color café. Los cuerpos de arcilla, lutita y lutita arenácea son de color oscuro, gris mediano, verde y morado; éstas alternan con capas delgadas de arenisca gris en sucesión rítmica, así como con intercalaciones de lutita carbonosa.

Con base en el trabajo de campo se encontró que esta secuencia sedimentaria marina consiste en un conglomerado de cuarzo, conformado por un 85% de cuarzo, 10% de esquistos, los clastos se presentan cementados por sílice, van de angulosos a subangulosos y su tamaño varía desde 0.5 a 5 [cm], en general se encuentran clastosoportados. Presenta una coloración blanca a beige clara al fresco y beige rojiza al intemperismo. Los estratos presentan nódulos y fracturas rellenas de óxido de hierro.

En la parte media se presenta una intercalación de areniscas con lutitas y yeso, en una secuencia rítmica de color beige, gris y amarillo claro, respectivamente, los estratos presentan espesores de 0.90 a 1.5 [m] aproximadamente. Hacia la cima se presentan 2 horizontes calcáreos con miliólidos, de color gris claro, con espesores de hasta 20 [m]. Uno de los horizontes presenta dolomitización.

Descripción microscópica. De las muestras obtenidas de esta formación, se analizaron 2 láminas de calizas, las cuales se clasificaron como mudstone y packstone.

La muestra FC-2 presenta en mayor porcentaje matriz de micrita, se compone por pelets, contiene también pequeños cristales de cuarzo y clorita, además de espatita como cementante. Presenta una textura tipo packstone, clasificándose también como pelespatita (*Figura 2.7*).

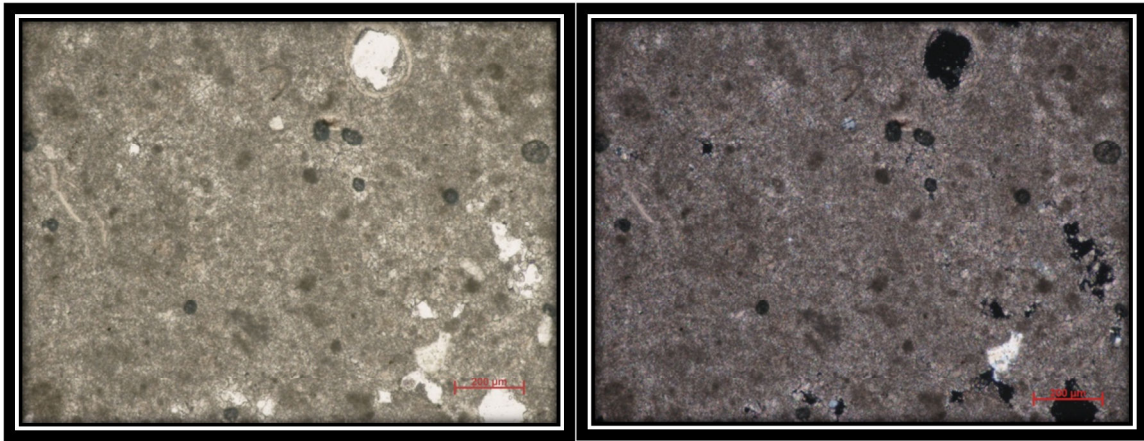


Figura 2.7 Muestra FC-2 de caliza vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

La muestras FC-3, está constituida en mayor porcentaje por lodo como matriz, con un porcentaje menor al 10% de aloquímicos como pelets. Se observa la presencia de calcita como relleno de fracturas y recristalizando, además de espatita. La muestra se clasifico como mudstone (Figura 2.8).

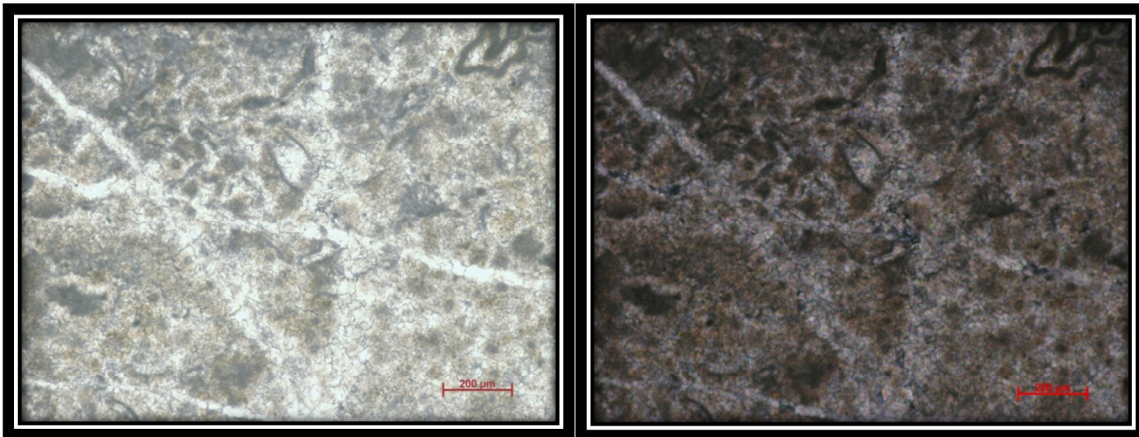


Figura 2.8 Muestra FC-3 que corresponde con una caliza mudstone vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

Espesor. Según Enciso de la Vega (1988), el espesor de esta formación no logro ser definido, debido a las variaciones laterales presentes en campo. En este trabajo, de acuerdo al afloramiento presente en el área de estudio, se considera un espesor aproximado de 60 [m].

Características Estructurales. De acuerdo a Enciso de la Vega (1988), la secuencia sedimentaria marina que aflora en el Cerro Cuxtepeque presenta una orientación de norte-sur, los estratos son casi siempre verticales y orientados paralelamente al rumbo de la foliación general del Complejo Acatlán. En el área de estudio la unidad presenta estratificación con rumbo N04°E con inclinación de 40° al SE.

Relación Estratigráfica. Enciso de la Vega (1988), define en su localidad tipo que la Formación Cuxtepeque se encuentra suprayaciendo al Complejo Acatlán de manera discordante angular. En el área de estudio se observa un contacto inferior con el Complejo Acatlán por medio de una discordancia angular; su contacto superior no es visible debido a la erosión afectada en la zona, sin embargo, con base a la distribución estratigráfica en campo se propone un contacto concordante con el Conglomerado Peña Colorada.

Ambiente. Enciso de la Vega (1988) propone que el depósito ocurrió en un ambiente principalmente de sedimentación nerítica cercana a la costa, mientras que la presencia de evaporitas sugiere desarrollos ocasionales de barreras que restringieron su comunicación al mar, desarrollados sobre un margen continental pasivo con acumulación de sedimentos en el mar abierto y evaporitas en el mar cerrado. La parte basal de esta formación sugiere actividad tectónica de levantamientos en el continente. En cuanto a la secuencia cíclica de areniscas y lutitas podría atribuirse a cambios climáticos más que a efectos de diastrofismo. La presencia de yeso, caliza y pedernal oolítico sugiere la existencia de una zona litoral de alta energía con abundante evaporación.

Paleontología. Las evidencias de fósiles determinadas por Enciso de la Vega (1988), en el área de Progreso Peña Colorada son de Fusulínidos, habiéndose identificado las especies *Schwagerina cf. gruperaensis* Thompson y Miller y *parafusulina cf. P. durhami* Thompson y Miller.

Edad. Con base en estudios micropaleontológicos Enciso de la Vega (1988), considera que las rocas Pérmicas de la Cuxtepeque son del Leonardino Medio-Tardío.

Correlación. Enciso de la Vega (1988) propone que la Formación Cuxtepeque es correlacionable cronológicamente con la Formación Guacamaya de Hidalgo, la Formación Paso Hondo de Chiapas, la Formación Chochal en Guatemala, probablemente representan el equivalente infralitoral de la Formación Los Arcos (Olinalá) en Guerrero y la Formación Patlanoaya al sureste de Izúcar de Matamoros, Puebla.

2.1.2 MESOZOICO.

Las rocas del Jurásico Inferior en el área de estudio están compuestas por facies continentales, las cuales descansan discordantemente sobre esquistos, gneisses y granitos que gradualmente pasan hacia arriba a capas continentales y marinas mezcladas del Jurásico Medio y Superior. Las rocas del Jurásico Medio consisten de conglomerados, areniscas, lutitas y horizontes delgados de carbón interestratificados de color oscuro. Las rocas del Jurásico Superior son principalmente de origen marino. Estas formaciones son notables por la uniformidad de sus características litológicas en grandes áreas. El cambio de los sedimentos predominantemente litorales en la parte inferior de la secuencia y sedimentos predominantemente marinos profundos en la parte superior, sugiere que las aguas marinas se extendieron más ampliamente sobre la Tierra (transgresión) durante el subperiodo y fueron más extensos que durante el Jurásico Inferior. El clima debió haber sido húmedo y cálido, por lo menos en ciertas estaciones de la mayor parte del sur de México (Imlay, 1953).

En este periodo del Jurásico, las formaciones representativas son el Conglomerado Peña Colorada, la Formación Tecmazuchil, la Formación Chimeco y la Formación Mapache.

2.1.2.1 JURÁSICO INFERIOR.

2.1.2.1.1 CONGLOMERADO PEÑA COLORADA.

Para fines de justificar una nueva unidad estratigráfica informal, se describen a continuación las principales características del Conglomerado Cualac y posteriormente las que caracterizan al Conglomerado Peña Colorada.

2.1.2.1.1.1 CONGLOMERADO CUALAC.

Guzmán (1950) nombra a una unidad equivalente en posición estratigráfica como Cuarcita Cualac y la describe como una cuarcita casi pura formada de cuarzo lechoso con clastos de 2 a 3 [cm] de diámetro, con escasos clastos de 15 a 20 [cm] de diámetro; se encuentra cementada por sílice y presenta estratificación gruesa a masiva. Erben (1956) define con el nombre de Conglomerado Cualac, a las rocas que Guzmán (1950) llamó Cuarcitas Cualac, tomando el nombre de Cualac, Gro., la población principal dentro del área de afloramiento de estos conglomerados, asignándole una edad Aaleniana. Jiménez y Rueda (2002) reconocen dentro de esta unidad depósitos marinos intercalados. Posteriormente Jiménez (2004) la describe con base en su composición cuarcítica como único elemento petrológico predominante, dándole el nombre de Formación Cuarcítica Cualac.

Erben (1956) reporta a esta formación de conglomerados con matriz general cuarcítica dura, gris, a veces algo amarillo, que muestra una estratificación mediana hasta casi gruesa; este conglomerado está compuesto casi exclusivamente de guijarros de cuarzo blanco lechoso, que muestra diámetros entre 0.5 y 5 [cm]; de manera subordinada también se presentan guijarros de esquistos y de gneisses que proceden del complejo basal metamórfico. Contiene bancos de conglomerado en varios niveles, también presenta intercalaciones de estratos de limolitas y areniscas finas, pardas hasta amarillentas de estratificación delgada. Petrográficamente la roca es un conglomerado de guijarros y matatenas.

Corona (1978, 1981) describe al Conglomerado Cualac como una unidad compuesta de un conglomerado de matriz cuarcítica, cuyos componentes principalmente de guijarros de cuarzo blanco lechoso de unos milímetros hasta 20 centímetros de diámetro, en menor cantidad contiene guijarros de mica-esquisto y de gneiss; en algunos niveles se intercalan estratos delgados de limonita y arenisca de grano fino.

Jiménez (2004), posteriormente dividió a la secuencia del Conglomerado Cualac en dos intervalos: el inferior conglomerático, que se compone de clastos de cuarzo subangulosos a subredondeados y el superior brechoso, con fragmentos de cuarzo subangulosos y de menor tamaño; además

reporta la presencia de flujos cuarcíticos los cuales se van adelgazando hasta pasar a capas de areniscas finas de cuarzo. Considera que la unidad tiene tanto brechas como conglomerados; las brechas se distinguen por tener todos sus clastos angulosos.

Los espesores reportados para el Conglomerado Cualac presentan gran variación en sus diferentes afloramientos, Guzmán (1950) reporta un espesor de 400 [m] al oeste del poblado de Cualac, el cual disminuye hacia el norte y sur. Erben (1956) considera que su espesor varía entre 30 y 80 [m]. Larrabe y Cárdenas (1982) reportan un espesor que varía de 50 a 120 [m] en las cercanías de Cualac. Corona (1981) reporta un espesor de 30 a 200 [m].

De acuerdo a Guzmán (1950), Erben (1956a), Larrabe y Cárdenas (1982), describen que el Conglomerado Cualac sobreyace de forma discordante a rocas del Complejo Acatlán. Así mismo, Corona (1983) y González *et. al.*, (1994) reportan que esta unidad sobreyace discordantemente a la Formación Olinalá. En Guerrero Erben (1956a), Quezada (1970), Benavides (1978), Larrabe y Cárdenas (1982) y Corona (1983), reconocen que esta unidad subyace concordantemente al Grupo Tecocoyunca. Fitz *et. al.*, (2002) documenta en el sur de la Plataforma Guerrero-Morelos que el Conglomerado Cualac subyace a la Formación Zicapa.

Erben (1956a,b) infiere a partir de las características litológicas del Conglomerado Cualac un ambiente de depósito fluvial, mientras que Carrasco (1981) propone que el depósito ocurrió en un ambiente continental en un subambiente de corrientes fluviales con épocas torrenciales, en un área de topografía baja (graben) asociado a cierta actividad tectónica manifestada por procesos de deformación con extensión.

Para el Conglomerado Cualac, Guzmán (1950) y Erben (1956b) mencionan la ausencia de fósiles, sin embargo, Jiménez y Rueda (2002) registran la existencia de palinomorfos para esta unidad.

Guzmán (1950) propone una edad de Triásico-Jurásico Temprano para el Conglomerado Cualac, con base en su posición estratigráfica. Así también, Erben (1956a, b) infiere a partir de sus relaciones estratigráficas una edad de Jurásico Medio (Aaleniano-Bajociano). Mientras que

Jiménez y Rueda (2002) asignan una edad de Jurásico Temprano (Pliensbachiano)-Jurásico Medio (Aaleniano) con base en su contenido palinológico.

La correlación del Conglomerado Cualac con unidades de edad equivalente en la región centromeridional de México, se ve dificultada por la imprecisión que existe en la edad de esta formación y de alguna de estas unidades. El principal criterio usado ha sido la posición estratigráfica y en segundo lugar la semejanza litológica. Guzmán (1950) propone la correlación de esta unidad con el conglomerado de cuarzo encontrado por Salas (1949) en Oaxaca, el cual sobreyace al Complejo Acatlán. También propone la correlación del Conglomerado Cualac con los conglomerados del Cañón de Tomellín en Oaxaca. Jiménez y Rueda (2002) y Rueda (2004), proponen que esta unidad presenta una correlación cronoestratigráfica con las formaciones Rosario de la Cuenca Tampico-Misantla y con la Formación Tenango.

Sin embargo, comparando las características descritas posteriormente con las del área de estudio, la unidad conglomerática no corresponde al Conglomerado Cualac; por lo que se propone en este trabajo el nombre de “Conglomerado Peña Colorada” para esta unidad y como localidad tipo el afloramiento ubicado al occidente del área de estudio con coordenadas UTM 14Q 574, 537 [mN]; 1, 993,862 [mE], entre los poblados de Tezoquipa y Peña Colorada (*Figura 2.1*).

2.1.2.1.1.2 CONGLOMERADO PEÑA COLORADA.

Litología. Con base en el estudio en campo realizado en el área de Tecamatlán, Puebla, esta unidad consiste en una secuencia clástica, representada por la intercalación de conglomerados gruesos y conglomerado finos, cuyas características generales en su parte basal corresponden a un conglomerado grueso, constituido por clastos de cuarzo metamórfico blanco, con diámetros de clastos que varían desde 0.05 a 25 [cm], que van de angulosos a subangulosos, con una abundancia del 60%; también contiene clastos de esquisto con diámetros que van desde 1.5 a 12 [cm] los que se presentan con una abundancia del 30%, cuyos estratos presentan matriz de arena fina del 10% en abundancia; dichos clastos se encuentran clastosoportados y en su mayoría presentan una orientación preferencial paralelas a la estratificación, los estratos presentan espesores de 0.40 a 0.90 [m]. La parte superior consiste de un conglomerado fino, constituido por

cuarzo metamórfico blanco lechoso, cuyos clastos van de angulosos a subangulosos, con diámetros entre 0.5 [cm] a 2 [cm], con una proporción del 40%; también contiene clastos de esquistos angulosos a subangulosos con diámetros de 0.1 a 6 [cm], con una abundancia del 30%; en menor proporción se tienen clastos de gneiss, subangulosos con diámetros de 0.5 a 4 [cm], que representan un 10% de abundancia. La matriz tiene aproximadamente un 20% de abundancia. Dichos clastos presentan orientación preferencial paralela a la estratificación. Esta secuencia presenta hacia la cima estratos con estratificación caótica, así como lentes de cuarzo blanco, subangulosos con diámetros de 8 a 20 [cm] y horizontes de limolita con espesores de 15 y 45 [cm] respectivamente.

Espesor. En la sección medida al occidente del poblado Peña Colorada, el espesor total de esta unidad de rocas sedimentarias clásticas es de 56.90 [m] (*Figura 2.9*).



Figura 2.9 Afloramiento del Conglomerado Peña Colorada, ubicado entre los poblados de Tezoquipa y Peña Colorada.

Características Estructurales. En el área de estudio la unidad litoestratigráfica presenta una orientación preferencial al NE con inclinaciones de 32° a 40° al SE. Esta unidad se encuentra afectada por un conjunto de fallas normales, casi verticales con rumbo NW-SE, hacia la cima se presenta un sistema de fallas laterales derechas con orientación al NW.

Relación Estratigráfica. Con base en el estudio en campo, se define que el contacto inferior del Conglomerado Peña Colorada es discordante con el basamento metamórfico y concordante con la Formación Cuxtepeque, mientras que su contacto superior con base a su distribución estratigráfica se deduce concordante y transicional con la Formación Tecomazuchil.

Ambiente. El Conglomerado Peña Colorada se encuentran relacionado a una zona con un relieve disconforme, debido a levantamientos bruscos asociados a la etapa temprana de la formación de un graben. En la parte inferior, los sedimentos fueron depositados en la parte proximal de un abanico aluvial, esto se interpreta tomando como base la forma angular a subangular de los clastos, los cuales se presentan clastosoportados. En la parte superior se encuentra un variado tamaño de clastos angulosos de hasta 20 [cm] de diámetro, aislados en una matriz arenosa y presencia de estructuras de carga, lo que indica grandes flujos de escombros, formados por potentes flujos de agua, originados por lluvias intensas en el relieve abrupto que existía en zonas próximas al área de sedimentación.

Paleontología. En el área de estudio las evidencias de fósiles encontrados y reportados por Velasco de León y colaboradores (2011) en esta unidad son las Bennettitales pertenecientes a los géneros *Zamites*, *Otozamites*, además de *Mexiglosa varia*, Helechos y Coníferas de tipo *Elatocladus* (Tabla 2.1).

Géneros			
Cycadeoidaceae	Bennettitales	Otozamites	hespera
		Zamites	oaxacensis
			tribulosos
			feneonis
Incenrtae sedis	Mexiglosa	Mexiglosa	varia
Dicksoniaceae	Helecho	Gonatosorus	sp.
Coniferales	Conífera	Elatocladus	sp.

Tabla 2.1 Colección de fósiles recolectados en el afloramiento del Conglomerado Peña Colorada, en su localidad tipo (Velasco de León y colaboradores, 2011).

Edad. Con base a los organismos fósiles encontrados como: coníferas de tipo *Elatoclaus* fechado para el Jurásico Inferior (Weber, 1980), además de contener *Zamites*, *Otozamites*, *Mexiglosa varia* y Helechos del Jurásico Medio (Silva, 1988) y por su posición estratigráfica se infiere una edad del Jurásico Inferior y Medio.

Correlación. Para correlacionar el Conglomerado Peña Colorada que aflora en el área de estudio, con otras unidades de edad equivalente en la región del centro de México, se toma como criterio principal la posición estratigráfica discordante sobre el Complejo Acatlán, por lo que se correlaciona con la Formación Yogana del área de Nochistlán, Oaxaca (Wilson y Clabaugh, 1970), con el Conglomerado Numi de Tlaxiaco, Oaxaca (Corro y Ruiz, 2011) y con la parte basal del Conglomerado Cualac, en Guerrero.

2.1.2.2 JURÁSICO MEDIO.

2.1.2.2.1 FORMACIÓN TECOMAZUCHIL.

Definición. Pérez y colaboradores (1965) denominan como Formación Tecomazuchil a una secuencia de conglomerados, areniscas y limolitas, de origen continental; los colores que predominan en las capas de arenisca y arenisca conglomerática son: marrón amarillento y marrón crema, en menor proporción se presentan colores rojizos y grises claros. La base de esta formación presenta cuerpos conglomeráticos con una matriz arenosa, intercalados con capas gruesas de conglomerado con clastos de cuarzo metamórfico subredondeados, elongados y en menor proporción clastos de esquisto y arenisca, que descansan en discordancia angular sobre el Complejo Acatlán, el cual aflora al este de las rancherías de Santa Cruz y Texcalapa.

Caballero (1990), considera a la formación como la base de la columna Mesozoica. Propone que la Formación Tecomazuchil se divida en dos subunidades debido a que existe una discordancia angular y diferencias en el grado de cementación de la formación. Donde en menor proporción, se presentan capas de limolita y conglomerado arenoso, de poca persistencia lateral. Dicha autora reporta en fracciones arenosas restos de flora fósil, estructuras de arrastre y estratificación cruzada, lo que indica cambios en la dirección durante la acumulación de sedimentos.

Morán *et. al.*, (1988) reporta para esta secuencia la presencia de estratificación cruzada, estructuras de corte y relleno. Los estratos conglomeráticos en sección transversal son lenticulares y forman cuerpos en forma de cintas.

Litología. De acuerdo a Ortega (1978), el conglomerado basal se distingue por su aspecto masivo y por consistir principalmente de fragmentos de cuarzo blanco y esquistos derivados del Complejo Acatlán. La parte superior de la Formación Tecomazuchil por encima del conglomerado cuarzoso es francamente arenosa; las capas superiores son areniscas amarillentas, algo calcáreas, en estratos delgados, con espesores máximos de unos 40 [cm]. Hacia abajo, se tiene una secuencia de areniscas arcósicas color rosa y verde con interestratos de limolitas verdes, moradas, grises y amarillentas. Las areniscas muestran frecuentemente diastratificación con fuertes inclinaciones, y algunos estratos contienen estructuras fósiles que semejan huellas de gusanos. Infrayace a una sección una serie de capas conglomeráticas que incluyen un fragmento de tronco de madera fosilizado de 2 [m] de largo y 40 [cm] de diámetro.

Caballero (1990) propone que la parte basal presenta un cuerpo conglomerático-arenoso, que se compone de capas muy gruesas de conglomerado con clastos elongados, cuyos ejes largos son de 25 [cm] y más grandes, principalmente de cuarzo subredondeado, y en menor proporción de rocas metamórficas y areniscas, incluidos en una matriz arenosa; alternan con capas de areniscas conglomeráticas. El resto de la formación está constituida por una secuencia detrítica arrítmica, de colores amarillentos y rojizos, en la que predominan capas de areniscas conglomeráticas, de poca persistencia lateral. En proporciones decrecientes ocurren capas de limolitas arenosas, conglomerados arenosos y limolitas, también de poca persistencia lateral. Dicho arreglo está presente en toda la formación y especialmente en las fracciones arenosas, en capas donde se ubican restos de flora fósil, diastratificación y algunas estructuras de arrastre. Las fracciones conglomeráticas ocurren conformando cuerpos lenticulares y cintas en las que también se observan megaestructuras de diastratificación.

Silva (1978) describe a esta formación como una secuencia de conglomerado cuarzoso y alternancia de areniscas, limolitas y lutitas de origen continental, de color beige a rojizo morado (Ortega, 1978a).

Con base en el estudio en campo, en la parte basal de esta formación se tiene una litología de carácter sedimentario clástico, constituida por una unidad que corresponde a un conglomerado polimíctico soportado por una matriz de arena gruesa con estratificación gradada normal, con espesores de estratos entre 0.30 a 0.80 [m], se compone de clastos de cuarzo blanco, el cual constituye el 60% de abundancia; con diámetro desde 0.5 hasta 9 [cm], cuyos clastos van de subredondeados a redondeados; de manera subordinada, también se presentan clastos de esquisto verdoso y pedernal. En el caso de los fragmentos de esquistos la abundancia es del 35%, se presentan diámetros que varía de 0.5 a 12 [cm] de forma subangulosa a subredondeada; el pedernal se encuentra en menor proporción al 5%, presenta diámetros con variaciones de 0.2 a 5 [cm]; de forma subangulosa a subredondeada (*Figura 2.10*).

En la base de los estratos se presentan estructuras primarias de carga, paleocanales y “flute cast”, con una orientación al N46°W; 09°, así como también se observan estructuras por bioturbación (*Figura 2.11*).

En la parte superior de la unidad, la abundancia de clastos disminuye y aumenta la presencia de micas en la matriz. La litología cambia de carácter presentando una alternancia de arenisca fina con conglomerado grueso a medio, presentando paquetes que varían de 0.14 a 0.78 [m] de espesor, los cuales presentan niveles de lutita carbonosa, que van de 5 a 20 [cm] de espesor; también contiene horizontes de carbón de hasta 0.66 [m] de espesor (*Figura 2.12*). Seguido de una alternancia de limolitas verdes y rojas (*Figura 2.13*) con arenisca fina (*Figura 2.14*), la cual contiene costras y nódulos de Fe (*Figura 2.15*).



Figura 2.10 Conglomerado polimíctico grueso, constituido de cuarzo, esquisto y pedernal que pertenece a la Formación Tecomazuchil, a orillas del Río Acatlán, entre el poblado de La Herradura y El Porvenir.



Figura 2.11 Estratos de la Formación Tecomazuchil que rellenan un paleocanal con estructuras de carga y bioturbación, localizados sobre la Barranca La Mina.



Figura 2.12 Horizontes de carbón en una secuencia de areniscas de la Formación Tecomazuchil, localizados en la Barranca La Mina.



Figura 2.13 Estratos de limolita arcillosa con laminación paralela, de la Formación Tecomazuchil.

Las areniscas contienen estructuras de carga, estratificación cruzada y paralela (*Figura 2.16*), así como también se observa laminación paralela, en estratos con un espesor de 10 a 45 [cm]. En la parte superior de este nivel se identifica dos estructuras de carga correspondientes y “flute cast” (*Figura 2.17*), con orientaciones S20°E; 55° y S19°E; 68°.



Figura 2.14 Alternancia de arenisca fina con limolita, perteneciente a la Formación Tecomazuchil, localizada a faldas del Cerro Chicaltepec, entre el poblado de La Herradura y El Porvenir.



Figura 2.15 Nódulos de pedernal dentro de una secuencia de areniscas de la Formación Tecomazuchil.



Figura 2.16 Estratificación cruzada y paralela en areniscas de la Formación Tecomazuchil, sobre la Barranca La Mina.



Figura 2.17 Estructuras de carga y flute cast en arenisca, observadas en la Formación Tecomazuchil, a faldas del Cerro Chicaltepec, entre el poblado de La Herradura y El Porvenir

Espesor. De acuerdo con Pérez y colaboradores (1965), en las cercanías de Santa Cruz-Texcalapa, se le calculó un espesor de 735 [m] en su localidad tipo, así como también reporta para el área de Ayuquila, dicha formación en su parte inferior muestra una secuencia adicional de capas clásticas ricas en flora fósil alcanzando así un espesor mínimo estimado de 1,000 [m] y un espesor máximo superior a 2,000 [m]. Grimaldo (2010) reporta en las proximidades hacia el oriente del poblado Santiago Chilixtlahuaca, Oaxaca, desde la base en el contacto del Complejo Acatlán hasta la cima en el contacto con la Formación Chimeco un espesor de 705 [m].

Caballero (1990) divide a esta formación en la subunidad 1 y la Formación Tecomazuchil lo cual, a partir de ello, estimó alrededor de 1500 [m] para la subunidad 1 y de 700 a 1,200 [m] para el resto de la formación.

En la sección medida sobre la Barranca La Mina, localizada entre el poblado de la Herradura y el Porvenir, a faldas del Cerro Chicaltepec y a orillas de un afluente del Río Acatlán, la Formación Tecomazuchil presenta un espesor de 79.78 [m] a partir de la base, sin llegar a la cima ya que no se tienen afloramientos adecuados para medir la columna completa. Sin embargo, se realizó el cálculo analítico del espesor complementario, obteniendo como resultado un espesor de 148.49 [m]. A partir de lo anterior se obtuvo un espesor total para la Formación Tecomazuchil de 228.27 [m] en el área de estudio.

Características estructurales. La orientación del conglomerado corresponde con un rumbo N28°W con inclinación 26° al NE; los estratos intercalados de arenisca, limolita y lutitas respectivamente, presentan una orientación general al N20°W con inclinación de 31° al NE. En la parte superior de la formación se presenta una fallas laterales derechas con orientación al S10° E; 57° y S62°E; 60°.

Relaciones estratigráficas. En la región de Texcalapa su contacto superior es concordante y transicional con la Formación Chimeco de edad Oxfordiana; hacia el sur del área, cerca del poblado de El Limón, se observa su contacto mediante discordancia angular entre la “subunidad 1” de la Formación Tecomazuchil con la Formación Chimeco. Para el resto del área, el contacto superior es discordante (angular de bajo grado a casi paralela) con diversas unidades mesozoicas:

en el sector Santiago Chilaxtlahuaca-Los Sabinos, su contacto superior es con la Formación Teposcolula del Cretácico; en Los Sabinos-S. Fco. Yosocuta, su contacto es con la unidad Solano del Jurásico Superior; y en el área de San Miguel Papalutla, con la unidad homónima del Cretácico Inferior (Pérez *et. al.*, 1965).

Caballero (1990) reporta para la zona de Huajuapán-Petlalcingo, que su contacto inferior es con el Complejo Acatlán, el cual es discordante en la mayor parte de la mitad norte del área, en tanto hacia el sur, en Santiago Chilixtlahuaca-S. Francisco Yosocuta, se interpreta tectónico, por medio de un sistema de fallas normales similares de crecimiento.

Con base al estudio en campo su contacto inferior se presenta al noreste de manera discordante angular y al noroeste por una falla normal con el Complejo Acatlán, mientras que su contacto superior es inferido concordante transicional por su posición estratigráfica con la Formación Huajuapán.

Ambiente. Dada su geometría general y características sedimentológicas, se interpreta un sistema fluvial con a) desarrollo de canales y posibles intercalaciones de abanicos aluviales en facies distales (lo que correspondería a las fracciones conglomeráticas y arenosas gruesas) y b) desarrollo de planicies de inundación (fracciones limosas y arenas finas); ambos dispuestos de manera entrelazada. El conglomerado basal observado en el sector Texcalapa-Ayuquila, puede corresponder a una fase inicial de abanicos aluviales en facies proximales, depositados en el límite de un bloque alto y una fosa tectónica (Caballero, 1990).

Con base en las facies litológicas, estructuras sedimentarias y el contenido fósil encontrados, se interpreta que la unidad se acumuló en un ambiente fluvial de tipo meándrico, debido a que presenta una intercalación de material grueso hacia la base, representada por conglomerado y material más fino hacia la cima, constituido de areniscas, limolitas y lutitas. Además la flora fósil contenida dentro de la secuencia de sedimentos finos de la Formación Tecomazuchil, como las Bennettitales, indican una temperatura cálida; los helechos y equisetos se encuentran relacionados con relieves más bajos en las proximidades de los ríos. Este sistema presentó

periodos de alta energía con la correspondiente acumulación de sedimentación lo que originó la migración del cauce, teniendo como resultado un conjunto de canales abandonados, en los cuales se acumularon pequeños horizontes de materia orgánica vegetal, que dio lugar al carbón. Posteriormente se presentaron eventos donde hubo mayor precipitación pluvial, lo que originó periodos de inundación y favorecieron el intemperismo químico y mecánico, además de episodios de rápida sedimentación lo que permitió la preservación de los restos de flora fósil.

Paleontología. Silva (1978b) reporta la presencia de plantas fósiles del Jurásico Medio, consistentes en *Equisetites*, *Cladophlebis*, *Piazopteris* y varias especies de *Ptilophyllum*, *Otozamites* y *Zamites* en el área de Texcalapa y Ayuquila. Ortega (1989) reporta la presencia de *Otozamites hespera*, en Tecomatlán y *Ptilophyllum cutchense* reportada en la segunda en la Formación Tecomazuchil.

Con base al estudio de campo se obtuvieron evidencias fósiles (Tabla 2.2) en esta formación en 2 niveles, el primero hacia la base, específicamente en capas de lutitas con mica cerca de los horizontes de carbón, las cuales pertenecen al grupo de las Bennettitales de género *Zamites*, *Otozamites*, *Ptilophyllum* y *Pterophyllum*, además de Helechos, *Equisetum*, *Mexiglosa varia*, conos del género *Williamsonia* y Coniferales, el segundo se ubica hacia la cima en la intercalación de areniscas finas a gruesas y limolitas, en las cuales se encontró flora de tipo de las Bennettitales de género *Otozamites*, *Zamites*, *Ptilophyllum*, además de *Brachyphyllum*, estudiados por Velasco de León y colaboradores (2011).

		Genero	Especie
Cycadeoidaceae	Bennettitales	<i>Zamites</i>	<i>oaxacensis</i>
			<i>tribulosus</i>
			<i>feneonis</i>
			<i>lucerensis</i>
			<i>sp.</i>
		<i>Otozamites</i>	<i>hespera</i>
			<i>sp.</i>

		<i>Ptilophyllum</i>	<i>cutchense</i> <i>pulcherrium</i> <i>acutifolium</i> <i>sp.</i>
		<i>Pterophyllum</i>	<i>nathorstii</i> <i>sp.</i>
		<i>Sphenopteris</i>	<i>geopperti</i>
Dicksoniaceae		<i>Helecho</i>	<i>morfoespecie 5</i> <i>morfoespecie 9</i> <i>morfoespecie 1</i>
Equisetaceae		<i>Equisetum</i>	<i>sp.</i>
Incenrtae sedis	<i>Mexiglosa</i>	<i>Mexiglosa</i>	<i>varia</i>
Conos		<i>Williamsonia</i>	
Cheirolepadacease		<i>Brachyphyllum</i>	<i>sp.</i>
Coniferales		<i>Podozamites</i>	<i>sp.</i>

Tabla 2.2 Colección de fósiles recolectados de la Formación Tecomazuhil, en la Barranca La Mina, a faldas del Cerro Chicaltepec., entre el poblado de La Herradura y El Porvenir (Velasco de León y colaboradores, 2011).

Edad. Según Pérez *et. al.*, (1965) con base en su contenido fosilífero reportado en Petlalcingo-Texcalapa, donde solo aflora la parte inferior, le asigna una edad del Jurásico Medio.

Caballero (1990) propone con base a su relación estratigráfica con rocas oxfordianas de la Formación Chimeco una edad del Jurásico Medio.

La flora fósil encontrada en el área de estudio Tecamatlán, Puebla, comprende *Ptilophyllum*, *Zamites*, *Otozamites*, *Mexiglosa varia* y Helechos, estas son características de gran parte del Mesozoico, por lo que no ayuda mucho a determinar la edad precisa de esta formación. Por lo tanto se le asignara para este trabajo una edad del Jurásico Medio, con base a su relación estratigráfica y fechamiento en especies por Silvia (1978).

Correlación. De acuerdo a Silva (1978), la parte inferior es correlativa con el Conglomerado Cualac. Caballero (1990) en el área de Texcalapa, la considera contemporánea o parcialmente contemporánea con el Grupo Tecocoyunca, es posible que también se correlacione al menos, parcialmente con la secuencia continental reportada en Santa María Tejotepec, bajo rocas de probada edad Titoniana y sobre el Complejo Oaxaqueño (Conglomerado Peña del Sol y miembro Inferior de la Unidad Pueblo Viejo). Torres y Torres, (1984) propone que hacia el norte, en el área de Ixcaquixtla, se correlaciona con la Formación Otlaltepec.

2.1.2.3 JURÁSICO SUPERIOR.

2.1.2.3.1 FORMACIÓN CHIMECO.

Definición. Pérez y colaboradores (1965) designan como Caliza Chimeco a una secuencia de capas de caliza, entre Petlalcingo y Texcalapa, Puebla. El nombre de esta formación se tomó del Cerro Chimeco, que está formado de esta secuencia carbonatada, a lo que le asignan como localidad tipo, el cual está situado al norte del Arroyo Tecomazuchil a 5.6 [km] al oeste de Petlalcingo, Puebla.

Litología. La Caliza Chimeco consiste de calizas y calcarenitas, compactas y arcillosas en estratos medianos a gruesos de color gris pardusco y café que al intemperizarse adquiere un color amarillento; presenta estilolitas a lo largo de los planos de estratificación, los cuales son comunes. En la parte basal de esta formación encontramos caliza de color gris, interestratificada con limolita y caliza de color gris-pardo, en estratos medianos con algunas partes calcáreas; además de calcarenita de color gris pardo en estratos gruesos, interestratificada con limolita de color café pardo. Subiendo estratigráficamente se tiene una secuencia alternada de calizas arcillosas, calizas nodulares y calizas compactadas. Las capas gruesas son más comunes en la parte basal y algunas son oolíticas, mientras que en la parte superior, las capas tienden a ser algo más delgadas y arcillosas con abundante contenido de equinoides, espinas de estos, pelecípodos y huellas o rellenos de gusanos (Pérez *et. al.*, 1965).

Erben (1956 a) describe que en la base se presenta un cuerpo delgado de limolita arenosa y lutita de color purpura con porciones verdosas; el cual resulta de gran utilidad como marcador para reconocer las repeticiones debido a fallamiento normal que disloca a esta formación en conjunto

con la Formación Mapache, como sucede en la región de Chila de las Flores, Puebla, donde anteriormente se habían reportado afloramientos de la Marga Tilaltongo, sin reconocer esta secuencia Jurásica. Gutiérrez (2010) reporta que en la base de la Formación Chimeco, en las inmediaciones del poblado Chila de las Flores, se presenta un cuerpo calcáreo con capas de yeso intercalados, lo que se interpreta como una zona evaporítica tipo sabkha.

Espesor. Pérez *et. al.*, (1965) reporta un espesor de 92 a 100 [m] en su localidad tipo. De acuerdo a Caballero (1990), su espesor varía de 100 a 350 [m], adelgazándose hacia el sur hasta desaparecer por efecto de erosión a la altura de Santiago Chilixtlahuaca, Oaxaca.

Relaciones estratigráficas. Según Pérez *et. al.*, (1965) esta unidad sobreyace en contacto transicional a la Formación Tecomazuchil y subyace concordantemente a la Formación Mapache. Caballero (1990) describe que el contacto inferior con la Tecomazuchil no es transicional en toda el área, ya que hacia las inmediaciones de El Limón es por medio de una discordancia angular.

Ambiente. Con base a sus características, estas sugieren un ambiente litoral de alta energía en un inicio con aporte de corrientes fluviales, lo que propicio el depósito de las lutitas y las limolitas arenosas de la base, así como el desarrollo de ooespatitas y ausencia de fósiles en la parte inferior. Después la energía fue menor con influencia de agua dulce, en las cercanías de la desembocadura de una corriente fluvial, la que aportó mayor proporción de material fino al final, en virtud a la mayor cantidad de arcilla de la parte superior. Estos aportes fueron de menor influencia durante ciertos intervalos, de manera que pudieron desarrollarse los equinoides intolerantes a las aguas salobres. La ausencia de amonitas y otros organismos platónicos denota una comunicación sumamente restringida al mar abierto (Caballero, 1990). Además Morán *et. al.*, (1993) propone que la Formación Chimeco se acumuló en una paleobahía caracterizada por alta energía.

Paleontología. Pérez *et. al.*, (1965) reporta que en la parte superior se observan equinoides, pelecípodos y rellenos de gusanos; también registra la presencia de *Cidaris submarginata* (equinodermo), abundantes pelecípodos pertenecientes a las especies *Lima comatulicosta*, *Eomiodon microphyes*, *Pleuromia inconstans*, *Pholadomya fidicula*, *protei*, *Gryphaea mexicana*, *Myophorela salogureni* y *Pina quadrifrons*, así como ostras.

Además Alencaster y Buitrón (1965) reporta la presencia de pelecípodos pertenecientes a las especies *Cucullaea* sp., *Parallelodon* (*Grammatodon*) *montanayensis*, *Modiola maloniana*, *Astarte posticalva* *Phalodomya hemicardia*, además reportan abundante contenido fosilífero de amonites, corales y equinodermos del Oxfordiano-Tithoniano.

Raup y Stanley (1978) reportan equinoides de la especie *Cidaris submarginata* y los siguientes pelecípodos: *Cucullaea* sp., *Parallelodon* (*Grammatodon*) *montanayensis*, *Modiola maloniana*, *Pinna quadrifrons*, *Lima comatulicostosa*, *Gryphaea mexicana*, *Myophorella* (sinon. *Trigonia*) *sologurent*, *Astarte posticalva*, *Eomiodon microphyes* y *Pholadomya hemicardia*, *Ph. Protei* y *Ph. fidicula*. Varios de estos pelecípodos son de hábitats litorales, como la *Modiola* sp. y *Pinna* sp., que son mitílidos, grupo que se caracteriza por ser eurihalinos tolerantes a rangos de salinidad variables (de salinidad marina normal a salinidades altas).

Edad. Corresponde a una edad Oxfordiana para la mitad superior de la Caliza Chimeco, de acuerdo al contenido paleontológico, por lo que se considera que la Caliza Chimeco es la unidad basal de la secuencia marina transgresiva Jurásica Tardía (Pérez *et. al.*, 1965 y Alencaster y Buitrón 1965).

Correlación. Pérez *et. al.*, (1965) reporta que la Formación Mapache de edad Kimmeridgiana y Portlandiana, sobreyace a la Caliza Chimeco por lo cual esta se correlaciona con formaciones de edad Oxfordiana y de posición estratigráfica semejante como la “Caliza con *Cidaris*” (Buckhardt, 1930), Formación Tamán (Heim, 1940; Imlay 1953; Erben 1956) en el noreste de Puebla y la Caliza Zuloaga y la Formación La Gloria (Imlay 1937; 1938) en el noreste y norte de México. Además Caballero (1990) la correlaciona con la “Caliza con *Cidaris*”, expuesta en el extremo sur del área y en la región de Tezoatlán.

2.1.2.3.2 FORMACIÓN MAPACHE.

Definición. La formación Mapache fue formalmente propuesta por Pérez *et. al.*, (1965) como una secuencia de calizas arcillosas interestratificadas con limolita y lutita calcárea. Su localidad tipo es la Barranca del Mapache, que se encuentra inmediatamente al norte del Arroyo Tecomazúchil, 5.2 [km] al oeste de Petlalcingo, Puebla. Esta misma unidad ha sido designada con el nombre de

Sabinal, aflorando a lo largo de una franja orientada NNW-SSE, en el homoclinal de Petlalcingo, al oriente de los poblados de San José Chapultepec, Silcayoapilla, Saucitlán y en los alrededores de Rancho Solano. En el área de Tlaxiaco, se tienen también afloramientos al oeste de San Juan Mixtepec y otros más reducidos en Chacaltongo y al sur de los Achiutlas (López, 1985).

Litología. Su litología de base a cima consiste de calizas arcillosas; aunque en su parte media y superior presenta intercalación de capas de limolita y lutitas calcáreas, con característicos niveles conformados por abundantes moldes de pelecípodos, que constituyen una verdadera biomicrudita. Pérez *et. al.*, (1965) y Ortega (1978b) mencionan que en el área de Chazumba esta unidad está constituida por caliza arcillosa interestratificada con lutita y limolita calcáreas.

Espesor. De acuerdo a Pérez *et. al.*, (1965), tiene un espesor aproximado de 400 [m], mientras que Caballero (1990) describe un espesor que varía de 380 a 150 [m] y se acuña hacia el sur hasta desaparecer en el área de Petlalcingo, Puebla.

Relaciones estratigráficas. En el homoclinal de Petlalcingo, la base de esta unidad es concordante y transicional con la Formación Chimeco del Oxfordiano y la cima es discordante con la Formación Teposcolula del Cretácico (Albiano-Cenomaniano) (Caballero, 1990). Además Pérez *et. al.*, (1965) y Böhnelt (1999) reportan que esta formación sobreyace concordantemente a la Caliza Chimeco y están cubiertas discordantemente por rocas de la Formaciones Morelos y la Formación Huajuapán.

Ambiente. Pérez *et. al.*, (1965) basándose en el contenido paleontológico que contiene esta unidad y la gran cantidad de material detrítico fino, sugieren que la unidad se depositó en un ambiente marino somero, probablemente en la zona infralitoral. Caballero (1990) propone que los organismos encontrados a excepción de los amonites, son indicativos de aguas someras cercanas a la costa, por ejemplo, *Tancredia sp.* (es un excavador litoral). Esto aunado a la litología, se interpreta que se depositó en un ambiente cercano a costa en aguas tranquilas como el de una laguna litoral con comunicación intermitente al mar abierto y con influjos fluviales que aportaban solamente material fino.

Paleontología. Pérez *et. al.*, (1965) reportan la presencia abundante de pelecípodos entre los que destacan *Pleuromya inconstans*, *Lucina balmensis*, *L. potosina*, *L. potosina metrica*, *Anatina* sp., *Tapes cuneovatus*, ejemplares de gasterópodos caracterizados por *Harpagodes oceani*, *Trachynerita nodilirata*, así como escasos amonites pertenecientes a los géneros *Decipia* e *Idoceras*. Alencaster y Buitrón (1965) registran además la presencia de *Isastrea* sp. (coral), pelecípodos (*Tancredia autissiodorensis*, *Arctica cotoi*, *Unicardium excentricum*) y describen por primera vez tres especies *Astarte ajuriana*, *Purpuroidea acatlana* y *Rhynchonella arellanoi* (braquiópodo) para esta formación.

Edad. De acuerdo con Alencaster y Buitrón (1965), la parte inferior de esta unidad contiene fósiles del Oxfordiano, mientras que la parte superior presenta fósiles del Kimeridgiano- Portlandiano (Titoniano). Pérez *et. al.*, (1965) asignan a la parte inferior de esta unidad una edad de Kimeridgiano, coincidiendo con la edad asignada por Alencaster y Buitrón (1965) a la parte superior. Estos autores mencionan que la escasez de amonites en esta formación, no permite establecer con exactitud su alcance estratigráfico.

Correlación. Según Caballero (1990), la Formación Mapache se correlaciona en el área de Tlaxiaco, con la Formación La Virgen y con la Unidad Solano. Se presenta siempre inseparable con la Formación Chimeco y ambas en conjunto constituyen una secuencia continua. Pérez *et. al.*, (1965) con base a su formación estratigráfica y su naturaleza margosa, junto con su fauna (principalmente ostras), la correlaciona con formaciones semejantes de edades correspondientes al Jurásico Superior, como la Caliza Chinameca en el sur y sureste de México y las calizas de Amoltepec en la parte centromeridional de Oaxaca.

2.1.2.4 CRETÁCICO.

En México existen numerosos sitios donde afloran secciones cretácicas marinas. En algunas regiones el límite Cretácico Inferior-Cretácico Superior está representado por rocas compactas, representando una secuencia homogénea de calizas micríticas de facies pelágicas (Longoria, 1977). Las rocas del Cretácico corresponden a la Formación Teposcolula sobreyaciendo a la Formación Mapache como se observa en la columna estratigráfica (Figura 2.2).

2.1.2.4.1 FORMACIÓN TEPOSCOLULA.

Definición. Salas (1949) fue el primero en nombrar informalmente como Caliza Teposcolula a las rocas carbonatadas que afloran en el pueblo de San Pedro Teposcolula, Oaxaca. Al momento de su propuesta, Salas (1949) no designó localidad tipo; sin embargo, menciona que el mejor afloramiento se sitúa en el camino de la carretera internacional a Tlaxiaco, en el poblado de San Pedro Teposcolula, Oaxaca, asignándola al Jurásico Superior, sin señalar evidencias; el mismo manejo le dió Erben (1956b) quien la asignó al Oxfordiano.

Posteriormente, Ferrusquía (1976) propone formalmente como sección tipo un afloramiento ubicado dentro del área estudiada por Salas (1949) y reporta la presencia de diversos géneros de foraminíferos, tintínidos, gasterópodos y pelecípodos, todos del Cretácico; el conjunto de los cuales no indican una edad precisa, no obstante el autor sugiere como más probable que representen el intervalo Albiano-Coniaciano. La secuencia mesozoica culmina en el área de Huajuapán-Petlalingo, con un paquete calcáreo que cubre discordantemente al resto de las unidades Mesozoicas, el que se identifica como Formación Teposcolula (Caballero, 1990).

Litología. De acuerdo con Caballero (1990), para el área de Huajuapán- Petlalingo distingue dos miembros. El primero y más ampliamente expuesta, es esencialmente calcárea con cuerpos de calizas de textura mudstone a packstone con nódulos de pedernal, que localmente se encuentra recristalizada o dolomitizada y hacia el poblado Solano, se observa una brecha calcárea con bandas de pedernal. La segunda parte es de tipo calcárea con fracciones arcillo-arenosas, ya que contiene caliza arcillosa, caliza limosa, arenisca calcárea, marga y caliza masiva. En toda la unidad se presentan pelecípodos, rudistas, gasterópodos, equinoides, miliólidos, foraminíferos rotálidos y foraminíferos textuláridos.

Espesor. El espesor de la unidad no ha podido ser determinado con precisión, ya que se ha estimado de 400 [m] al oeste de Petlalingo (Pérez *et. al.*, 1965) y de hasta 1,000 [m] a la altura de las barrancas El Mirador y El Boquerón (Caballero, 1990).

Características Estructurales. Esta formación se encuentra erosionada, cubierta por unidades correspondientes al Cenozoico. En el sector de Huajuapán-Chila de las Flores, se presenta trazas de intersección de fallas normales de orientación NW-SE (Caballero, 1990).

Relaciones Estratigráficas. En su localidad tipo está cubierta en discordancia angular, por calizas margosas de la Formación Yucunama (Ferrusquía, 1976). El contacto inferior en el área de Petlalcingo es discordante con las unidades Jurásicas y con la “Unidad San Miguel Papalutla” del Neocomiano (Caballero, 1990); hacia Tezoatlán, este contacto es transicional con una secuencia detrítico calcárea (Formación San Isidro?), atribuida al Barremiano-Aptiano. En los pozos Teposcolula 1 y Yucumac 1, realizados por PEMEX, en las cercanías de la localidad tipo se reporta un cuerpo evaporítico de 2,500 [m] de espesor aparente por debajo de esta formación (López, 1983).

Ambiente. En el área de Huajuapán-Petalcingo se interpreta que su acumulación ocurrió en aguas claras, cálidas y someras de plataforma, con influencia de terrígenos; hacia su parte superior los niveles brechoides, pueden corresponder a episodios esporádicos de emersión y erosión subáerea, en el marco de un relieve contrastado (Caballero, 1990). En la localidad tipo, se reportan comunidades fósiles, tanto nériticas como epipelágicas, así como litofacies tanto de alta como de baja energía (Ferrusquía, 1976).

Paleontología. Las evidencias de fósiles determinadas por trabajos previos son de miliólidos y rudistas (Pérez *et. al.*, 1965), así como *Gryphae graysonana* (Caballero-Miranda, 1990) e *Hippurites resectus Mexicanus* (Erben, 1956a).

Edad. Con base en su contenido fosilífero esta formación se ha asignado al Albiano-Cenomaniano Inferior (Pérez *et. al.*, 1965). Este intervalo se amplía al Albiano-Turoniano, tomando en cuenta los fósiles reportados por Caballero (1990), en el área entre Zapotitlán Palmas y Huajuapán de León, y clasificados por Buitrón (1981).

Correlación. Hacia el norte, en el área de Ixcaquixtla, Puebla, se correlaciona con la Caliza Coyotepec (Ortega, 1989); Ferrusquía (1970, 1971, 1976) documenta que las formaciones correlativas geográficamente con la Caliza Teposcolula son, la Caliza Petlalcingo en el sur de Puebla y la Caliza Cipiapa en el área de Tehuacán, Puebla. Esta unidad también es correlacionable con las Formaciones Morelos y Cuautla de los estados de Morelos y Guerrero (Fries, 1958, 1960; Ferrusquía, 1971, 1976); con la mitad inferior de la Formación Mal Paso del suroeste de Michoacán (Pantoja, 1959, Ferrusquía, 1971, 1976) y con la Caliza El Doctor (Wilson *et. al.*, 1955). La Caliza Teposcolula también se correlaciona con las unidades formadas por caliza en la región de La Huasteca, Formaciones El Abra, Tamaulipas Superior y Taninul del Albiano-Cenomaniano (Fries, 1958; 1960). Finalmente, Gómez *et. al.*, (2005) la correlacionan con las Margas Tilantongo.

2.1.3 CENOZOICO.

Para el Cenozoico se produce un cambio fundamental ya que se tienen únicamente depósitos sedimentarios continentales, que se encuentran descansando sobre calizas del Cretácico Superior. Las formaciones pertenecientes a este periodo son el Conglomerado Tecomatlán, la Formación Huajuapán y las rocas volcánicas Cenozoicas como la Unidad Ahuehuetitlán, la Andesita Basáltica Chila y una Brecha Volcánica; dichas unidades se encuentran en la columna estratigráfica regional (Figura 2.2) y se observa que algunas de estas unidades afloran en el área de estudio, en el mapa geológico (Figura 2.1).

Los sedimentos del Cenozoico afloran una pequeña parte del área estudiada, donde descansan discordantemente cubriendo a las rocas Paleozoicas del Complejo Acatlán.

2.1.3.1 CONGLOMERADO TECOMATLÁN.

Definición. Schlaepfer (1970a) propone como Conglomerado Tecomatlán, a un conglomerado calizo, que descansa discordantemente sobre sedimentos cretácicos, y a su vez, está cubierto discordantemente por las limolitas de la Formación Yanhuitlán. Proponiendo como localidad tipo, los afloramientos que se ubican en el pueblo de San Miguel Tecomatlán, Oaxaca, donde descansa sobre calizas del Albiano-Cenomaniano y donde tiene su mejor exposición.

Salas (1949) reporta la existencia de un conglomerado similar, en la base de la columna Cenozoica, ya sea de bajo de las capas Huajuapán o de las Yanhuitlán, para varias localidades de la Mixteca.

Litología. De acuerdo a Schlaepfer (1970a), se compone de un conglomerado, compuesto por fragmentos de calizas gris, mal clasificados, con clastos subangulares a subredondeados, con diámetro aproximado de 5 [cm] y con una matriz de arena gruesa rosada; contiene además fragmentos redondeados de pedernal con abundantes fósiles, principalmente corales, gasterópodos y pelecípodos. Este mismo autor, reconoce en los afloramientos de Chindúa, Oaxaca, un conglomerado que consiste en su parte inferior por fragmentos mal clasificados de caliza, principalmente, de arenisca amarilla, cuarzo, pedernal y pocos clastos metamórficos alterados; la matriz es de arena rosada de grano grueso. Hacia la cima, consiste casi únicamente de fragmentos angulares de caliza bien cementados, con diámetro mayor de 30 a 50 [cm].

Espesor. Según Schlaepfer (1970a) en la región de Etaltongo, Oaxaca, se estima un espesor aproximado de 20 [m], hacia el este su espesor disminuye rápidamente y no se vuelve a encontrar el conglomerado debajo de la Formación Yanhuitlán.

Características estructurales. En su localidad tipo, el Conglomerado Tecomatlán se encuentra afectado por fallas normales, además de presentar estratificación con superficie irregular, sin evidencias de rasgos direccionales (Schlaepfer, 1970a).

Relaciones estratigráficas. De acuerdo a Schlaepfer (1970a), el Conglomerado Tecomatlán descansa discordantemente sobre sedimentos cretácicos, y a su vez, está cubierto discordantemente por las limolitas de la Formación Yanhuitlán; considera que cerca del poblado de Chindúa, esta unidad se observa en contacto por falla con la Formación Yanhuitlán.

Ambiente. De Cserna (1960) interpreta que el Conglomerado Tecomatlán, se depositó inmediatamente después de los últimos plegamientos laramídicos. Allen (1965) deduce que la topografía de las sierras recientemente levantadas, la erosión rápida y la escasa vegetación no lograban la formación de suelos; el drenaje proveniente de las sierras calizas no estaba integrado,

los escurrimientos eran intermitentes y en su mayor parte, el producto de la erosión se quedaba en la base de la sierra. También Schlaepfer (1970a) propone que con base en la forma que presenta al occidente del área de Tlaxiaco-Teposcolula, corresponde con un gran abanico depositado en la cuenca, donde probablemente ríos maduros drenaban el macizo oaxaqueño, llevando los productos de la desintegración de este último; en la cuenca de depósito predominaba también un clima árido o subárido, en el cual se producía la oxidación del hierro en la matriz de los conglomerados cercano a la fuente de origen.

Paleontología. Schlaepfer (1970 a, b) reporta en San Miguel Tecomatlán bioclastos (conchas de pelecípodos y gasterópodos).

Edad. De acuerdo a Schlaepfer (1970a) con base a su relación estratigráfica le designa una edad del Eoceno Tardío-Oligoceno, en el área de Nochixtlan-Yanhuitlán. No se tienen datos directos para definir la edad del Conglomerado Tecomatlán, sin embargo, se constata únicamente que el Conglomerado Tecomatlán descansa discordantemente sobre calizas cretácicas, que a su vez está cubierto por la Formación Yahuitlan de supuesta edad Miocénica.

Correlación. Schlaepfer (1970a), correlaciona con la parte basal de la formación (Grupo Balsas (Fries, 1960), que abarca desde el Eoceno Tardío hasta el Oligoceno Medio.

2.1.3.2 FORMACIÓN HUAJUAPAN.

Definición. Por primera vez, Jenny (1933 *en* Guzmán, 1950) menciona y describe las rocas de la unidad, en la región de Huajuapán de León, Oaxaca, sin darles nombre formacional. Poco tiempo después, Guzmán (1946 *en* Guzmán, 1950) nombra a esta unidad como capas San Miguel. Posteriormente, Salas (1949) nombra a la unidad como capas Huajuapán, quien designó al Valle de Huajuapán, como localidad tipo y las consideró de probable edad Cenozoica. Por su parte, Erben (1956) retoma la unidad y la denomina Formación Huajuapán, cuyo nombre procede del poblado de Huajuapán de León, Oaxaca; además, informalmente sugiere que la unidad debe subdividirse en tres unidades litológicas: la primera formada por un conglomerado basal, otra formada por una caliza color crema de origen lacustre y otra constituida por margas y lutitas grises, con alto contenido en yeso.

Litología. De acuerdo a Salas (1949) describe a la unidad como una serie de areniscas, cenizas volcánicas, arcillas arenosas, capas de conglomerados y brechas interestratificadas; con coloración predominantemente rojiza, aun cuando se encuentran también verdes, azules y escasos morados; con buena estratificación e intrusionadas por sills de traquitas. La base está formada siempre por un conglomerado rojo, cuyos fragmentos se derivan de rocas sedimentarias Mesozoicas e Ígneas; los clastos son angulares y redondeados, mal clasificados, cementados por una matriz de arena y carbonato de calcio.

Guzmán (1950) por su parte, agrega que en la litología de la Formación Huajuapán hay tobas y fragmentos de andesitas y dacitas, e interpreta que en dicha unidad, ha habido erosión y redepositación del mismo material, debido a que es frecuente encontrar fragmentos de areniscas conglomeráticas y de rocas ígneas de extrusiones cercanas dentro de los conglomerados.

Caballero (1990) describe que la litología es muy variable, se distinguen diversos paquetes discontinuos de diferentes granulometría; grado de cementación y resistencia a la erosión. En algunos sitios predominan fracciones areno-conglomeráticas, entre Ayuquila y el Limón, Oaxaca, donde las rocas se presentan bien cementadas, de colores rojizos, con clastos de esquisto, arenisca, conglomerado y cuarzo, de hasta 40 [cm] de longitud. En Zapotitlán Palmas-Huajuapán, se reporta en la base, un conglomerado con clastos fundamentalmente de caliza con cantidades menores de pedernal, calcedonia y cuarzo lechoso, subredondeados y redondeados, moderadamente seleccionado, muy bien cementado, de estratificación muy gruesa y planos de estratificación muy bien desarrollados. En la cima se tienen capas limo-arenosas tobáceas de colores rojo, rosa y verde, con yeso en vetillas, el cual es muy abundante localmente y calcedonia en forma de concreciones irregulares. En otros sitios predominan fracciones limo-arenosas relativamente homogéneas, de colores claros, como en San Marcos Arteaga. Martiny *et. al.*, (2000) define a esta unidad de carácter continental que consiste en un cuerpo basal de conglomerados de clastos de calizas en una matriz arenosa y cementados por carbonatos de calcio. Sobre este conglomerado se encuentra una secuencia limo-arenosa con líticos de rocas volcánicas e intercalaciones de yeso, como ocurre en las cercanías de El Molino en Huajuapán de León, Oaxaca.

En la zona de estudio, esta formación está constituida en la parte basal por una intercalación de areniscas conglomeráticas y arenisca media, de color rojizo al intemperismo y cementada por carbonato de calcio, constituida principalmente de cuarzo metamórfico blanco y esquistos. En algunos paquetes se aprecian fracturas rellenas de yeso fibroso y carbonato de calcio, así como horizontes de limolita y lentes de conglomerado con clastos de cuarzo, los estratos presentan un espesor variable que van de 0.30 a 1.50 [m].

La parte media de esta formación está constituida por una intercalación de conglomerados, areniscas y calizas; el conglomerado es de color rojizo, se encuentra soportado por matriz arenosa y constituido por clastos de cuarzo de 2 a 5 [cm] y esquistos de 0.02 a 0.06 [cm]; la arenisca varía de grano medio a fino, la cual esta cementada por carbonato de calcio; en algunos estratos se presentan lentes de conglomerado. Se aprecian algunos estratos de arcilla, además de un horizonte de carbón y pedernal. La parte superior consiste en una intercalación de areniscas, limolitas y lutitas, que hacia la cima contiene estratos de calizas y arenisca tobácea. La arenisca va de media a fina de color rojizo con lentes de conglomerado; las limolitas y lutitas presentan un color verde y gris al fresco, respectivamente, y están poco compactadas (*Figura 2.18*).



Figura 2.18 Afloramiento de la Formación Huajuapán, ubicada entre los poblados Tezoquipán y la Unión, Puebla.

Espesor. Salas (1949) documenta para la unidad un espesor de 100 [m] en el Valle de Huajuapán, Oaxaca; en las localidades de Petlalcingo, Puebla y al sur de Huajuapán de León, Oaxaca, donde sólo mide unos cuantos metros de espesor. En los afloramientos del este de Nochixtlán, suroeste de Magdalena Jaltepec y norte de Yanhuítlán en el estado de Oaxaca, se reportan espesores de 30 a 40 [m]. Mientras que Guzmán (1950) menciona que su espesor es variable, pero llega a alcanzar hasta 2,000 [m] en algunas áreas donde aflora. Por otro lado, Erben (1956) menciona que en los depósitos de las paleo-cuencas, el espesor puede llegar a más de 1000 [m]. Para el área de Huajuapán de León-Petlalcingo, el espesor es muy variable, sin embargo, se estima que es de hasta 250 [m] en algunas localidades (Caballero, 1990).

En la sección medida sobre el cerro Tepeyehuale, entre los poblados de Tezoquipán y la Unión, la formación presenta un espesor de 80.12 [m].

Características Estructurales. La estratificación en casi todo los afloramientos, es subhorizontal con superficies irregulares, los cuales presentan inclinación de entre 5° y 14° (Caballero, 1990).

Con base en el estudio realizado en campo, la Formación Huajuapán presenta estratificación paralela con actitud promedio al S59°W con inclinación de 15° a 33° al NW; el afloramiento donde se midió la columna, se encuentra afectado por fallas laterales derechas, con dirección al NW-SE con inclinación de 73° a 82° al NE; presenta fracturas paralelas a la estratificación.

Relaciones Estratigráficas. La unidad descansa discordantemente sobre el Cretácico Superior, en el estado de Puebla, al sur del poblado de Petlalcingo y al sur de Huajuapán de León, Oaxaca; se presenta de igual manera al este de Nochixtlán, al suroeste rumbo a Jaltepec y al norte de Yanhuítlán, donde descansa directamente sobre rocas del Jurásico Superior y Cretácico Superior. Su contacto superior es concordante con la unidad Yanhuítlán, el cual, sólo se observa entre los poblados Yucuaño y Tlaxiaco (Salas, 1949).

Guzmán (1950) y Erben (1956) documentan que la unidad Huajuapán se encuentra descansando discordantemente sobre las formaciones del Mesozoico, que afloran en el noreste de Guerrero, así

como sobre los esquistos del complejo basal pre-Jurásico Inferior. Está cubierto por el aluvión o caliche del Cuaternario.

López (1985) reporta que estos terrígenos descansan discordantes sobre el basamento paleozoico al noroeste de Huajuapán; al norte, sur y alrededores de Tezoatlán, sobreyacen de igual forma a las unidades mesozoicas. También se encuentran en contacto por fallas transcurrentes con las unidades jurásicas y cretácicas por medio de las fallas regionales Petlalcingo, San Marcos y Tezoatlán.

La unidad sobreyace con marcada discordancia a las unidades mesozoicas e infrayace discordantemente, mediante un contacto ondulante a rocas volcánicas posibles del Cuaternario (Caballero, 1990 y Matiny *et. al.*, 2000).

En el área de estudio, la Formación Huajuapán sobreyace discordantemente con el Complejo Acatlán, mientras su contacto superior es concordante con aluvión.

Ambiente. Salas (1949) propone que los sedimentos continentales de la unidad debieron depositarse en algún cuerpo de agua encerrado dentro del continente en el altiplano, posiblemente en valles que se extendían al oeste desde Chila, Puebla hasta Huajuapán y Juxtlahuaca, Oaxaca; al este por Tilantongo, Ixcatlán, Nochixtlán y Magdalena Jaltepec, Oaxaca; al norte desde Chila, Puebla hasta Ixcatlán y Suchistepec, Oaxaca; por el sur, desde Copala hasta Tlaxiaco, Oaxaca. En la parte oriental estos cuerpos de agua, por el lado de Nochixtlán, debieron haber sido más profundos y más apacibles, permitiendo que por el lado occidental se depositaran las capas clásticas de la unidad Huajuapán. Las cenizas volcánicas interestratificadas con las capas Huajuapán indican actividad ígnea explosiva.

Guzmán (1950) menciona que la unidad representa una época de intenso volcanismo explosivo, acompañada de sedimentación lacustre y fluvial, con sedimentos procedentes de una región semiárida. López (1985) documenta que la unidad Huajuapán es un depósito lacustre muy somero. Caballero (1990) interpreta que las fracciones tobáceas de la parte superior pudieron originarse por el mismo evento que formó a la Toba Llano de Lobos, fechada con K-Ar, en 26 Ma.

Edad. Salas (1949) y Guzmán (1950) le asignan una edad a esta unidad de Paleógeno, con base en la posición estratigráfica sobre rocas del Cretácico Superior.

Erben (1956) documenta que el alcance estratigráfico de la unidad es problemático, debido a que su base parece corresponder al Eoceno Superior u Oligoceno Inferior (en el conglomerado basal) y su límite superior se encuentra dentro del Cuaternario.

Para el sureste del área de Huajuapán-Petlalcingo, se reportan edades radiométricas de 49.0 ± 8 Ma. (Ferrusquía, 1976). Galina (1996) propone con base a su relación estratigráfica, su edad se encuentra en el Paleogeno Temprano, más específicamente en el Eoceno-Oligoceno.

Correlación. Se correlaciona con los sedimentos lacustres y derrames ígneos del Cenozoico descritos por Keller (1923 en Guzmán, 1950) en el estado de Michoacán (Guzmán, 1950). Schulsze (1988) documenta que se correlaciona con las Formaciones Tamazulapán y Tecomatlán. Fries (1960) menciona que las unidades que afloran al oeste de Oaxaca y al sur de Puebla, con litología y posición estratigráfica similar a la Formación Huajuapán son el Grupo Balsas y las Formaciones Yanhuitlán y Cuicatlán.

Según Calderón (1956), la formación se correlaciona con la Formación Tehuacán de la región de Tehuacán, Puebla, y con otros depósitos continentales del Paleógeno Inferior de la parte central y norte de México. Además, Caballero (1990) propone que el conglomerado calizo basal, puede ser correlativo con el Conglomerado Tamazulapán.

2.1.3.3 ROCAS VOLCÁNICAS.

Definición. Caballero (1990) describe y denomina informalmente a dos unidades: Unidad Ahuehuetitlán y Andesita Basáltica Chila, diferenciadas por sus características morfológicas claramente contrastantes. Ambas cubren a la Formación Huajuapán, en zonas cercanas al área de estudio, por lo que se consideran preliminarmente Cenozoicas. La localidad tipo propuesta por dicha autora, son los afloramientos ubicados al oriente en el Valle de Huajuapán y al suroeste en el Valle de Santo Domingo Tonalá, en San Juan Reyes. Galina (1996), propone nombrar a la Unidad

Ahuehuetitlán para el área de Huajuapán de León, Oaxaca como Andesitas Yucudaac o San Marcos.

En este trabajo se decidió utilizar el nombre de Unidad Ahuehuetitlán ya que corresponde con la descripción de dicha unidad.

2.1.3.3.1 UNIDAD AHUEHUETITLÁN.

Litología. Caballero (1990), describe una secuencia volcánica de morfología tabular y superficie irregular de fuertes pendientes, conformado por diversas emisiones lávicas y piroclásticas. La composición predominante de las rocas volcánicas es andesítica, la textura de los componentes lávicos es en ocasiones afanítica y en otras porfídica, con fenocristales de plagioclasa y hornblenda; presenta un color gris verdoso y frecuente intemperismo esferoidal. Los componentes piroclásticos son brechas y tobas, tanto deleznable como piroconsolidadas. La Unidad Ahuehuetitlán (o Andesita Yucudaac y Andesita San Marcos) es una secuencia de varios derrames lávicos de litología uniforme, su composición es intermedia a básica. Las muestras al fresco presentan color gris claro, oscuro o negro y al intemperismo un color claro rojizo (Galina, 1996).

Espesor. Caballero (1990) estima un espesor alrededor de 200 [m]. Mientras que Galina (1996) reporta un espesor que oscila entre 30 y 100 [m].

Relación Estratigráfica. De acuerdo a Ferrusquía (1976), la Unidad Ahuehuetitlán sobreyace discordantemente a la Formación Yanhuitlán o se interdigitan con la Formación Chilapa.

Edad: Ferrusquía (1976) fechó por el método K-Ar la base de los derrames en 28.2 ± 0.6 Ma. y 29.6 ± 0.6 Ma.

Con base a la relación estratigráfica observada en el área de Huajuapán de León-Petlalcingo, la unidad es preliminarmente Cenozoica, ya que cubre a la Formación Huajuapán, esto propuesto por Caballero, (1990); mientras que Galina (1996), determinó con base en estudios de K-Ar una edad de ± 30 Ma.

Correlación. Esta unidad es comparable en posición estratigráfica y características litológicas, con las Andesitas Yucudaac y San Marcos; ambas definidas al sureste del área de Huajuapán de León, donde cubren a la Formación Yahuitlán y a dos unidades tobacéas (Llano de Lobos y Cerro Verde) Ferrusquía (1976).

2.1.3.3.2 ANDESITA BASÁLTICA CHILA.

Litología. Caballero, (1990) define a esta unidad, como afloramientos aislados de corta extensión de rocas volcánicas lávicas, correspondientes a aparatos volcánicos; que presentan diferentes grados de erosión. Su composición predominante es andesítico a basáltico. Existen algunos basaltos vesiculares de color gris oscuro a negro y estructura lajeada, con cristales de plagioclasas y piroxenos en una matriz vítrea.

Características Estructurales. En su mayoría se presentan en forma alineada, en la porción norte del área de Huajuapán de León-Petlalingo, aparentemente están relacionados a fallamiento normal (Caballero, 1990).

Relación Estratigráfica. Se encuentra sobreyaciendo a la Unidad Ahuehuetitlán (Caballero, 1990).

Edad. Caballero (1990) propone que estos cuerpos son posteriores a la Unidad Ahuehuetitlán e incluso es posible que correspondan al Cuaternario, debido a que son productos de una actividad volcánica con diferente naturaleza y a que se conservan en gran medida su morfología original.

2.1.3.3.3 BRECHA VOLCÁNICA.

En la parte central del área de estudio, se presenta un afloramiento de corta extensión de aparente origen ígneo.

Litología. Roca de textura afanítica, de color negro al fresco y rojizo al intemperismo, presenta segregaciones de cuarzo, por lo que se infiere de composición intermedia.

Descripción Microscópica. Se realizó una lámina delgada de roca ígnea de la muestra CI-1, se compone principalmente con mayor porcentaje de plagioclasas de tipo albita, además de cristales de cuarzo, hornblenda, biotita y minerales accesorios como opacos; presenta textura porfídica. Se clasificó como una dacita (*Figura 2.19*).

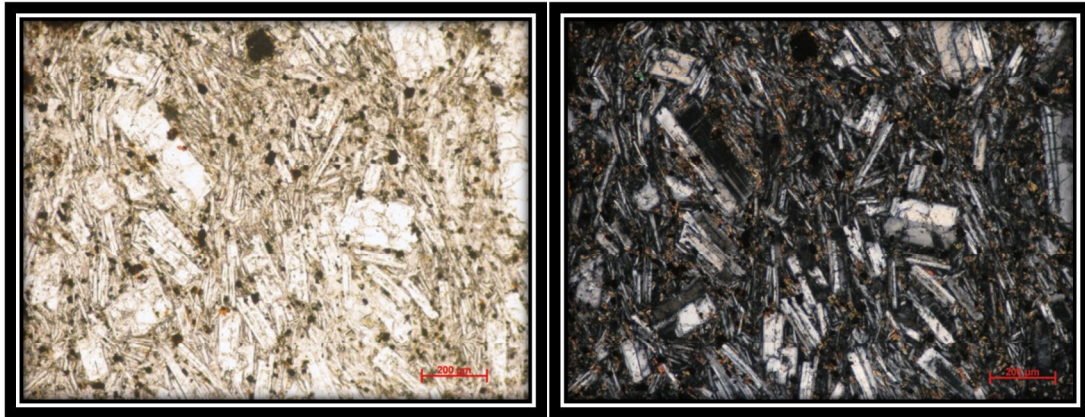


Figura 2.19 Muestra CI-1 de dacita, vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicols cruzados, de la localidad de Tecamatlán, Puebla.

Relación Estratigráfica. Este cuerpo ígneo se encuentra en contacto con el Complejo Acatlán y la Formación Tecomazuchil, que se encuentra aflorando sobre los poblados El Tempexquixtle, Telolinga y la Cañada El Carbonero, como se observa en el mapa geológico (*Figura. 2.1*).

2.1.4 NEÓGENO.

La unidad que abarca el Neógeno corresponde a los depósitos recientes; principalmente aluvión y pie de monte.

2.1.4.1 DEPÓSITOS RECIENTES.

El aluvión se distribuye a lo largo de valles y en zonas de baja pendiente, por lo regular forma terrazas en los que se han desarrollado suelo, que se utilizan para cultivos agrícolas.

2.2 ESTRATIGRAFÍA LOCAL.

El estudio estratigráfico de las secuencias jurásicas continentales en el entorno geológico de la localidad de Tecamatlán, Puebla, comprende la descripción detallada de 2 unidades medidas y descritas de las cuales se resaltó su carácter litológico y contenido paleontológico: El Conglomerado Peña Colorada y la Formación Tecomazuchil. También se midió la secuencia de la Formación Huajuapán del Cenozoico. El método para la medición de las columnas fue mediante el “Báculo de Jacob”, cinta métrica y brújula tipo *Brunton*.

2.2.1 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA.

La columna estratigráfica de las unidades continentales del Jurásico se midió en dos partes, la primera a partir del contacto discordante, entre el Complejo Acatlán con el Conglomerado Peña Colorada y la segunda parte entre el Complejo Acatlán y la Formación Tecomazuchil; unidades correspondientes al Jurásico Inferior y Medio, respectivamente, además de la Formación Huajuapán del Paleógeno, la que se encuentra sobrepuesta y en forma discordante con las secuencias jurásicas. Dichas unidades conforman la estratigrafía local de la zona de estudio. En las tablas 2.3, 2.4 y 2.5 se muestran las descripciones de la litología, estructuras sedimentarias y contenido fosilífero, además del espesor medido de cada unidad.

2.2.1.1 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL CONGLOMERADO PEÑA COLORADA.

Esta sección se midió entre los poblados de Peña Colorada y Tezoquipa, Puebla, que se encuentra en las coordenadas UTM 14Q574 537 [mN]; 1,993, 862 [mE], las características litológicas presentes hacen referencia al Conglomerado Peña Colorada, equivalente al Conglomerado Numí de la Región de Tlaxiaco, Oaxaca y el Conglomerado Cualac del Estado de Guerrero.

En la tabla 2.3 y figura 2.20 se presenta la descripción y medición del Conglomerado Peña Colorada, la cual se encuentra conformada por una intercalación de conglomerado grueso a fino, de forma masiva, de color beige a rojizo, con la presencia de paleocanales. Los clastos están angulosos a subangulosos, constituidos de cuarzo metamórfico, esquisto y gneiss, con un 60%, 30% y 10% en abundancia, respectivamente. En su parte inferior está en su mayoría clastosoportados y hacia la cima los estratos comienzan a encontrarse soportados por una matriz arenosa. La base está compuesta por estratos de 0.40 hasta 0.90 [m] de espesor y algunos se

presentan de manera irregular con clastos orientados preferencialmente paralela a la estratificación; en la parte superior los estratos son irregulares, con clastos que presentan una distribución caótica, con presencia de horizontes de arenisca y lutita, con espesores de 15 y 45 [cm], respectivamente. En gran parte de la unidad se aprecian lentes de clastos de cuarzo metamórfico, del tamaño de gravas. El espesor total de esta sección es de 56.90 [m].

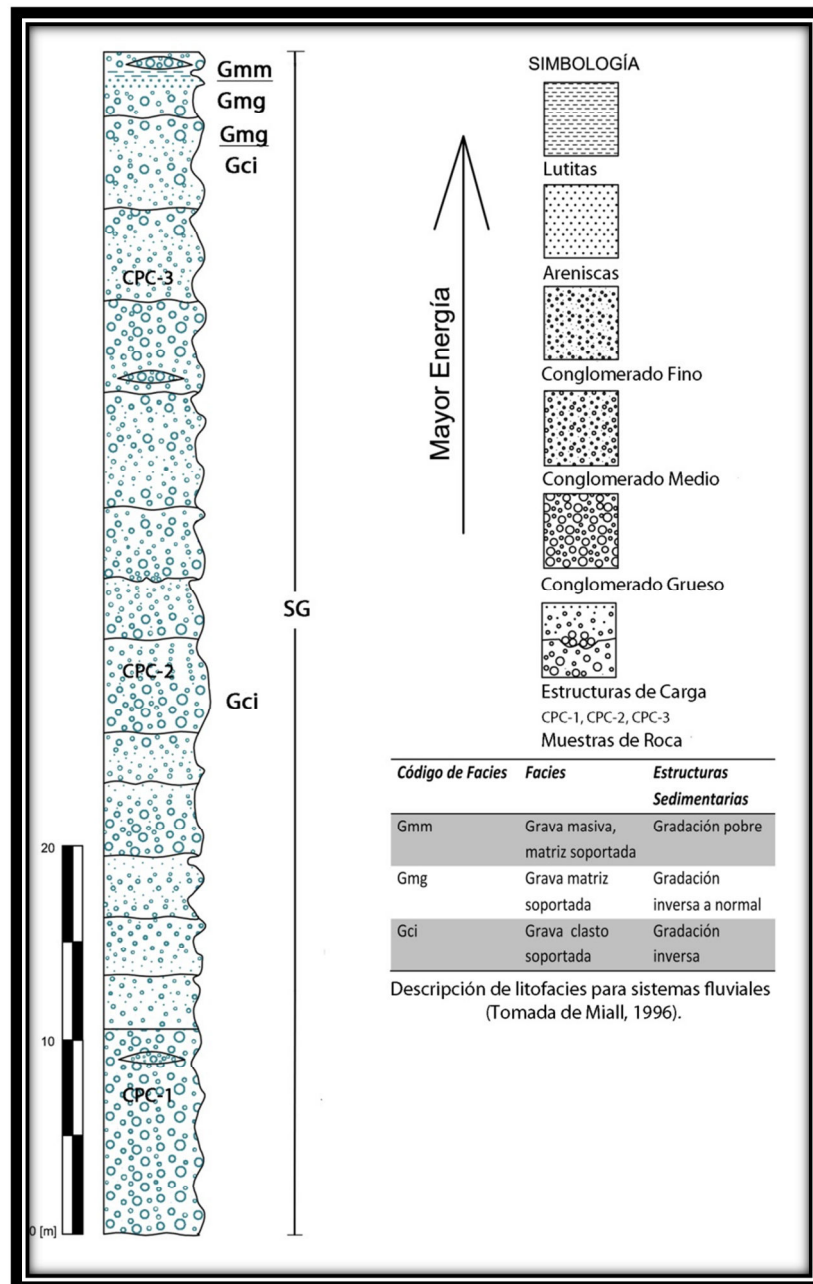


Figura 2.20 Columna Estratigráfica del Conglomerado Peña Colorada, medida en las proximidades del poblado Peña Colorada, Puebla, a partir del contacto con el Complejo Acatlán.

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL CONGLOMERADO PEÑA COLORADA.

	Unidad	Litología	Espesor [m]
	Cima	Total	56.90
C O N G L O M E R A D O	14	Conglomerado polimíctico de medio a fino constituido con un mayor porcentaje de cuarzo metamórfico, además de clastos de esquisto y gneiss. Los clastos son subangulosos, con diámetros de 0.1 a 4 [cm], presentan orientación preferencial paralela a la estratificación. La matriz es de arena media, con un porcentaje de hasta 10%. En la base presenta lentes de cuarzo metamórfico, con clastos angulosos y diámetros de 15 a 20 [cm]. Hacia la cima se tienen horizontes de arenisca fina y lutita de color gris, con espesores que van de 10 a 15 [cm], respectivamente.	3
A D O P E Ñ A	13	Conglomerado polimíctico fino constituido por fragmentos de esquisto, cuarzo metamórfico y gneiss, este último en menor proporción. Los clastos son angulosos, con tamaños de arena media a 6 [cm]. Se encuentra en su mayoría clastosoportados y presenta un 5% de matriz de arena gruesa. Hacia la cima se aprecian horizontes de conglomerado grueso de clastos de cuarzo metamórfico, con espesores de 8 a 15 [cm].	4.5
A C O L O R A D A	12	Intercalación cíclica de conglomerado polimíctico grueso, medio y fino, constituido por cuarzo metamórfico, esquisto de biotita y gneiss, con un 40%, 30% y 10% en abundancia, respectivamente. Los clastos son angulosos con una distribución caótica, con diámetros de 0.1 a 7 [cm], se encuentran soportados por matriz de arena media. Los estratos tienen espesor de 15 [cm]. Hacia la cima el conglomerado es fino, los clastos son angulosos y predomina el cuarzo metamórfico sobre los fragmentos de roca. Presenta horizontes de conglomerado grueso, con espesor promedio de 8 [cm]. Se colectó la muestra CPC-3.	4.5

11	Conglomerado polimítico con un mayor porcentaje de cuarzo metamórfico, además de esquisto y gneiss. Los clastos se presentan angulosos a subangulosos distribuidos de forma caótica, con tamaños de 1 a 5 [cm], los que se encuentran clastosoportados; contienen aproximadamente un 5% de arenas gruesas como matriz. En la base presenta estratos con gradación inversa, con presencia de lentes de cuarzo metamórfico de clastos gruesos.	4.5
10	Conglomerado polimítico intercalado con arena conglomerática. Tanto el conglomerado como la arenisca presentan clastos de cuarzo metamórfico, esquisto y gneiss. Los clastos del conglomerado van de subangulosos a subredondeados, con diámetros de 2.5 a 12 [cm]. La mayoría de los estratos están clastosoportados, mientras que otros presentan clastos soportados por matriz de arena-arcillosa. Hacia la cima predomina la arenisca conglomerática con horizontes de conglomerado grueso, con espesores de hasta 4 [cm]. El espesor de los estratos van de 40 a 90 [cm].	5.40
9	Conglomerado polimítico constituido de cuarzo metamórfico, esquisto y gneiss. Los clastos se presentan de subangulosos a subredondeados, con tamaños de 0.5 a 10 [cm]. Contiene intercalaciones de estratos de sedimentos que varían de arenas finas a gruesas, con espesores aproximados de 60 a 30 [cm].	3.40
8	Conglomerado polimítico constituido por cuarzo metamórfico, esquisto de muscovita y gneiss. Presenta arena fina en un 30 % como matriz. Los clastos están soportados por la matriz, son subangulosos, sus diámetros van de 2.5 a 10 [cm]. En la cima se aprecia una estructura de relleno de canal.	3

7	Conglomerado polimíctico constituido por cuarzo metamórfico, esquisto y gneiss, con un 60%, 30% y 10% en abundancia, respectivamente. Los clastos van de subangulosos a subredondeados, con tamaños de 0.5 a 7 [cm]; se aprecia estratificación normal y orientación caótica en los clastos. Hacia la cima el conglomerado es fino y aumenta la abundancia del cuarzo sobre el esquisto. Se colectó la muestra CPC-2.	4.5
6	Conglomerado polimíctico con clastos en mayor proporción de esquistos, además de cuarzo y gneiss. Los clastos van de subangulosos a subredondeados, con tamaños que van de 0.5 a 20[cm], se presentan grano soportados, con estratificación inversa y orientación preferencial paralela a la estratificación. Hacia la cima se presenta un estrato de 40 [cm], donde predomina el cuarzo sobre el esquisto y gneiss.	2.40
5	Conglomerado polimíctico, constituido de cuarzo metamórfico y esquisto, con una proporción del 45% y 50% en abundancia, respectivamente, el 5% restante lo constituye arena fina como matriz. Los clastos son subangulosos a subredondeados y están grano soportados, sus tamaños van de 5 a 25 [cm].	3.20
4	Conglomerado polimíctico constituido de cuarzo metamórfico y esquisto, presenta arena fina en un 10% como matriz, clastos soportados, son subangulosos y algunos estratos presentan gradación inversa. Contiene un horizonte de conglomerado grueso con fragmentos de gneiss. El tamaño de los clastos va de 0.5 a 15 [cm], los cuales están orientados paralelamente a la estratificación.	2.70

3	Conglomerado polimítico homogéneo constituido de cuarzo metamórfico y esquisto, son clastosoportados. Los clastos van de angulosos a subangulosos, con tamaños de 0.5 a 15 [cm]. Presenta estratificación inversa, hacia la cima vuelve a estar representado por conglomerado fino. Los estratos presentan espesores de 90[cm]; este paquete presenta color al intemperismo pardo rojizo y al fresco blanco grisáceo.	2.70
2	Conglomerado polimítico constituido por clastos de cuarzo metamórfico y esquisto, con un contenido de matriz del 10% de arena fina; clastosoportados, los cuales van de angulosos a subanguloso, sus tamaños varían de 0.5 a 6 [cm]. Presenta un horizonte de arena fina muy homogénea con espesor de 45 [cm], con estratificación gradada normal. Este paquete presenta color al intemperismo de pardo- rojizo y al fresco blanco grisáceo.	2.60
1	Conglomerado polimítico, constituido por clastos de cuarzo metamórfico, fragmentos líticos de tipo esquistos y gneiss, con un 15% de matriz de arena media a fina, donde los clastos en general están clastosoportados. Los clastos son angulosos, con tamaños variados de hasta 20 [cm], dichos clastos presentan orientación preferencial paralela a la estratificación. Los estratos se presentan de forma masiva, cuyo dato estructural es S32°W; 40°. Hacia la cima se aprecian lentes de conglomerado grueso con espesor de 20 [cm]. Este conglomerado presenta una coloración al intemperismo de pardo rojizo, y al fresco verde oscuro. Se colectó la muestra CPC-1.	10.50

Tabla 2.3 Descripción del Conglomerado Peña Colorada, medido a las proximidades del poblado de Peña Colorada, Puebla.

Descripción macroscópica. Para este conglomerado se recolectaron 3 muestras, las cuales corresponden a un conglomerado grueso, medio y fino.

Muestra CPC-1 conglomerado polimíctico, de coloración amarilla a pardo claro al intemperismo y beige al fresco; se compone de fragmentos de cuarzo en un 65% de abundancia, fragmentos de esquisto en un 35%, además de pedernal en un 5%. Los clastos son subangulosos a subredondeados, con diámetros que van de 1.5 a 25 [cm], contiene matriz en un 10% de arena gruesa. Los clastos se presentan clastosoportados y mal seleccionados, corresponde a un conglomerado de grano grueso (*Figura 2.21*).



Figura 2.21 Conglomerado polimíctico grueso, correspondiente a la parte basal del Conglomerado Peña Colorada.

Muestra CPC-2 conglomerado polimíctico de color gris claro al fresco y gris oscuro al intemperismo. Su contenido de líticos es de cuarzo con un 45% de abundancia, esquistos en un 45% y pedernal en un 10%. Los clastos van de subangulosos a subredondeados, con diámetros de 2.5 a 6 [cm], se encuentran clastosoportados y mal seleccionados. Contiene una matriz de arena fina. Se clasificó como conglomerado de grano medio (*Figura 2.22*).



Figura 2.22 Conglomerado medio, correspondientes a la parte media del Conglomerado Peña Colorada.

Muestra PCP-3 consiste en un conglomerado polimíctico de color pardo verdusco, presenta líticos de cuarzo en un 45% de abundancia y esquistos en un 25%, además de pedernal en menor proporción. Los clastos varían de angulosos a subredondeados, con tamaños de 0.5 a 5[cm]; contiene matriz en un 25% de arena fina e intercalación de algunos estratos areno-arcillosos, el 10% restante corresponde a minerales accesorios. Los clastos se encuentran clastosoportados y se observan mal seleccionados, corresponde a un conglomerado de grano fino (Figura 2.23).



Figura 2.23 Conglomerado fino, correspondiente a la cima del Conglomerado Peña Colorada.

2.2.1.2 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN TECOMAZUCHIL.

La tabla 2.4 y figura 2.24 presentan la descripción y medición de la Formación Tecomazuchil, la cual fue medida al SW del municipio de Tecamatlán, sobre la Barranca La Mina, a faldas del Cerro Chicaltepec y orillas del Río Acatlán, entre el poblado de La Herradura y el Porvenir, con coordenadas UTM 14 Q 576, 890 [mE]; 1, 999, 282 [mN]. En la medición de esta sección se utilizó la brújula tipo *Brunton* y se llevó a cabo por medio de cinta métrica debido a que las condiciones morfológicas del área son difíciles, no facilitando el uso del “*Báculo de Jacob*”, al tener afloramientos de paredes escarpadas.

La Formación Tecomazuchil consiste en una secuencia de intercalaciones de rocas clásticas en sus diversas granulometrías, desde lutitas, limolitas, areniscas de grano fino, medio y grueso, areniscas conglomeráticas, además de conglomerados de grano fino, medio y grueso, de manera no rítmica de colores beige, rojizo, verde y gris claro; su parte basal está constituida por intercalación de conglomerado polimíctico de coloración rojiza por intemperismo y al fresco de gris a beige claro, constituido de mayor a menor porcentaje de cuarzo metamórfico, esquistos de muscovita, además de pedernal; estos clastos van de subangulosos a subredondeados y su tamaño varía de 0.05 a 12 [cm], están clastosoportados, mientras que hacia la cima se encuentran soportados por una matriz de arena media a arenas arcillosas, estos estratos se presentan irregulares y continuos con espesores que varían de 0.30 a 0.80 [m]. La mayor abundancia litológica está caracterizada por capas de areniscas de grano grueso a fino, intercaladas con limolitas y lutitas. Las areniscas presentan coloración al intemperismo pardo claro rojizo y al fresco beige claras y grises, presentan una variación en la matriz y un porcentaje mayor de clastos de cuarzo metamórfico, además de esquisto y pedernal. El tamaño de los clastos varía de arenas finas a gruesas, los cuales son subangulosos y subredondeados, en general se encuentran granosoportados. Los estratos presentan espesores entre 20 a 40 [cm], además de cuerpos lenticulares de conglomerados arenosos, correspondientes a rellenos de canal. Las limolitas presentan un color al intemperismo beige a pardo y al fresco rojizo y verdoso, los estratos alcanzan espesores de hasta 40 [cm]. Las lutitas presentan un color al intemperismo verde y al fresco gris, con espesores de hasta 30 [cm], contiene delgados horizontes carbonosos. Los estratos se observan en general de forma tabular y paralelos, aunque abundan los estratos irregulares. En la litología fina presenta nódulos de Fe,

horizontes de carbón y estructuras de carga, además se encuentra la presencia de flora fósil como: las Bennettitales, Helechos, Equisetos, conos de *Williamsonia*, *Brachyphyllum*, *Mexiglosa varia* y Coniferales, ejemplares recolectados en campo y analizadas por Velasco de León y colaboradores (2011). La unidad tiene un espesor total de 228.27 [m].

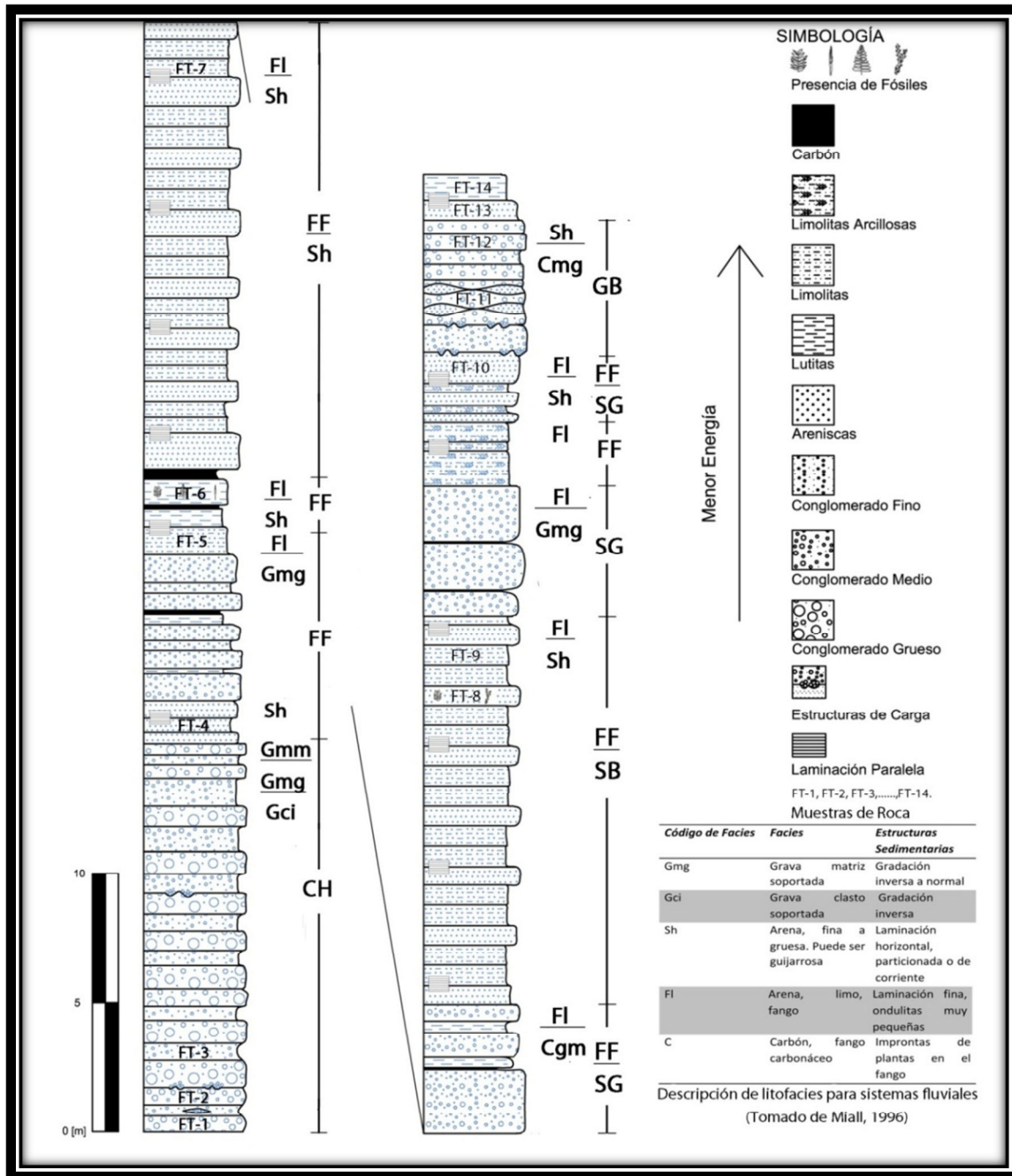


Figura 2.24 Columna Estratigráfica de la Formación Tecmazuchil, medida sobre la Barranca La Mina, a partir del contacto con el Complejo Acatlán.

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN TECOMAZUCHIL.

	UNIDAD	LITOLOGÍA	ESPESOR [m]
F O R M A C I Ó N T E C O M A Z U C H I L	(Cima)	Total	79.78
	21	Lutita arcillosa de color rojo que presenta acuñamiento. Siendo esta la cima de nuestra columna medida en esta área. Se colectó la muestra FT-14.	0.90
	20	Arenisca de grano medio a fino de color beige, compuesta de clastos de cuarzo metamórfico, esquisto y muy poco pedernal. Los clastos son subangulosos a subredondeados, con tamaños hasta de 2.5 [cm], presenta un 15% de matriz arcillosa. Los estratos presentan espesores de 10 a 25 [cm] y su estratificación es tabular. Se colectó la muestra FT-13.	0.77
	19	Conglomerado polimíctico medio compuesto de cuarzo metamórfico, esquisto y en menor proporción pedernal (3%), con 10% de matriz de arena gruesa. Los clastos van de subangulosos a subredondeados, cuyos tamaños varían de 0.5 a 6 [cm]. Los estratos presentan espesores que varían de 20 a 45 [cm], con orientación al N20°W; 30° y lentes de arenisca media, con espesor promedio de 20 [cm]. Se colectó la muestra FT-12.	2.30
	18	Conglomerado polimíctico medio que contiene paleocanales rellenos de arenisca fina. Los clastos están compuestos en mayor proporción de cuarzo metamórfico, además de esquisto y pedernal. Estos son subangulosos a subredondeados con tamaños de 0.3 a 5 [cm]. Los estratos presentan estratificación tabular, con espesores aproximados de 20 [cm]. Hacia la cima se aprecian un estrato de limolita de color roja, cuyo espesor es de 75 [cm]. Se colectó la muestra FT-11.	1.75

17	Conglomerado polimíctico de grano medio compuesto por clastos de cuarzo metamórfico, esquistos y pedernal. Los clastos van de subangulosos a subredondeados, con diámetros de 0.5 a 3 [cm], contiene un 5% de matriz de arena fina. En la cima presenta estructuras de carga correspondientes a “flute cast”, con rumbo y echado de N20°W; 55° y N19°W; 68°.	1.05
16	Arenisca de grano fino constituido de cuarzo metamórfico en mayor proporción con un 65%, esquistos en 25% y 5% de pedernal. Los clastos son subangulosos a subredondeados, con tamaños de hasta 0.5 [cm]. Los estratos presentan estratificación tabular. Hacia la cima se presentan estructuras de carga. Se colectó la muestra FT-10.	1.20
15	Arenisca de grano medio a fino con intercalación de limolita arcillosa, de color rojo. Los clastos están constituidos de cuarzo metamórfico, esquisto y en menor porcentaje del 3% pedernal, con una matriz menor al 10%. Se presentan de subangulosos a subredondeados y clastosoportados. Los estratos presentan espesores que van de 22 a 50 [cm] y 20 [cm], respectivamente. Contiene fósiles de plantas en las areniscas finas de tipo las Bennettitales y Brachyphyllum.	1.52
14	Limolita arcillosa de color rojo, en estratos con espesores de 20 a 35 [cm]. La estratificación es tabular y continua.	2.45
13	Conglomerado polimíctico fino, constituido por esquisto, cuarzo metamórfico y en menor proporción pedernal (5%). Los clastos son subangulosos a subredondeados, con tamaños de arena media a 5 [cm], se presentan clastosoportados con un 15% de matriz de arena fina. Presenta intercalaciones de horizontes de carbón con espesores de 1 a 3 [cm]. El espesor de los estratos van de 25 a 50 [cm].	5.00

12	Arenisca de grano medio a fino intercalada con limolita de color rojizo y verde. Los clastos están constituidos de cuarzo metamórfico, esquisto y pedernal, son subangulosos a subredondeados, con tamaños de 0.3 a 3.5 [cm], contiene un 10% de matriz arcillosa. Los estratos tienen espesores que van de 10 a 40 [cm]. Se colectaron las muestras FT-8 y FT-9.	15.00
11	Conglomerado polimíctico medio intercalado con horizontes de lutita carbonosa, cuyos espesores varían de 1 a 10 [cm]. Los clastos están constituidos de cuarzo metamórfico, esquisto y pedernal, estos son subangulosos a subredondeados, con tamaños de 0.5 a 3 [cm], presentan un 15% de porcentaje de matriz arcillosa. Los estratos tiene espesores de 20 a 50 [cm], en algunos se aprecian marcas de nódulos de Fe.	5.00
10	Arenisca de grano fino a grueso intercalado con limolita de color rojo y verde. Los clastos son subangulosos a subredondeados, con diámetros de 0.2 a 1 [cm], además de un porcentaje del 20% de matriz arcillosa. Los estratos presentan espesores que van de 20 a 45 [cm] y su estratificación es tabular. Se colectó la muestra FT-7.	17.23
9	Conglomerado polimíctico de grano fino intercalado con lutita, de color gris. El conglomerado está constituido de cuarzo metamórfico, en menor proporción esquisto y pedernal, con un 15% de matriz. Los clastos son subangulosos a subredondeados, con tamaño de arena media a 2[cm], se presentan soportados por la matriz. Los espesores de los estratos van de 30 a 45[cm]. En la base se tiene un estrato de carbón con espesor de 66 [cm]. Se colectaron las muestras FT-5 y FT-6.	5.46

8	Conglomerado polimíctico fino constituido por cuarzo metamórfico, esquisto y pedernal. Los clastos son subangulosos a subredondeados, con tamaños que van de 0.5 a 2.5 [cm], presenta 15% de matriz de arena-arcillosa. Hacia la cima se presentan estratos de lutita de color grisácea y horizontes de carbón, con espesores de 47 [cm] y 28 [cm], respectivamente. Presenta fósiles de plantas, que corresponden a las Bennettitales, Helechos, Equisetum, conos de <i>Williamsonia</i> , <i>Mexiglosa varia</i> y Coniferales.	2.27
7	Conglomerado polimíctico medio a fino constituido de cuarzo metamórfico, esquisto y en menor proporción pedernal. Los clastos son subangulosos a subredondeados, con diámetros promedio de 0.6 a 3 [cm], se encuentran granosoportados. Los espesores de los estratos van de 20 a 45 [cm], en la cima de estos se aprecian costras de óxido de Fe. En la base partiendo de los 45 [cm] se observa una alternancia del conglomerado fino con horizontes de lutita carbonosa, de color grisácea con espesores de 1 a 3 [cm].	1.23
6	Arenisca de grano fino a grueso, intercalado con conglomerado polimíctico grueso, con mayoría de clastos de cuarzo metamórfico, además de esquisto y pedernal. Los clastos son subangulosos a subredondeados, con tamaños de arenas finas a 7 [cm]. Los estratos presentan espesores de 14 a 78 [cm], respectivamente. Hacia la cima se presentan capas de lutita carbonosa y arenisca fina, presenta óxido de Fe, con espesores de 20 y 35 [cm], respectivamente. Se colectó la muestra FT-4.	1.67
5	Conglomerado polimíctico fino intercalado con grueso, constituido de esquistos, cuarzo metamórfico y en menor proporción pedernal. Presenta un 10% de matriz de arena gruesa con muscovita. Los clastos son subangulosos a subredondeados, con diámetros que varían de 0.5 a 5 [cm]. Los estratos presentan espesores de 10 a 30 [cm] y se presentan irregulares.	1.32

4	Conglomerado polimíctico fino intercalado con conglomerado grueso, de forma lenticular. Los clastos están constituidos de cuarzo metamórfico, esquisto y pedernal, son subangulosos a subredondeados, con tamaños de 0.5 a 11 [cm]; presenta gradación inversa. El conglomerado fino contiene matriz de arena gruesa con un 20% de abundancia, los clastos se encuentran soportados por dicha matriz.	4.44
3	Conglomerado polimíctico de grano grueso intercalado con fino, los clastos varían de subangulosos a subredondeados, con diámetros que van de arenas medias a 6 [cm]. Se encuentran en su mayoría clastosoportados y se presenta hasta un 10% de arenas medias como matriz. Los estratos presentan espesores de 30 a 80 [cm], con gradación normal. Hacia la cima se observan estructuras de carga y bioturbación.	3.70
2	Conglomerado polimíctico de grano fino que alterna con conglomerado grueso constituido por cuarzo metamórfico, esquistos y pedernal, con una matriz de hasta 10%, los clastos son angulosos con tamaños de 0.5 a 12 [cm]; presentan gradación normal y se encuentran soportados por matriz de arena gruesa en estratos irregulares. Se colectó la muestra FT-3.	3.80
1 (Base)	Conglomerado polimíctico medio que alterna con conglomerado fino, constituido por cuarzo metamórfico, esquisto y pedernal, con 60%, 35% y 5% en abundancia, respectivamente. Los clastos son subangulosos a subredondeados con diámetros que van 0.5 a 3 [cm], en estratos con gradación normal. Hacia la cima se aprecian estructuras de carga, que corresponden a paleocanales de tipo “flute cast”, con dirección 46°NW; 09°. La estratificación presenta rumbos y echados promedio al NW con inclinación de 21° a 65° al NE. Se colectaron las muestras FT-1 y FT-2.	1.72

Tabla 2.4 Descripción de la Formación Tecamazuchil, medido sobre la Barranca La Mina, a faldas del Cerro Chicaltepec, entre el poblado de La Herradura y El Porvenir.

El espesor parcial de la columna medida es de 79.78 [m], con una litología representativa con buenos afloramientos en el Cerro Chicaltepec, donde se tiene una compleja morfología. Se realizó un cálculo analítico del espesor complementario para la obtención del espesor total de esta formación para el área estudiada.

Tomando el dato estructural de nuestro último estrato y con el uso de la brújula tipo *Brunton*, se proyectó un punto horizontal sobre el Cerro Chicaltepec, para posicionarlo en el mapa y tomar la altura total de la parte complementaria de la secuencia litológica, permitiendo realizar el cálculo, basándonos en un triángulo rectángulo, aplicamos la formula trigonométrica $\text{sen } \phi = \text{C.O.}/\text{hip}$; donde los datos fueron: $\phi=45^\circ$, C.O. = espesor ?, hip= 210 [m], despejando nuestra incógnita y sustituyendo datos se obtuvo un espesor parcial de 148.49 [m]. A partir de lo anterior se obtuvo un espesor total para la Formación Tecomazuchil en el área de Tecomatlán, Puebla, de 228.27 [m].

Descripción microscópica. Se colectaron 14 muestras de roca, las cuales se analizaron en lámina delgada. A continuación se presentan los resultados obtenidos, como son: porcentajes de los materiales constituyentes, tamaño y forma de los clastos, selección de ellos y su clasificación con base al diagrama de Dott (1964), modificada por Pettijhon (1974), además de fotografías representativas de cada una de ellas.

De las muestras obtenidas de esta formación distinguen 5 litologías, estas son litarenitas, sublitarenitas, lutitas, limolita y limolita arcillosa.

Muestra FT-6, presenta un contenido mineralógico de arcilla del 50% de abundancia, microcristales de cuarzo del 35%, feldespatos menor al 1% y el restante 14% corresponde a minerales opacos y carbón. Los microcristales son subangulosos a subredondeados, con tamaños menores a 0.020 [mm], los que están soportados por la matriz arcillosa. Se clasificó como lutita (Figura 2.25).

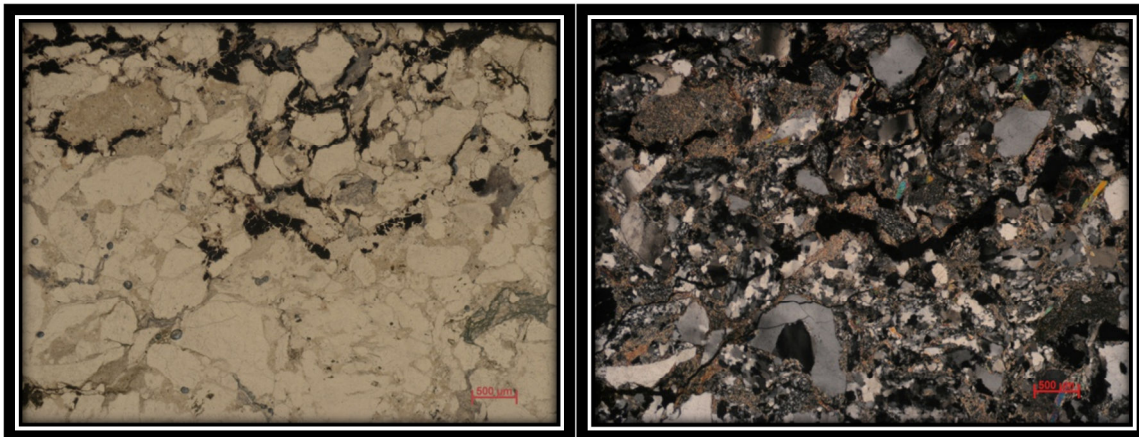


Figura 2.25 Muestra FT-6 de lutita vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

La muestra FT-5, presenta un contenido mineralógico de arcillas en un 20% de abundancia, cuarzo en un 60%, muscovita en un 15%; minerales accesorios y bandas de oxidación muy marcadas que representan el 5%. El tamaño de los microcristales varía de 0.045 a 0.062 [mm], estos se presentan de subangulosos a subredondeados, cuyos componentes están en su mayoría granosoportados. La muestra contiene fragmentos moderadamente seleccionados. Se clasificó como limolita (*Figura 2.26*).

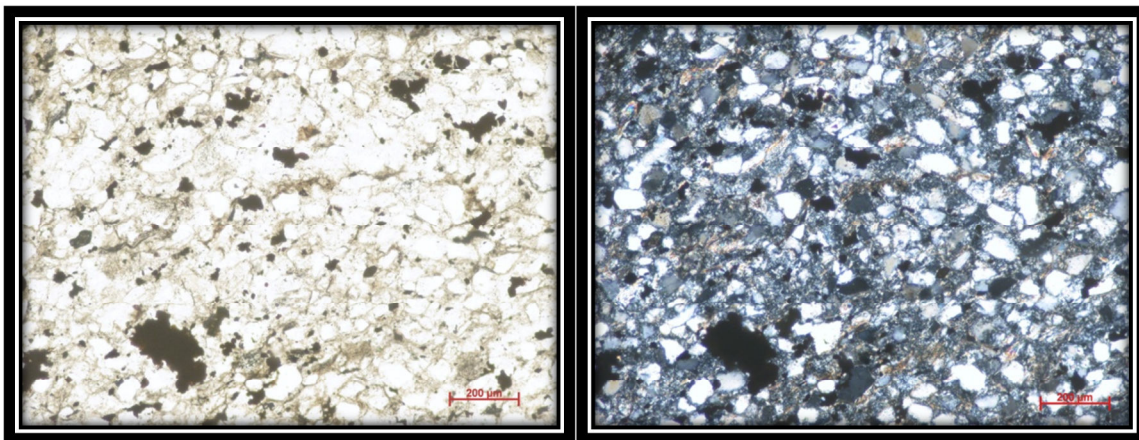


Figura 2.26 Muestra FT-5 de limolita vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

La muestra FT-7, tiene un contenido mineralógico de arcilla en un 40% de abundancia, cuarzo en un 25%, muscovita en un 25%, además de algunos minerales accesorios opacos en un 10%. Los

componentes en su mayoría son subangulosos a subredondeados, con tamaños que varían de 0.031 a 0.045 [mm], los cuales se encuentran soportados por matriz. La clasificación corresponde a una limolita arcillosa (*Figura 2.27*).

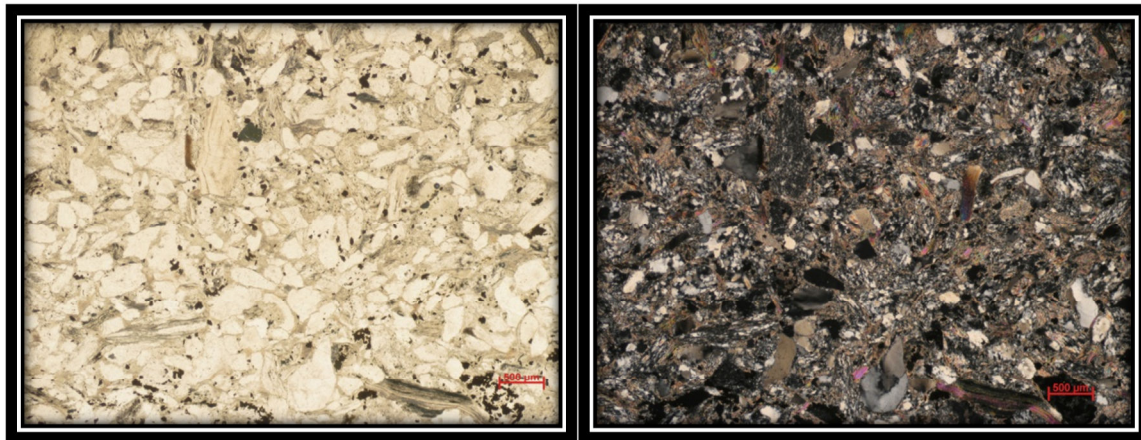


Figura 2.27 Muestra FT-7 de limolita vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

La muestra FT-9, tienen un contenido mineralógico de cuarzo en un 45% de abundancia, feldespato menor al 1%, muscovita en un 15%, minerales accesorios opacos en un 5% y fragmentos líticos en un 25%; los componentes, son subangulosos a subredondeados, con tamaños de 0.031 a 0.045 [mm]. La mayoría de los microcristales se encuentran soportados por la matriz arcillosa, la cual representa el 10% de abundancia, se observan poros rellenos de arcilla y fracturas rellenas de óxido de Fe. La clasificación correspondiente es de una limolita arcillosa (*Figura 2.28*).

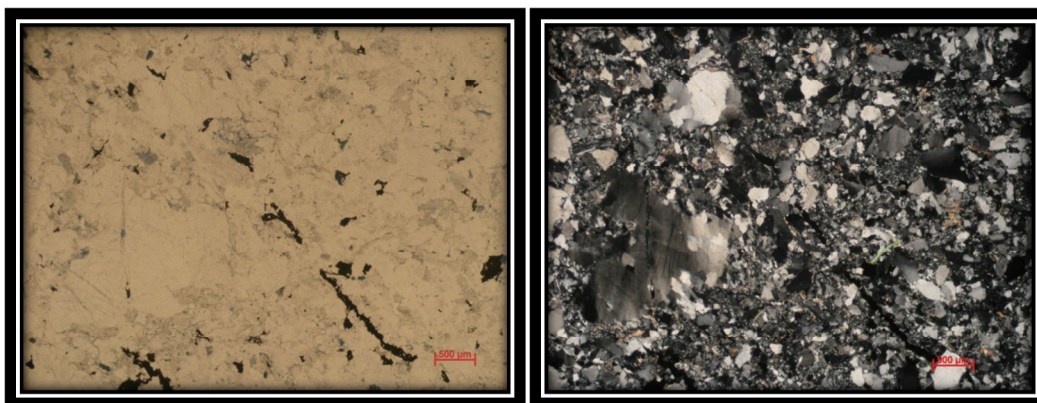


Figura 2.28 Muestra FT-9 de limolita arcillosa vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

La muestra FT-14, presenta un contenido mineralógico que corresponde a cuarzo con 25% de abundancia, minerales opacos y clorita con 30%. Contiene un 45% de matriz arcillosa. Los componentes van de subredondeados a redondeados, con tamaños de 0.030 a 0.055 [mm] y se encuentran soportados por la matriz. La clasificación corresponde a una limolita arcillosa (*Figura 2.29*).

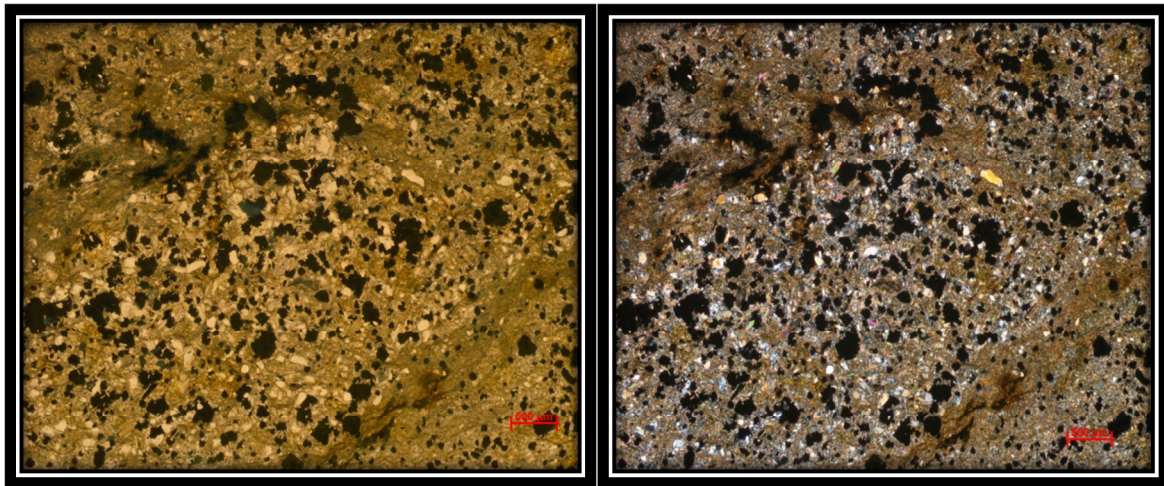


Figura 2.29 Muestra FT-14 de limolita arcillosa vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

La muestra FT-1, tiene un contenido en líticos que está representado por fragmentos de cuarzo en un 60% de abundancia, feldespato en un 5%, líticos de roca metamórfica en un 9%, muscovita en un 10%, además de minerales accesorios opacos de óxido de Fe que representan el 11%; los líticos van de angulosos a subredondeados, con tamaños que varían de arenas gruesas a medias. En su mayoría los clastos se observan clastosoportados y contiene una matriz que representa el 5%, y se encuentran moderadamente seleccionados. Se clasificó como litarenita (*Figura 2.30*).

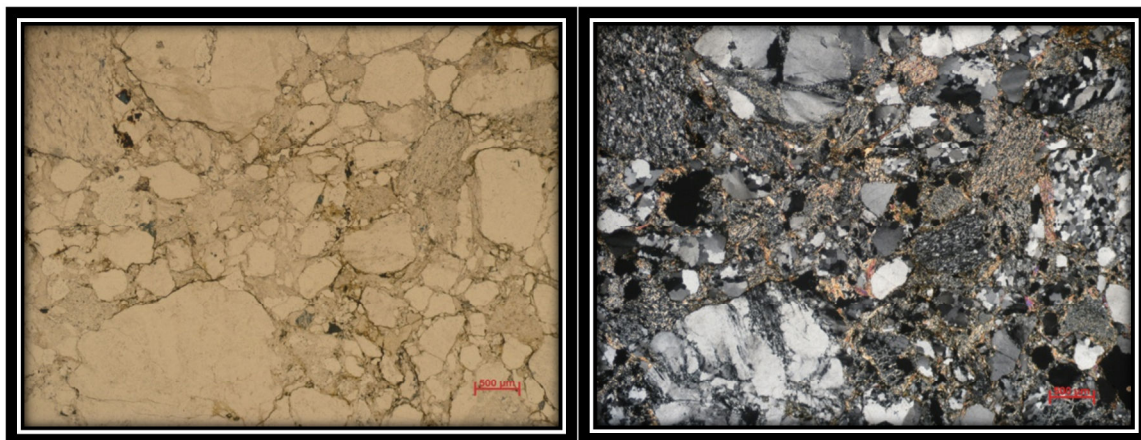


Figura 2.30 Muestra FT-1 de litarenita vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

La muestra FT-3, presenta un contenido de fragmentos de cuarzo en un 40% de abundancia, fragmentos líticos en un 25%, feldespatos en un 10 %, además de minerales opacos y muscovita en un 15%. Los líticos van de subangulosos a subredondeados, cuyo tamaño varia de arenas gruesas a medias. En su mayoría los cristales se encuentran granosoportados, tiene una matriz que representa el 10 % compuesta de arcillas. La muestra se encuentra mal seleccionada (Figura 2.31), se clasificó como litarenita.

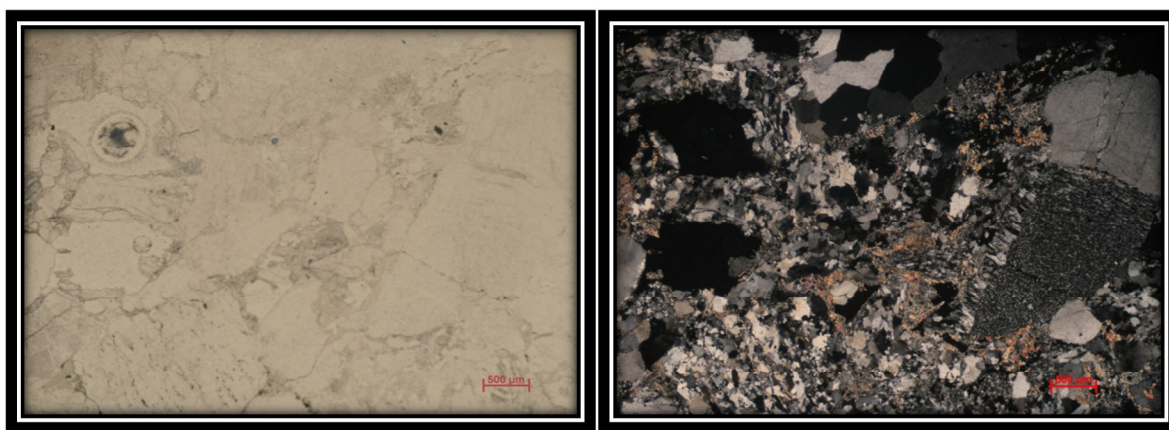


Figura 2.31 Muestra FT-3 de litarenita vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

La muestra FT-2, presenta un contenido de fragmentos líticos de cuarzo policristalino en un 40% de abundancia, feldespatos con 20%, fragmentos de roca con 20%, minerales opacos con 12% y

muscovita con un porcentaje menor al 3%. Los líticos son subangulosos a subredondeados, su tamaño varía de arenas gruesas a finas, presenta matriz del 15% de arcilla. Los líticos están granosoportados con poros rellenos de arcilla; los componentes de la muestra se observan moderadamente seleccionados. Se clasificó como una litarenita (Figura 2.32).

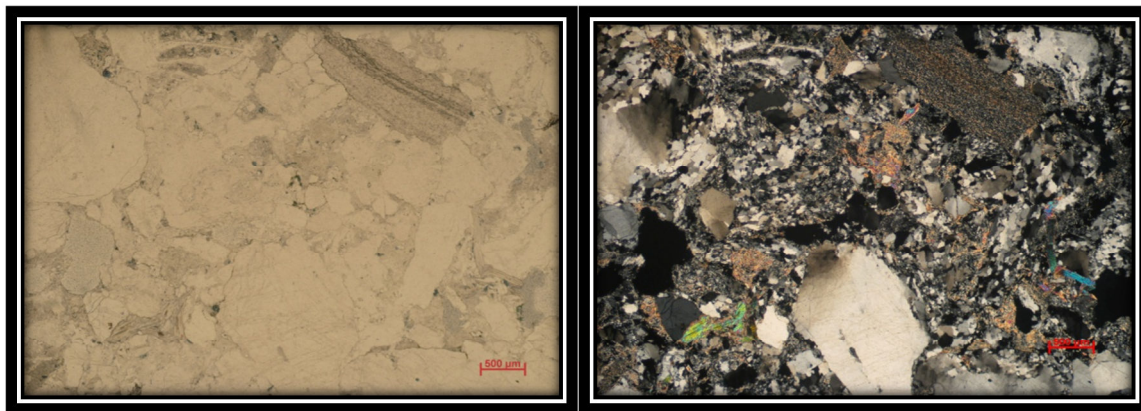


Figura 2.32 Muestra FT-2 de litarenita vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicols cruzados.

La muestra FT-11, tiene un contenido de cuarzo policristalino del 40% de abundancia, líticos de roca con un 35%, muscovita con 7.5%, además de minerales opacos con un porcentaje menor al 5%. Los componentes se presentan subangulosos a subredondeados, con tamaños que van de arenas gruesas a medias. Contiene un porcentaje de matriz arcillosa del 12%, que rellena los poros. La muestra se encuentra moderadamente seleccionada, su clasificación corresponde a litarenita (Figura 2.33).

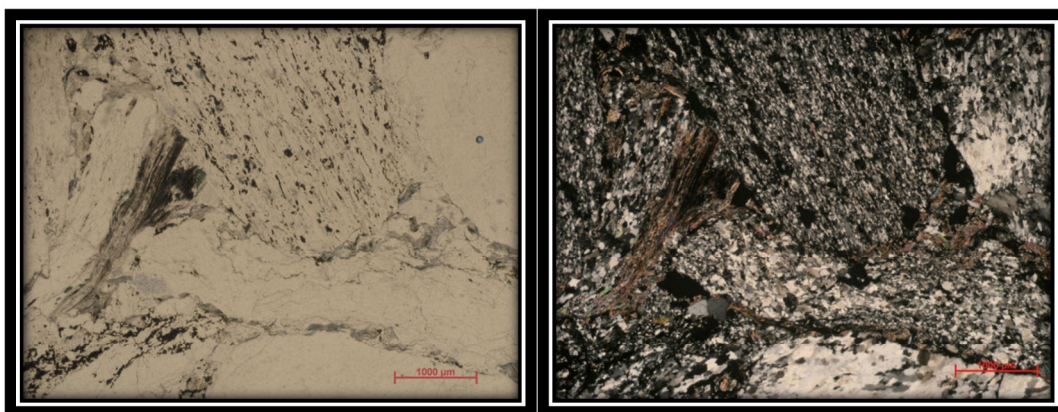


Figura 2.33 Muestra FT-11 de litarenita vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicols cruzados.

La muestra FT-12, presenta un contenido de cuarzo del 80% de abundancia, líticos de roca metamórfica del 5%, además de minerales opacos y biotita del 3.5%. Los cristales son subangulosos a subredondeados, con tamaños que varían de arenas gruesas a finas, que se presentan gransoportados. Presenta un porcentaje menor al 10% de matriz. Se observa porosidad secundaria rellena por óxidos de hierro; los componentes de la muestra se encuentran pobremente seleccionados. Se clasificó como una sublitarenita (*Figura 2.34*).

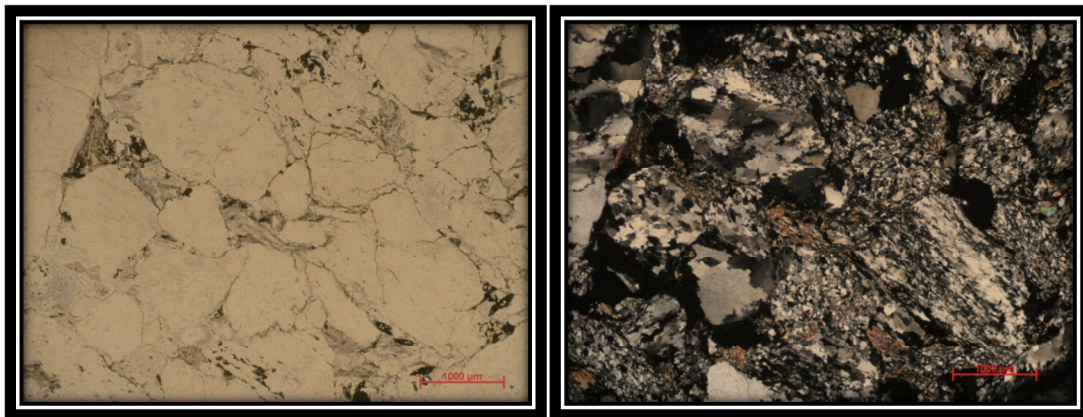


Figura 2.34 Muestra FT-12 de sublitarenita vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

La muestra FT-4, tiene un contenido de cuarzo policristalino del 40% de abundancia, fragmentos de roca del 25%, además de minerales opacos del 12%; en menor proporción muscovita con un 7.5%. Los cristales van de subangulosos a redondeados, su tamaño varía de arenas medias a finas y se encuentran gransoportados. Contiene un porcentaje menor al 15% de matriz arcillosa. Los poros se encuentran rellenos por matriz y los fragmentos de cuarzo presentan sobrecrecimiento; en general la muestra se encuentra moderadamente seleccionada. La clasificación corresponde a una litarenita (*Figura 2.35*).

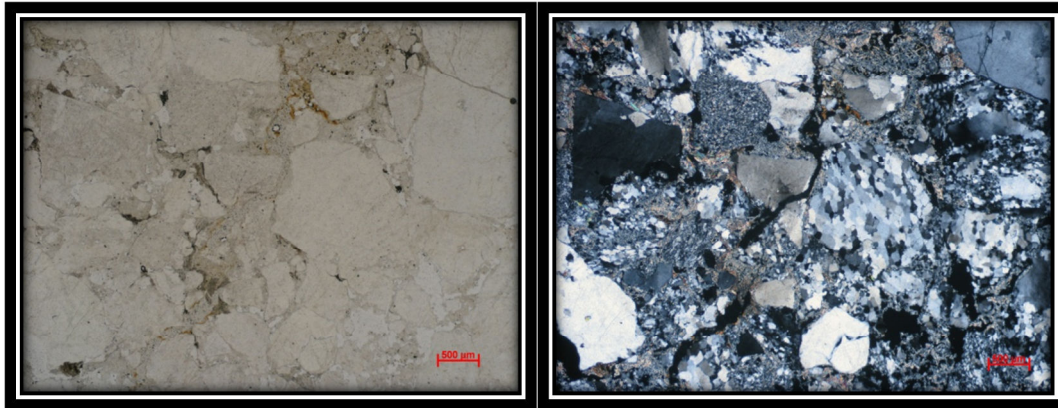


Figura 2.35 Muestra FT-4 de litarenita vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

La muestra FT-10, contiene líticos de cuarzo con un porcentaje de 25% de abundancia, fragmentos de roca el 30%; además de componentes accesorios opacos en un 35% y muscovita en proporción menor al 1%. Los líticos son subangulosos a subredondeados, con tamaños de 0.070 a 0.95 [mm], con un porcentaje menor al 10% de arcilla, con componentes bien seleccionados. Su clasificación corresponde a una litarenita (Figura 2.36).

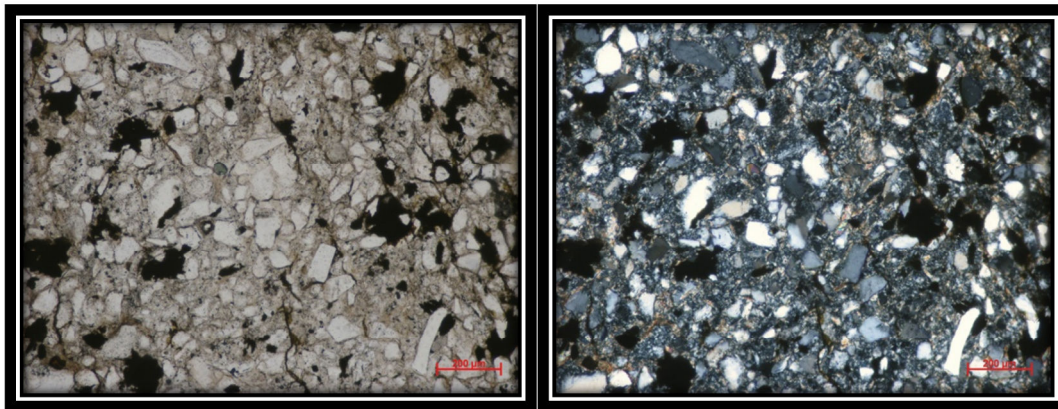


Figura 2.36 Muestra FT-10 de litarenita vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

La muestra FT-13, presenta líticos de cuarzo policristalino del 70% de abundancia, fragmentos de roca del 20%, además de minerales opacos y biótita del 3.5%. Los componentes son subangulosos a subredondeados, con tamaños de arenas medias a finas, granosoportados. Contiene un porcentaje de matriz menor del 10%. Los sedimentos se encuentran moderadamente seleccionados. Su clasificación corresponde a una litarenita (Figura 2.37).

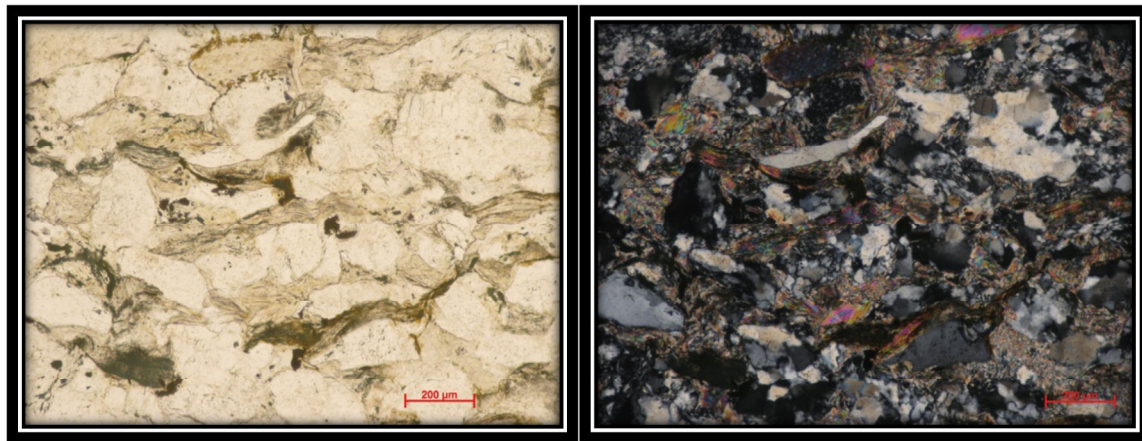


Figura 2.37 Muestra FT-13 de litarenita vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

La muestra FT-8, presenta un contenido de líticos de cuarzo policristalino del 50% de abundancia, fragmentos de roca con un 20%, feldespatos menor al 1%, además de muscovita del 2.5%. Los componentes van de subangulosos a subredondeados, con tamaños que varían de 0.85 a 1.25 [mm]. Contiene un porcentaje menor al 15% de matriz, y el 11.5% restante de componentes accesorios. La muestra se encuentra moderadamente seleccionada. Su clasificación corresponde a litarenita (*Figura 2.38*).

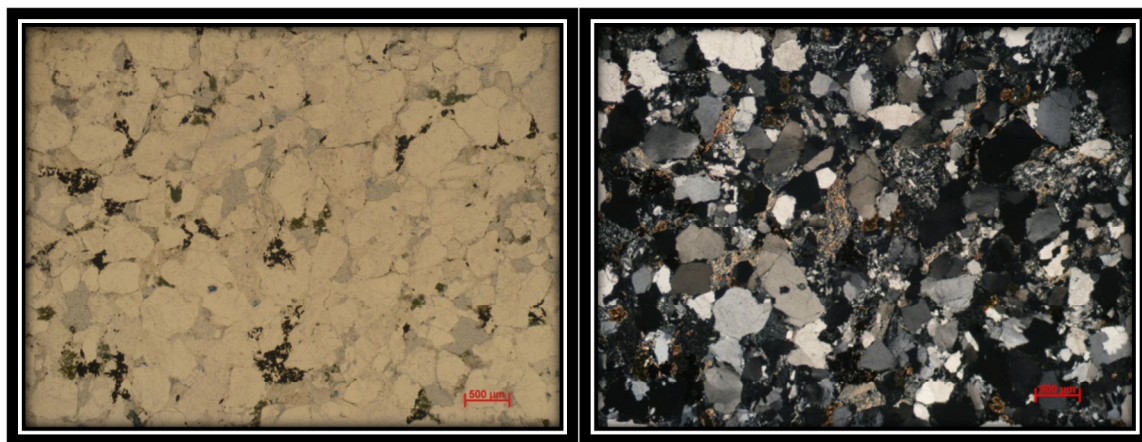


Figura 2.38 Muestra FT-8 de litarenita vista a través del microscopio petrográfico. A la izquierda vista con luz polarizada, a la derecha con nicoles cruzados.

2.2.1.3 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN HUAJUAPAN.

La tabla 2.5 y figura 2.39 presentan respectivamente la descripción y medición de una parte representativa de la Formación Huajuapan, la que fue medida a faldas del Cerro Tepeyehuale, sobre la carretera, que comunica a los poblados de Tezoquipan y La Unión, con coordenadas UTM 14 Q 576 890 [mE]; 1 999 282 [mN]. Esta unidad se encuentra constituida en la parte basal por una intercalación de areniscas conglomeráticas y arenisca media, de color rojizo al intemperismo y cementada por carbonato de calcio, compuesta de clastos principalmente de cuarzo metamórfico blanco con diámetros que varían de 0.5 a 5 [cm] y esquistos con tamaño de 0.2 a 6 [cm], presentando fracturas rellenas de yeso fibroso y carbonato de calcio, así como horizontes de limolitas y lentes conglomeráticos con clastos de cuarzo lechoso. En la parte media se tiene una intercalación de conglomerado, areniscas y caliza lacustre. El conglomerado es de color rojizo, soportado por matriz arenosa, las areniscas van de medias a finas y se encuentran cementadas por carbonato de calcio; las calizas varían de mudstone a packstone. Se tienen también algunos estratos de arcilla y un horizonte de carbón y pedernal. La parte superior consiste en una intercalación de areniscas, limolitas y lutitas, que hacia la cima presenta estratos de calizas y areniscas tobáceas. En la medición de esta sección se utilizó la brújula tipo *Brunton* y cinta métrica. El espesor medido de esta formación es de 80.12 [m], cuya descripción se indica en la tabla 2.5.

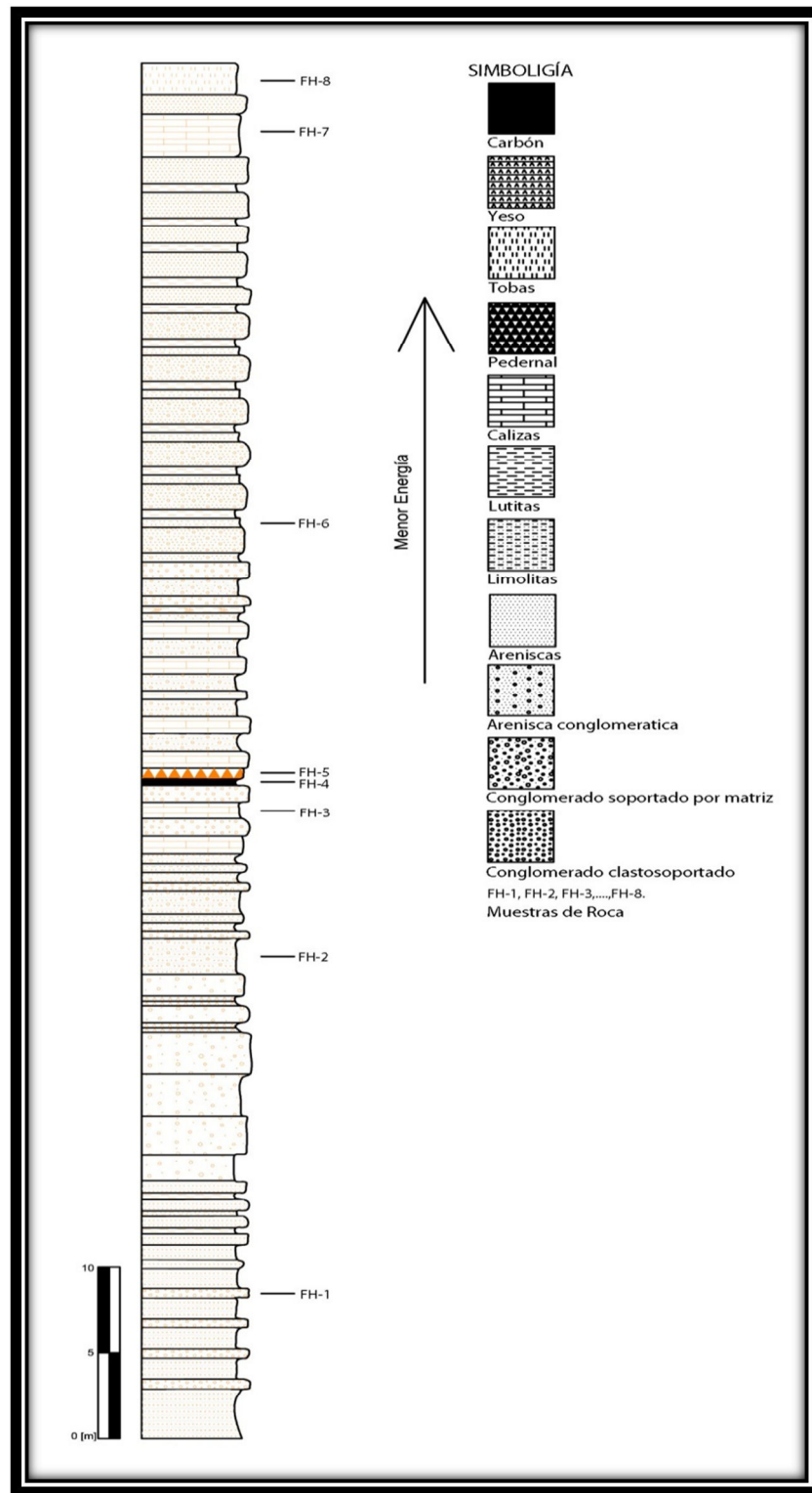


Figura 2.39 Columna Estratigráfica de la Formación Huajuapán, medida sobre la carretera, entre los poblados La Unión y Tezoquipan, Puebla.

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN HUAJUAPAN.

	Unidad	Litología	Espesor [m]
	Cima	Total	80.12
F O R M A C I Ó N H U A J U A P A N	7	Alternancia de arenisca fina de color gris claro verdoso, limolitas y lutitas; en las areniscas se tienen estructuras de carga. En la parte media contiene estratos de conglomerado con matriz arenosa, compuesta de fragmentos de cuarzo blanco y esquisto, presenta cementante calcáreo. En la parte superior se encuentran estratos de caliza homogénea, con espesores de hasta 0.45 [m], con nódulos de pedernal y vetillas de calcita (dientes de perro). En la cima contiene areniscas calcáreas bastante alterada, estratos de toba lítica, con estratificación tabular; esta última unidad corona la secuencia. Se colectaron las muestras FH-7 y FH-8.	13.4
	6	En la base se compone de una alternancia de lutitas, limolitas rojas y areniscas conglomeráticas, donde las lutitas y las areniscas conglomeráticas contienen abundante cuarzo anguloso con cementante calcáreo y presenta estructuras de carga. Contiene algunos horizontes de arenisca fina a media y algunos lentes de arenisca conglomerática, con espesores de 0.20 a 0.45 [m], respectivamente. Se colectó la muestra FH-6.	14.81
	5	Arena con granulometría de media a fina alternada con caliza lacustre; la arena contiene lentes de grava, con clastos de cuarzo metamórfico blanco; hacia arriba disminuye la influencia de gravilla y la caliza se va haciendo más pura y homogénea. En la parte media se tiene arenisca conglomerática con horizontes de arcilla, los clastos con granulometría más gruesa son subangulosos a subredondeados. En la cima se tiene una intercalación de conglomerado de cuarzo con arenisca conglomerática, con lentes de arenisca fina y limolita.	8

4	Caliza lacustre alternada con conglomerado fino, donde la caliza es color gris claro con manchas negras de Pirolusitas; el conglomerado presenta un color rojizo al intemperismo, se compone de fragmentos de cuarzo metamórfico blanco y esquisto, los fragmentos son angulosos, la matriz es de arena y el cementante es de carbonato de calcio. Presenta también algunos horizontes aislados de lutitas y areniscas finas. La parte media se caracteriza por contener algunos estratos de arenisca conglomerática de color roja, con fragmentos de pedernal; también se tiene la presencia de lutitas carbonosas y un pequeño horizonte de carbón, seguido de una alternancia de caliza y conglomerado, con espesores de 0.80 a 1.50 [m]. En la cima de este paquete la caliza presenta fragmentos de gravilla y materia orgánica. Se colectaron las muestras FH-3, FH-4 y FH-5.	9.5
3	Arenisca conglomerática con estratificación gradada e intercalación de algunos estratos lenticulares de conglomerado de grava y horizontes de limolita; presenta estructuras de carga y su cementante es carbonato de calcio. Se colectó la muestra FH-2.	6.9
2	Conglomerado alternado con arenisca conglomerática en estratos irregulares con estratificación gradada, presentan espesores que van de 0.35 a 1.5 [m] contiene algunos horizontes delgados de yeso.	12.01
1 (Base)	Arenisca de grano fino de color rojo con horizontes de yeso blanco fibroso, se presentan perpendicular a la estratificación, con fragmentos de roca metamórfica (cuarzo blanco y esquisto), que van de angulosos a subangulosos, con diámetro de 0.5 a 5 [cm], la matriz es de limos color rojos; se observan fracturas rellenas por calcita. En la parte media se tienen horizontes de gravilla y arenisca conglomerática con capas delgadas de yeso, también presenta intercalaciones de lutita y limolita, de color gris claro y verde, con espesores de 0.30 a .45 [m]. En la parte superior hay una alternancia de conglomerado medio con arenisca conglomerática en estratos lenticulares. Se colectó la muestra FH-1.	15.5

Tabla 2.5 Descripción de la Formación Huajuapán, medida sobre la carretera estatal, entre los poblados La Unión y Tezoquipán, Puebla.

Descripción macroscópica. Se identificaron 8 litologías para esta formación estas son: conglomerado cuarcítico, arenisca conglomerática, arenisca, calizas, limolita, carbón, pedernal, y toba.

Muestra FH-1, de la parte basal de la formación; corresponde con un conglomerado polimíctico que presenta un contenido lítico conformado por fragmentos de cuarzo con tonalidades rosáceas y blancas, en un 80% de abundancia; además de fragmentos de esquistos en menor proporción. Los clastos son subangulosos a subredondeados, con tamaños que van de 0.2 a 5 [cm]. Presenta un 20% de matriz de arena fina. En la base los clastos están soportados por dicha matriz y hacia la cima se observan granosoportados con cementante calcáreo, estos se encuentran mal seleccionados (*Figura 2.40*). Su clasificación corresponde a un conglomerado cuarcítico.



Figura 2.40 Conglomerado cuarcítico correspondiente a la parte basal de la Formación Huajuapán, localizado sobre la carretera, entre los poblados La Unión y Tezoquipán, Puebla.

Muestra FH-2, unidad de forma masiva, de color gris al fresco y rojiza al intemperismo, su contenido mineralógico de mayor porcentaje es cuarzo en un 60%, esquisto en 10%, fragmentos de roca en un 7%, micas en un 3% y matriz de arena en un 20%, sus clastos son subredondeados a redondeados, con diámetros que varían de 0.2 a 1.5 [cm], presentan vetillas de calcita, con cementante calcáreo. Algunos estratos presentan lentes de arena fina a media (*Figura 2.41*). Su clasificación corresponde a una arenisca conglomerática.



Figura 2.41 Arenisca conglomerática, que en la parte inferior izquierda presenta una fractura rellena de calcita. Colectada sobre la carretera, entre los poblados La Unión y Tezoquipan, Puebla.

Muestra FH-3, caliza homogénea de color rojizo al intemperismo y gris claro al fresco con nódulos de pedernal, se presenta de manera masiva, su cementante es calcáreo y contiene vetillas de carbonato de calcio (Figura 2.42). Su clasificación corresponde a un mudstone.



Figura 2.42 Caliza mudstone con vetillas de calcita, sobre la carretera, entre los poblados La Unión y Tezoquipan, Puebla.

Muestra FH-6, capa homogénea de color rojo, de grano muy fino, presenta granos de cuarzo en un 3% de abundancia. Los clastos son subredondeados, con tamaños de 0.2 [cm] a 0.5 [cm]. Los estratos contienen vetillas de calcita (Figura 2.43). Su clasificación corresponde con una limolita.



Figura 2.43 Limolita de color rojo con vetillas de calcita de la Formació Huajuapán, que aflora sobre la carretera, entre los poblados La Unión y Tezoquipán, Puebla.

Muestra FH-4, horizonte de color negro, se presenta laminado y homogéneo, con tamaño de arcillas (*Figura 2.44*). Su clasificación corresponde a Carbón.



Figura 2.44 Horizonte de carbón correspondiente a la parte media de la Formación Huajuapán, sobre la carretera, entre los poblados La Unión y Tezoquipán, Puebla

Muestra FH-5, capa de color negro que adquiere colores rojizos por intemperismo, se presenta de manera discontinua (*Figura 2.45*). Su clasificación corresponde a pedernal.



Figura 2.45 Capa de pedernal con espesor de 5 [cm], subyaciendo al carbón, localizado sobre la carretera, entre los poblados La Unión y Tezoquipan, Puebla.

Muestra FH-7, de color gris al fresco con tonalidades rojizas por intemperismo, con buena porosidad. Los estratos son irregulares en forma convexa (estructuras de flama), como se muestra en la *Figura 2.46*. Su clasificación corresponde a travertino.

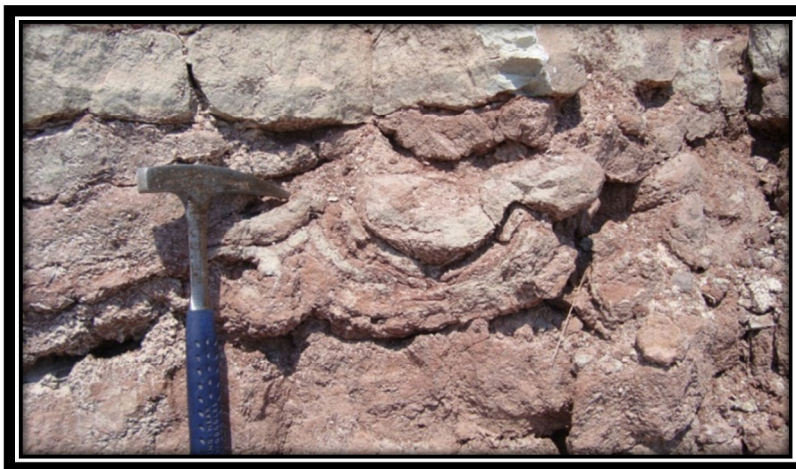


Figura 2.46 Travertino en horizontes discontinuos, ubicada sobre la carretera, entre los poblados La Unión y Tezoquipan, Puebla.

Muestra FH-8, corresponde con una toba lítica de grano medio a fino, de color gris claro a blanco-amarillento; se presenta de manera homogénea (Figura 2.47). Su contenido es de fragmentos de cuarzo y vidrio con presencia de vetillas de sílice. Se clasificó como toba.



Figura 2.47 Toba lítica de aspecto masivo, constituyendo la cima de la Formación Huajuapán, ubicada sobre la carretera, entre los poblados La Unión y Tezoquipán, Puebla.

2.2.2 CONTENIDO PALEONTOLÓGICO.

Los fósiles encontrados y reportados en este trabajo, se localizaron en los estratos de clásticos finos en las unidades Conglomerado Peña Colorada y la Formación Tecomazuchil, son principalmente tallos y hojas de plantas; estas son más abundantes en la base de la Formación Tecomazuchil, sobre todo en las en las proximidades de donde se tienen los horizontes de carbón, en las capas de lutitas; en la cima se encuentran en horizontes de arenisca de grano fino, las familias encontradas y sus especies fueron determinados y estudiados por Velasco y colaboradores (2011). Los fósiles más importantes son:

CYCADEOIDACEAE

- Bennettiales
 - *Zamites oaxacensis* (Figura 2.48)
 - *Zamites tribulosus*

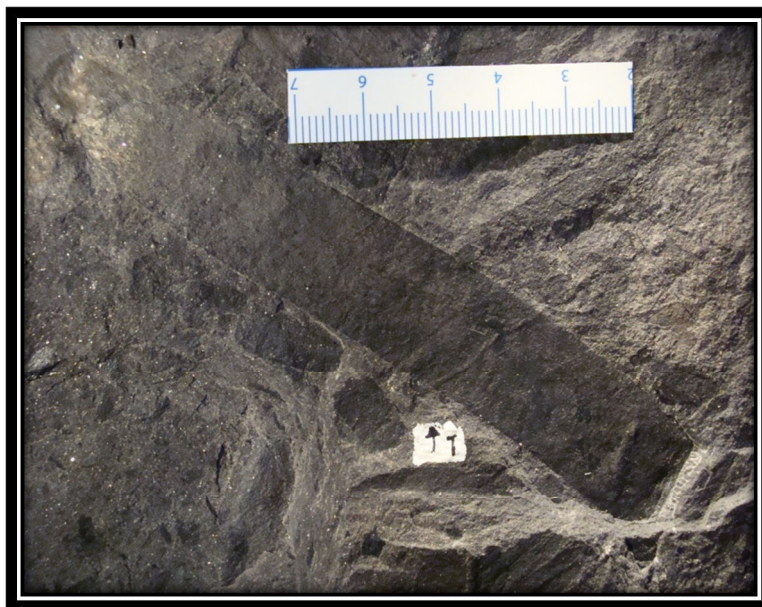


Figura 2.48 Ejemplar de *Zamite oaxacensis*, contenido en una lutita con presencia de muscovita, en la localidad de la Barranca La Mina.

- *Zamites feneonis* (Figura 2.49)
- *Zamites lucerensis*
- *Zamites sp.*



Figura 2.49 Ejemplar de *Zamite feneonis*, contenido en una lutita, en la localidad de la Barranca La Mina.

- *Otozamites hespera* (Figura 2.50)
- *Otozamites* sp.



Figura 2.50 Ejemplar de *Otozamites hespera*, contenido en una litarenita de grano fino, a faldas del Cerro Chicaltepec, entre el poblado de La Herradura y El Porvenir.

- *Ptilophyllum* sp. (Figura 2.51)
- *Ptilophyllum cutchense*
- *Ptilophyllum pulcherrium*
- *Ptilophyllum acutifolium*
- *Pterophyllum* sp.
- *Pterophyllum nathorstii*



Figura 2.51 Ejemplar de Ptilophyllum sp., contenido en una litarenita de grano fino, en la localidad de la Barranca La Mina.

INCENRTAE SEDIS

- *Mexiglosa varia* (Figura 2.52)

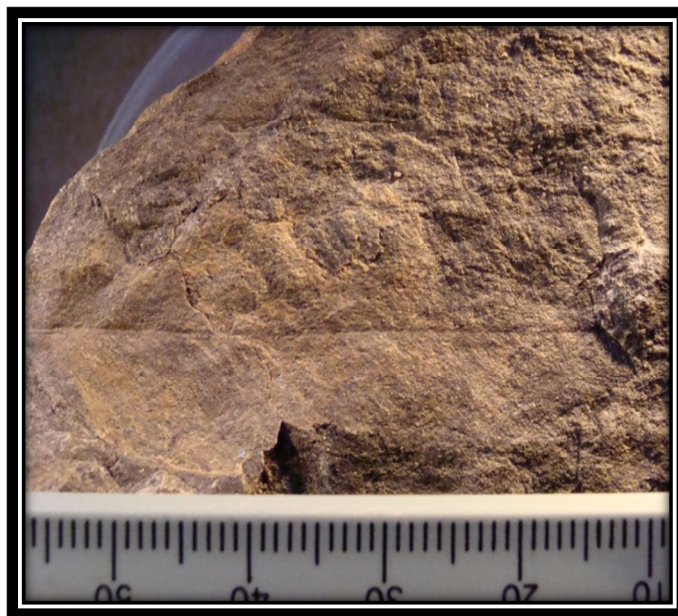


Figura 2.52 Ejemplar de Mexiglosa varia, contenido en una litarenita de grano fino, en la localidad de la Barranca La Mina.

DICKSONIACEAE

- Helechos
 - Morfoespecie 5
 - Morfoespecie 9
 - Morfoespecie 1
 - *Sphenopteris geopperti*
 - *Gonatosorus*
 - *Elatocladus*

EQUISETACEAE

- *Equisetum*

CONOS

- *Williamsonia*

CHEIROLEPADACEAE

- *Brachyphyllum* (*Figura 2.53*)



Figura 2.53 Ejemplar de *Brachyphyllum*, contenido en una litarenita de grano fino, a faldas del Cerro Chicaltepec, entre el poblado de La Herradura y El Porvenir.

Silvia (1978) estudió ejemplares de la Formación Tecomazuchil provenientes de las inmediaciones de Texcalapa y Ayuquila, Oaxaca, en el que reporta los siguientes fósiles del Jurásico Medio:

Tallos de equisetales de especies intermedias

- *Equisetum rajmahalensis*.
- *Piazopteris branneri*.
- *Gonatosorus nathorstii*.
- *Sagenopteris* sp. Aff. *nilssoniana*.
- *Nilssonia macrophylla*.
- *Williamsonia nathorstii* Wieland.
- *Williamsonia netzahualcoyotlii* Wieland.

- *Zamites Tribulosus Person.*
- *Ptilophyllum acutifolium*
- *Ptilophyllum cutchense*

Mendoza (2002), reporta por primera vez la presencia de gasterópodos, tales como *Unio ogamigoensis* Kobayashi and Suzuki y *Pila* (Turbinicola?) *nipponica* Kobayashi y Suzuki, respectivamente con una edad correspondiente al Jurásico Medio.

Grimaldo (2010), a partir de muestras recolectadas en las inmediaciones de Texcalapa y Ayuquila, identificó nueva flora fósil. Reportada por Velasco de León (2009, comunicación personal) la presencia de las Bennettitales, semilla de *pteridosperma*, frondas de *Pseudoctenis sp*, frondas de *Anomozamites*, conos de *Williamsonia*, madera de coníferas, ramas de *Brachyphyllum*, pelecípodos de agua dulce, *Bennettitales (Ptillophyllum)*, *Zamites* y abundancia de troncos.

2.2.3 LITOFACIES.

Una litofacies es definida como un cuerpo de roca (sedimentos) con características específicas, por lo que puede ser una simple capa o grupo de ellas. Idealmente, está debería corresponder con una roca distintiva que se formó bajo ciertas condiciones de sedimentación, reflejando procesos particulares y un conjunto de condiciones o características ambientales (Reading, 1996).

Para describir diferentes litofacies Miall (1996), propone el uso de un sistema de códigos identificatorios de las distintas facies que pueden existir en los sistemas fluviales (Tabla 2.6), mismas que se emplean para describir las facies de las unidades Jurásicas estudiadas en este trabajo.

Código de Facies	Facies	Estructuras Sedimentarias	Interpretación
Gmm	Grava masiva, matriz soportada	Gradación pobre	Flujo de detritos plásticos (alta resistencia, viscoso).

Gmg	Grava matriz soportada	Gradación inversa a normal	Flujo de detritos pseudoplásticos (baja resistencia, viscoso).
Gci	Grava clasto soportada	Gradación inversa	Flujo de detritos ricos en clastos (alta resistencia) o flujo de detritos pseudoplásticos (baja resistencia).
Gcm	Grava masiva clasto soportada	Ninguna	Flujo de detritos pseudoplásticos (carga de fondo inercial, flujo turbulento).
Gh	Grava con estratificación gruesa, clasto soportada	Estratificación horizontal, imbricación	Barras longitudinales, depósitos por rezago o depósitos clasificados.
Gt	Grava estratificada	Estratificación en artesas	Colmata de canales menores.
Gp	Grava estratificada	Estratificación cruzada planar	Estructuras Sedimentarias transversales, crecimientos deltaicos de remanentes de antiguas barras.
St	Arena, fina a gruesa. Puede ser guijarrosa	Estratificación cruzada curvada solitaria o en grupo.	Dunas de cresta sinuosa o lingüiforme.
Sp	Arena, fina a gruesa. Puede ser guijarrosa	Estratificación cruzada planar solitaria o agrupada	Estructuras sedimentarias transversas o lingüiformes.
Sr	Arena, fina a gruesa	Estratificación cruzada con ondulitas	Ondulitas (régimen de flujo bajo).
Sh	Arena, fina a gruesa. Puede ser guijarrosa	Laminación horizontal, particionada o de corriente	Flujo de estratificación planar (flujo crítico).

Sl	Arena, fina a gruesa. Puede ser guijarrosa	Estratificación cruzada de bajo ángulo (>15°)	Rellenos de cavidades erosivas, montecillos, dunas agotadas, antidunas.
Ss	Arena, fina a gruesa. Puede ser guijarrosa	Cavidades erosivas someras y amplias.	Llenado de estructuras erosivas.
Sm	Arena, fina a muy gruesa.	Laminación masiva o poco clara	Depósitos de flujos de sedimentos gravitacionales.
Fl	Arena, limo, fango	Laminación fina, ondulitas muy pequeñas	Llanura de inundación, canales abandonados o depósitos de inundación en su etapa final.
Fsm	Limo, fango	Masiva	Pantano o canal abandonado.
Fm	Fango, limo	Masiva, grietas de desecación	Planicie de inundación, canales abandonados o depósitos de desborde.
Fr	Fango, limo	Masiva, raíces, bioturbación	Capas de raíces, suelo incipiente.
C	Carbón, fango carbonáceo	Improntas de plantas en el fango	Depósitos de pantanos ricos en vegetación.
P	Carbonato paleosol (calcita, siderita)	Características pedogénicas: nódulos, filamentos	Suelo con precipitación química.

Tabla 2.6 Clasificación y códigos de facies, con su respectiva interpretación (Modificado de Miall, 1996).

Además, Miall (1996) define como un elemento de la arquitectura fluvial a los componentes de un sistema depositacional equivalente en tamaño no mayor que un canal lleno, y no menor que una unidad de facies. Se caracteriza por poseer un distintivo conjunto de facies, geometría interna, forma externa y en algunas instancias, un perfil vertical. Se estudia de forma similar al caso de las litofacies, ya que se propone un sistema de códigos para catalogar los distintos tipos de elementos arquitectónicos (Tabla 2.7).

<i>Símbolo</i>	<i>Elemento arquitectural</i>	<i>Conjunto de facies principales</i>	<i>Geometría y relaciones</i>
CH	Canales	Cualquier combinación	Dedos, lentes o capas; base erosional cóncava hacia arriba, escala y forma variable.
GB	Barras y estructuras sedimentarias de gravas	Gm, Gp, Gt	Lentes, estratos plano, usualmente cuerpos tabulares; comúnmente interestratificado con SB.
SB	Estructuras sedimentarias arenosas	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Lentes, capas, planos, cuñas, ocurren como rellenos de canales, barras menores.
DA	Macroformas de acreción aguas abajo	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Lentes descansando en planos o en base canalizada.
LA	Macroformas de acreción latera	St, Sp, Sh, Sl, Se, Ss o menos	Cuñas, capas, lóbulos.
HO	Hoyo de erosión sin orientación	Gh, Gt, St, Sl	Agujero de formas acucharadas con llenado asimétrico.
SG	Flujos sedimentarios gravitacionales	Gmm, Gmg, Gci, Gcm	Lóbulos, capas, típicamente interestratificadas con GB.
LS	Arenas laminadas	Sh, Sl; en menor proporción Sp, Sr	Capas, planos.
FF	Sedimentos finos de llanura de inundación	Fm, Fl	Planos delgados o gruesos, comúnmente interestratificado con SB, puede llenar canales abandonados.

Tabla 2.7 Clasificación y códigos de elementos arquitectónicos con su agrupación de facies, geometría y relaciones características. (Modificado de Miall, 1996).

Los depósitos fluviales entrelazados se forman en 3 tipos de ambientes: ríos entrelazados, abanicos aluviales y llanuras aluviales (Arche, 1992). Miall (1977) menciona diferentes tipos de secuencias de sedimentación en este tipo de depósitos aluviales (*Figura 2.54*). En una secuencia tipo Scott (*Figura 2.54*) donde los sedimentos importantes son las gravas que se presentan como depósitos de barras. Interestratificados con estos horizontes se tienen estratos lenticulares de arenas que representan el depósito en canales abandonados o en los límites de las barras. Para las secuencias de tipo Donjek (*Figura 2.54*) se tiene que los flujos de corrientes no son tan constantes, la arcilla y el lodo pueden ser depositados permitiendo así preservar las secuencias verticales, esto indica que el caudal del río estuvo controlado por cambios estacionales y por las variaciones en las precipitaciones pluviales.

La secuencia tipo Platte (*Figura 2.54*) nos demuestra que en las planicies más distantes de los sistemas de ríos, las corrientes son distribuidas por canales muy someros. Los gradientes en la pendiente y la competencia en el transporte de las corrientes son más bajas que en la porción proximal, por lo que la arena es el producto más característico del proceso de sedimentación. Los horizontes de arena con estratificación cruzada plana representan los sedimentos más abundantes; aunque también pueden llegar a desarrollarse horizontes de gravas debido a la formación de barras longitudinales o depósitos finos de desbordamiento de canal.

En esta secuencia se produce la acreción de las barras longitudinales y la disección de las barras transversales, donde la distribución de estos dos tipos de barras en esta secuencia depende de la textura de la carga de fondo. Los sedimentos gruesos pobremente clasificados, forman barras longitudinales, y los de grano más fino y mejor clasificados forman barras transversales a longitudinales donde aumenta la cantidad de aguas río abajo (Smith, 1970).

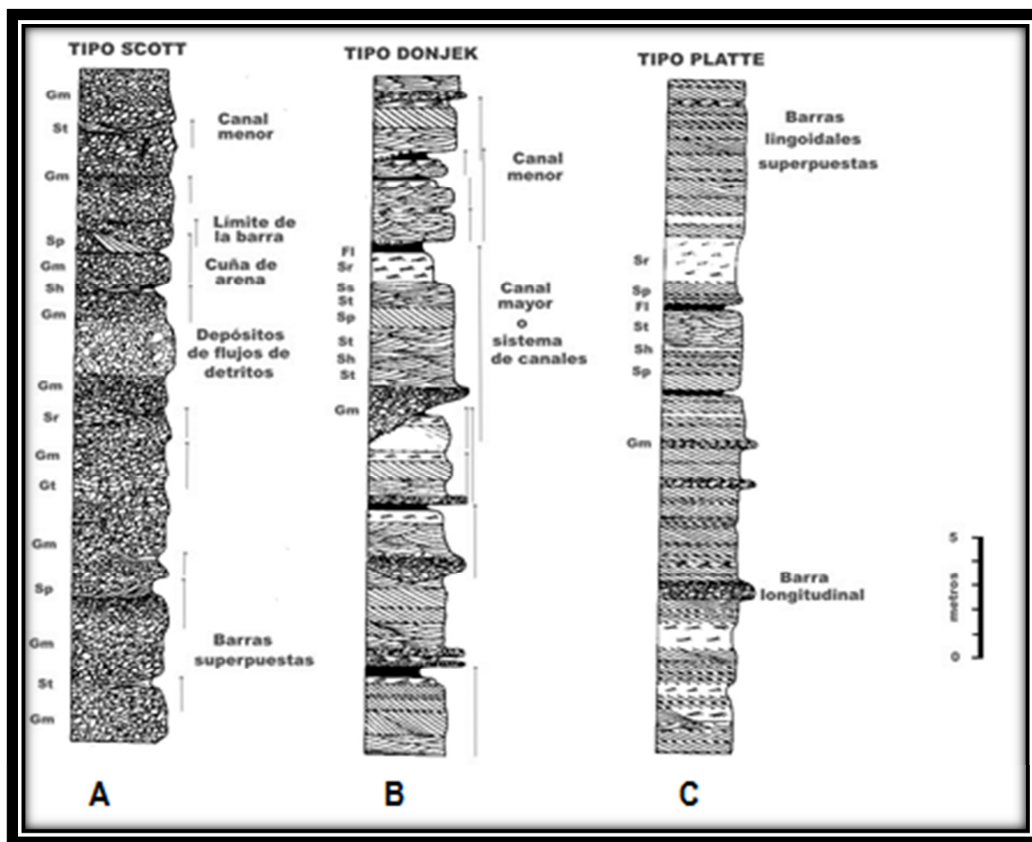


Figura 2.54 Secuencias verticales características de los diferentes tipos de sistemas fluviales (Tomada de Arche, 1992).

Para el área de estudio se tienen una secuencia tipo Scott para el Conglomerado Peña Colorada, así mismo, una secuencia de tipo Donjek, Scott y Platte para la Formación Tecomazuchil, presentando litofacies de tipo Gcm, Gmg, Gci, Sh, Fl y C. La combinación obtenida con base a las columnas estratigráficas medidas y a la tabla 2.7 permiten determinar un ambiente para el Conglomerado Peña Colorada dentro de un flujo de escombros en los bordes de la cuenca y un río meándrico para la parte central de la cuenca, donde ocurrió la sedimentación que origino a la Formación Tecomazuchil, la cual también tiene facies de llanuras de inundación, barras longitudinales y de punto; además de canales abandonados que originaron lagos de media luna. A continuación se describen las facies interpretadas, con base a las características litológicas y estructuras sedimentarias que separan a una facies de otra, a partir de las columnas estratigráficas medidas en el Conglomerado Peña Colorada el cual presenta las facies F1 y F2, y en la Formación Tecomazuchil las facies F1, F2, F3, F4, F5 Y F6, dentro del área de estudio.

F1 - Conglomerado clastosoportado: En general el diámetro de los clastos varía de 0.5 a 25 [cm], los clastos son de cuarzo metamórfico, esquisto y pedernal; la abundancia de uno a otro componente varía dependiendo del nivel estratigráfico. Los clastos van de subangulosos a subredondeados, estos se encuentran clasto soportados. Los estratos presentan estructuras de carga, bioturbación, nódulos de Fe, lentes de arena y rellenos de canal. Se presenta de manera masiva a irregular, su gradación es normal e inversa, su matriz es menor a un 15%. Su depósito ocurrió en la parte proximal de un abanico aluvial.

F2 - Conglomerado soportado por matriz: El diámetro de sus clastos varía de 0.5 a 12 [cm], con clastos de cuarzo, esquisto y pedernal; estos van de subangulosos a subredondeados. Los clastos se encuentran soportados por matriz del 20% de abundancia. Los estratos se presenta de manera irregular y en algunos casos masiva, sus estructuras sedimentarias corresponden a paleocanales, su estratificación se presenta normal, inversa y paralela. Su depósito corresponde con un flujo de escombros en un talud ubicado en la periferia de la cuenca.

F3 - Areniscas: Los tamaños de clastos varia de 0.2 a 2 [cm], constituidos de fragmentos de cuarzo metamórfico, esquisto y pedernal, que presentan bordes subangulosos a subredondeados; sus estructuras sedimentarias son de carga y nódulos de Fe; la estratificación es generalmente paralela y su matriz es menor al 15%. En ellas se encuentran bien preservado el material fósil. Representan condiciones de un ambiente fluvial, meándrico.

F4 - Limolitas: Color rojo al intemperismo con estratificación tabular y continua, presenta acuñamiento. Representan condiciones de baja energía en una llanura de inundación en tiempos de máxima precipitación pluvial.

F5 - Lutitas: Es la fracción fina de la secuencia clástica, en ellas se encuentran lentes de carbón; se presenta en estratos paralelos y continuos. Se depositó en condiciones de escasa o nula energía en periodos de inundación y en lagos.

F6 - Carbón: Se presenta en horizontes de espesores desde 1 a 66 [cm]; indican condiciones de baja energía, en la que se formaron pequeños lagos que evolucionaron a pantanos, donde se acumuló materia orgánica leñosa que se convirtió en carbón mineral.

2.2.4 BIOFACIES.

Las especies de fósiles que aparecen en las rocas de una región determinada pueden dar a conocer las condiciones biológicas del ambiente de un depósito sedimentario, reuniendo dentro de estas aspectos climáticos y condiciones ambientales en las que el organismo vivía como temperatura, humedad, profundidad y altura; elementos que permiten interpretar la evolución en el lugar o la adaptación a un ambiente favorable.

Eicher (1973) define como cenozonas a una asociación de especies, dentro de las paleocomunidades y biofacies que se distinguen únicamente por el contenido biológico.

El registro fósil de la columna estratigráfica local medida correspondiente a la Formación Tecamazuchil, se encuentra en dos niveles litológicos donde los sedimentos nos permiten la preservación de fósiles. La abundancia de los ejemplares, grado de fragmentación y presencia de géneros permite considerar la existencia de dos tipos de comunidades. Los ejemplares recolectados son numerosas frondas completas en su mayoría, aunque hay algunas incompletas; también se colectaron pinas sueltas. Se analizaron 161 ejemplares y fueron identificados 21 especies, el grupo fósil más representativo en el registro de la columna son las Bennettitales, de los cuales la especie más abundante es *Otozamites hespera*, le siguen los Helechos, ramas de *Brachyphyllum*, conos del género *Williamsonia*, además de *Equisetum*, *Mexiglosa* y coníferas.

El primer nivel con registro fósil se ubica en la base de la columna estratigráfica, próximo a las capas de lutitas y horizontes de carbón, en donde se tienen plantas fósiles de clase Gimnosperma, siendo dominantes las Bennettitales con los géneros: *Zamites*, *Otozamites*, *Ptilophyllum* y *Pterophyllum*, además de Helechos de género *Sphenopteris geopperti*, *Morfoespecie 5*, *Morfoespecie D1* y *Morfoespecie 9*; también se presentan Conos de género *Williamsonia* y láminas de *Mexiglosa varia*, Coniferales y Equisetos. El último es característico de las orillas de los ríos y

casi siempre van acompañando a los Helechos. Esta flora fósil nos indica condiciones altas de humedad y por lo general va ligado a cuerpos de agua, lo cual favoreció la diversidad de la flora, explicando las variaciones en la fisionomía de la vegetación, la que se estima presentaba una altura de entre 1 ó 2 [m], infiriendo que la comunidad era estable y se asemejaba a un matorral.

Ascendiendo estratigráficamente, cerca de la cima, se presenta el segundo nivel litológico, con estratos de areniscas finas, en el cual se infiere hubo cambios en las condiciones climáticas debido a que se encontró una disminución en diversidad de flora fósil, representada en menor proporción por las Bennetitales de género *Zamites*, *Otozamites* y *Ptilophyllum*, además *Brachyphyllum*; estos fósiles tienen hojas más pequeñas, para evitar la evaporación y reducirla al mínimo. La presencia de este género se asocia a condiciones xéricas (de menor humedad) (Fávila, 2009, Velasco *et. al.*, 2010), por lo que estas plantas crecieron en una comunidad estable propia a un bosque pequeño, debido a la presencia de los *Brachyphyllum*, correspondientes a coníferas y en la disminución en abundancia de Bennetitales.

El análisis paleontológico permite interpretar las condiciones de precipitación y temperatura que existió, considerando el tamaño de las hojas, las cuales permiten proponer la adaptación a condiciones climáticas, esto en relación a su área foliar ancho por el largo de la pina, y multiplicado por un factor de corrección 0.66 estudiado por Velasco de León y Colaboradores (2011), quienes calcularon el área foliar el 37% de los ejemplares con pinas completas, obteniendo como resultado para la primer comunidad que las condiciones climáticas iniciales fueron cálidas y húmedas, que posteriormente evolucionaron para la segunda comunidad a un clima semicálido a subhúmedo.

2.2.5 AMBIENTE SEDIMENTARIO.

La porción centro meridional de México ha sido interpretada en términos de un mosaico de terrenos tectonoestratigráficos que fueron acrecionados en diferentes episodios de la evolución tectónica de esta parte sur de México (Campa *et. al.*, 1981; Campa y Coney, 1983). Para el Terreno Mixteco que contiene al basamento del Complejo Acatlán, en donde se encuentra nuestra zona de estudio, se ha sugerido una época de acreción durante el Devónico (Ortega, op. cit.) y el intervalo Jurásico Superior-Cretácico Inferior (Ramírez, 1984) como el inicio de un proceso petrotectónico, en específico, la subsidencia de varios bloques creando horts y graben en la región, como

resultado de la apertura de una cuenca oceánica del paleo Golfo de México (Ortega, 1981), que en una etapa inicial corresponde con un ambiente continental, relacionado a corrientes fluviales en un relieve abrupto. Con base en el análisis de facies y sus asociaciones, además de fósiles encontrados, se interpretaron y proponen los siguientes ambientes sedimentarios para las secuencias del Jurásico.

2.2.5.1 CONGLOMERADO PEÑA COLORADA.

Para esta formación se presentan las facies F1 y F2, además de fósiles de plantas que permiten interpretar un ambiente netamente continental relacionado a un relieve abrupto y disconforme, asociado a una zona de menor relieve dentro de un valle en cuya periferia ocurrió el depósito. Con base a las características de la facies F1 se interpreta la presencia de un conjunto de abanicos aluviales, que en su parte proximal se distinguen por estar formados por estratos conglomeráticos, con clastos que van de 5 a 25 [cm], clastosoportados, de angulosos a subangulosos, con una pobre clasificación, idénticas a la de una facies proximal actual de un abanico aluvial. Esta facies fue producto del levantamiento que propicio zonas escarpadas, producto de las fallas normales y laterales, que favorecieron en temporada de lluvia la formación de corrientes de escombros, que fluyeron de las partes altas, transportando cantidades significativas de material grueso provenientes del Complejo Acatlán, siendo depositados en el frente montañoso hasta el pie de monte, dando origen a la formación de abanicos aluviales y flujos de escombros (*Figura 2.55*).

Este evento estuvo acompañado posteriormente por lapsos cortos de corrientes fluviales provenientes de las partes altas los que influyeron en el desgaste y transporte de material grueso y fino, las cuales corresponden a la facies F2 que se caracteriza por flujos de escombros con lodos, representada por estratos conglomeráticos, donde los clastos se encuentran soportados por matriz areno-arcillosa, con tamaños 0.05 a 12 [cm], que van de subangulosos a subredondeados, acompañado de estructuras primarias. Esta facies fue generada por la presencia de lapsos cortos de lluvias de alta intensidad que se originaron en las zonas inestables, la erosión del material rocoso, provocó la caída de flujos de escombros con flujos gravitacionales que por su mayor intensidad se desbordaron arrastrando grandes cantidades de material clástico procedente del Complejo Acatlán y de la misma parte proximal del abanico aluvial. Esto se ve reflejado en las

características litológicas presentando una variedad granulométrica de los fragmentos de roca de esta unidad, permitiendo interpretar un acercamiento hacia la parte media del abanico aluvial.

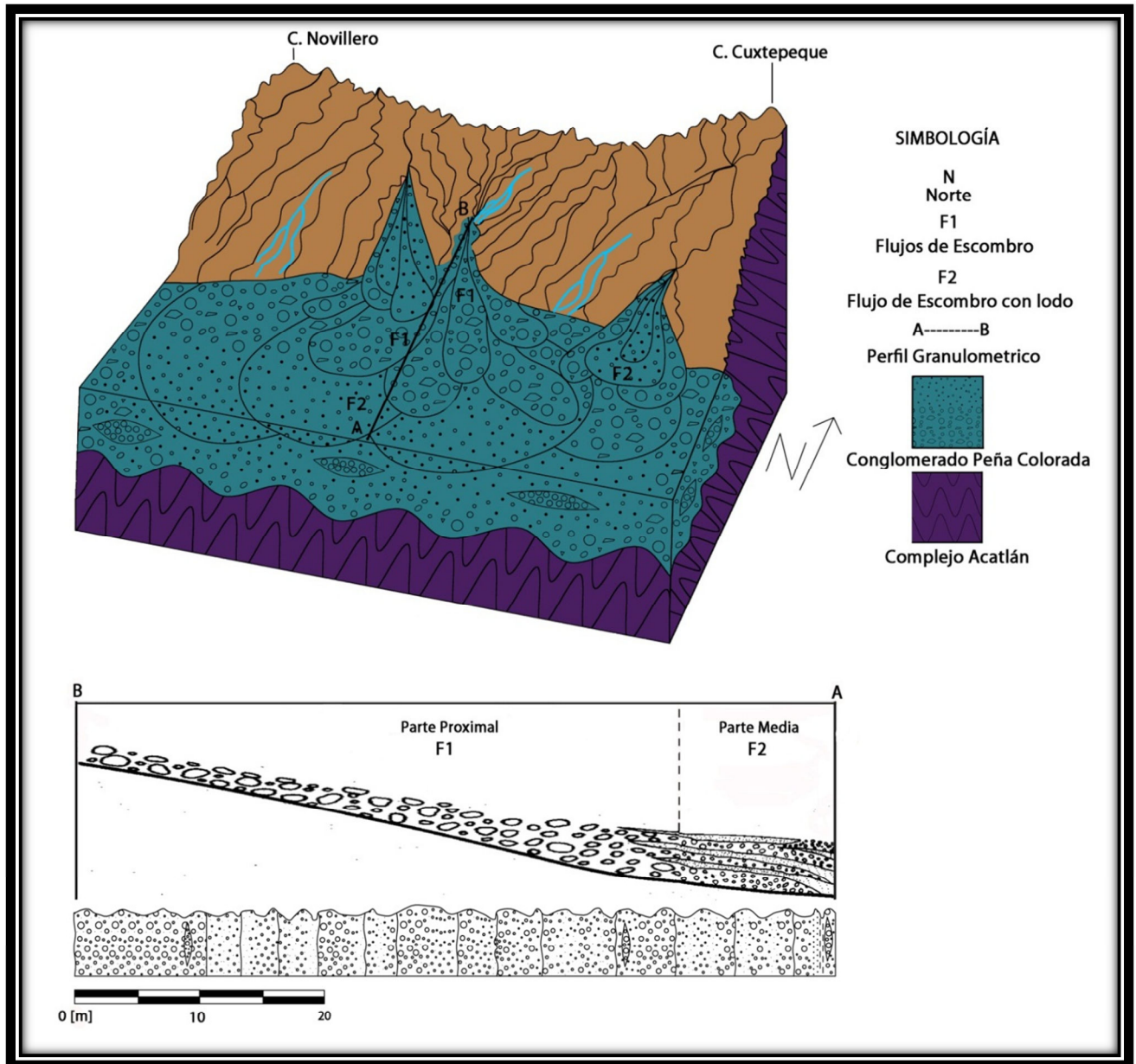


Figura 2.55 Reconstrucción del Ambiente Sedimentario para el Conglomerado Peña Colorada, del Jurásico Inferior, en la región de Tecamatlán, Puebla.

2.2.5.2 FORMACIÓN TECOMAZUCHIL.

Las diferentes asociaciones de facies F1, F2, F3, F4, F5 y F6 presentes dentro de la Formación Tecomazuchil, han permitido la identificación de los elementos arquitectónicos que indican la presencia de un valle con un río meándrico en su parte central (*Figura 2.56*).

Con base al análisis petrográfico, paleontológico y el conjunto de características sedimentológicas de la Formación Tecomazuchil, se interpreta que la fuente de aporte principal de sedimentos fue el Complejo Acatlán, que fue afectado por ciclos alternados de fuertes y débiles precipitaciones pluviales produciendo una mayor erosión de las partes elevadas y acumulación de sedimentos en las zonas bajas.

El ambiente sedimentario corresponde a un río meándrico, en donde condiciones de energía fueron cambiando, lo que se ve reflejado en las variaciones litológicas de la columna estratigráfica (*Figura 2.24*), en cuya base se presentan las facies F1 y F2, indicando condiciones de alta energía suficiente para transportar sedimentos gruesos, con clastos de tamaños variado, que van de angulosos a subredondeados, en su mayoría se encuentran clastosoportados; además de presentar estructuras sedimentarias como estratos irregulares, estratificación cruzada y gradación, lo que indica la influencia de corrientes fluviales, permitiendo interpretar estas facies correspondientes al depósito de canal.

Las facies F3, F4 y F5 se presentan en mayor proporción, además de que la F6 indica condiciones variables de baja energía, asociadas a una corriente fluvial. La presencia de F3 sobre la facies F1 es evidencia de momentos donde la energía descendió y el transporte de sedimentos era relativamente continuo, creando barras longitudinales que contribuyeron a la migración del cauce, provocando la presencia de canales, los cuales posteriormente estuvieron asociados a lagos que evolucionaron a pantanos, relacionados con el río meándrico. Esto se ve reflejado por la presencia de la facies F5 sobreyaciendo la facies F1, la primera corresponde a llanuras de inundación en temporadas de máxima precipitación pluvial, permitiendo inferir la presencia de periodos cortos en los que las lluvias de zonas aledañas provocaron la formación de canales y el desbordamiento de las corrientes fluviales; estas corrientes transportaron en suspensión los sedimentos más finos, permitiendo su depositación sobre el canal abandonado.

Posteriormente al término de estos eventos el río meándrico comenzó a retomar su cauce, caracterizado por la presencia de las facies F3 y F4 de forma cíclica, indicando condiciones y variedades de baja energía, aunque estos periodos eran cortos como lo reflejan los espesores de las areniscas con matriz arcillosa y las limolitas; se interpretan como momentos de estabilidad del río meándrico que permitieron la acumulación y preservación de materia orgánica, que se encontró en los estratos de lutitas, areniscas y areniscas de grano fino.

Hacia la cima se presenta la asociación de las facies F1, F3 y F4, con estructuras sedimentarias como estratificación lenticular, que permiten interpretar la presencia de un sistema de barras de punta al borde de una zona canalizada, esto indica una variación de energía, lo que permitió en la parte externa del meandro ser erosionada, además de favorecer la depositación del material más fino.

Los elementos arquitectónicos interpretados anteriormente se repiten dentro de la secuencia estratigráfica de la Formación Tecomazuchil.

En la parte central del valle, se interpreta que existió un sistema fluvial de tipo río meándrico, desarrollado bajo un clima cálido y húmedo, propicio para el desarrollo de vegetación, como la que se encontró con flora fósil dentro de la secuencia de sedimentos finos de la Formación Tecomazuchil. Este sistema presentó periodos de alta energía con la correspondiente acumulación de sedimentación, lo que originó la migración del cauce, teniendo como resultado un conjunto de canales abandonados, en los cuales se acumularon pequeños horizontes de materia orgánica vegetal, que dio lugar al carbón. Posteriormente se presentaron eventos donde hubo mayor precipitación pluvial, lo que originó periodos de inundación y favorecieron el intemperismo químico y mecánico, además de episodios de rápida sedimentación lo que permitió la preservación de los restos de flora fósil.

Debido a que el enfoque de este trabajo, tienen que ver con el estudio de rocas del Jurásico, las rocas correspondientes al Paleógeno-Neógeno de la Formación Huajuapán, se descartaron en el análisis de litofacies e interpretación del modelo sedimentario; sin embargo, se realizó su descripción y medición de la columna estratigráfica apoyándose en el estudio de los afloramientos que están presentes en el área de estudio.

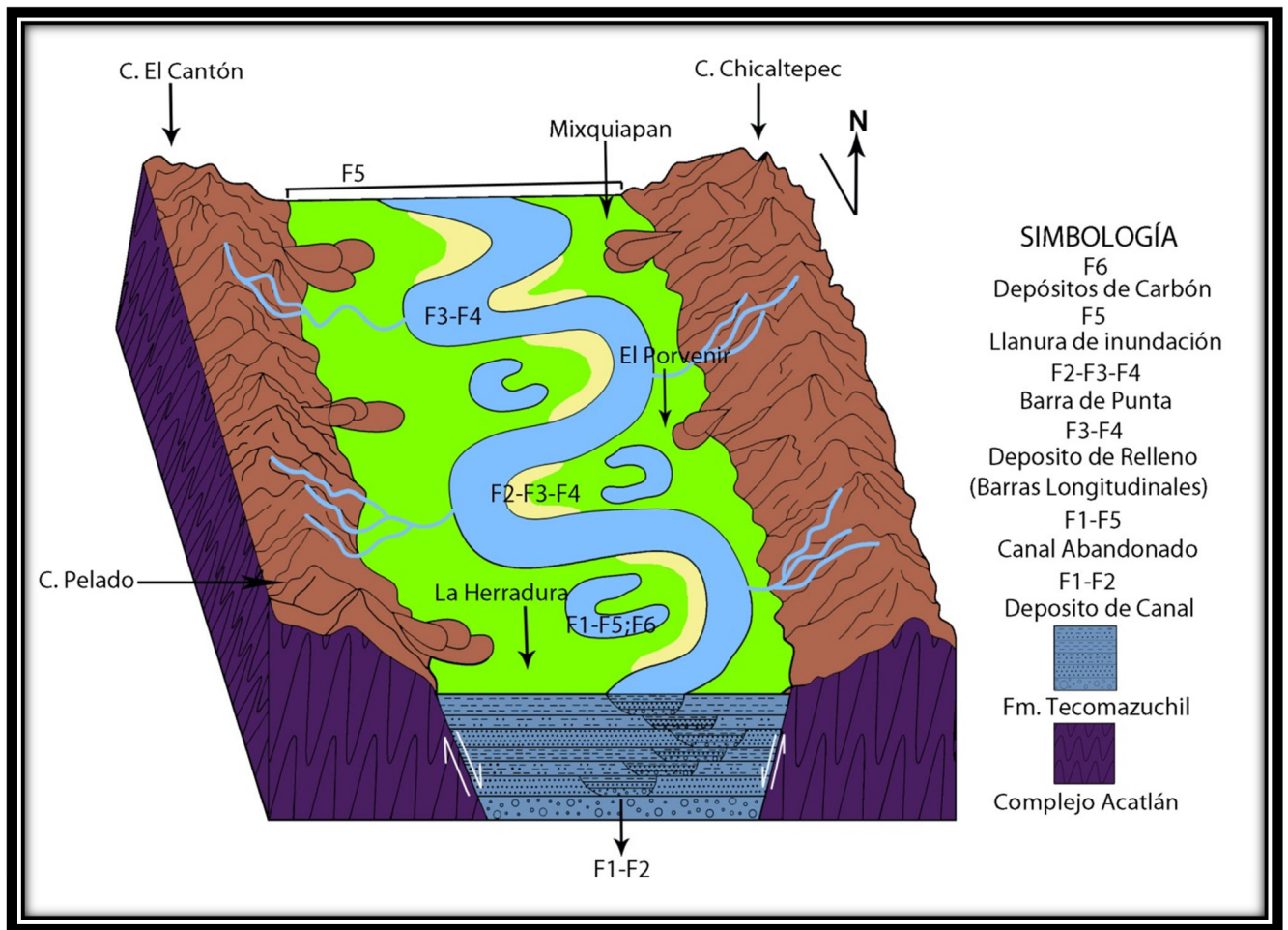


Figura 2.56 Reconstrucción del Ambiente Sedimentario para la Formación Tecomazuchil, del Jurásico Medio, en la región de Tecomatlán, Puebla.

A decorative graphic consisting of a red circle and a gray horizontal bar. The circle is partially obscured by the bar and a large black bracket on the left. A large red bracket is on the right.

Capítulo 3

Geología Estructural

3.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS.

La región estudiada tiene un basamento metamórfico representado por el Complejo Acatlán, el cual aflora ampliamente. Se encuentra cubierto en algunos sitios de manera discordante por rocas sedimentarias marinas paleozoicas, a las que le sobreyacen rocas sedimentarias jurásicas y rocas sedimentarias clásticas y químicas cenozoicas, así mismo afloran rocas ígneas volcánicas del Cretácico. De manera general, las rocas del Paleozoico han sido afectados por metamorfismo regional, el sistema Jurásico presenta deformación dúctil (pliegues) y frágil (fallas y fracturas); el sistema Cenozoico es afectado por fracturas y fallas.

En la zona de estudio los rasgos estructurales más sobresalientes lo constituyen fallas (normales y laterales), fracturas, foliación y pliegues en varias escalas (anticlinales y micropliegues).

Para las rocas del Paleozoico encontramos como basamento el Complejo Acatlán, el cual, con base a los datos estructurales tomados en campo y analizados con la red estereográfica se definen dos zonas representativas, la primer zona se localiza al oriente en las proximidades del Río Acatlán, entre los poblados de Quicayan y La Herradura, donde esquistos y gneiss (*Figura 3.2*) presentan una foliación general con rumbo preferencial al NE con inclinaciones de 40° a 90° al SE y al $N21^\circ W$ con inclinación de 59° al NE (*Figura 3.1*).

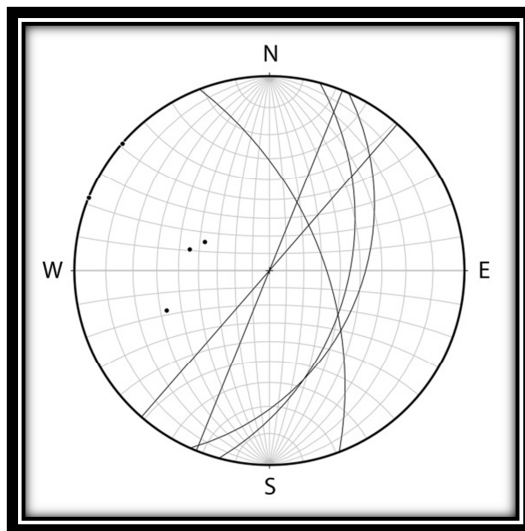


Figura 3.1 Planos de foliación con rumbo preferencial $N35^\circ E$, con inclinaciones de 40° a 90° , del Complejo Acatlán.



Figura 3.2 Roca metamórfica perteneciente al Complejo Acatlán con foliación al $N21^{\circ}W$; 59° . En las proximidades del Río Acatlán, entre los poblados La Herradura y Quicayan.

Este paquete metamórfico se encuentra afectado por varias familias de fracturas (Figura 3.4), los cuales presentan orientaciones preferenciales al $N33^{\circ}E$ con inclinación de 50° a 90° al SE, además se tiene otra familia de rumbo $N80^{\circ}W$ con inclinación de 48° a 78° al NE, al $S85^{\circ}W$ con inclinaciones casi verticales y en menor frecuencia una orientación de N-S, con inclinaciones al E-W (Figura 3.3).

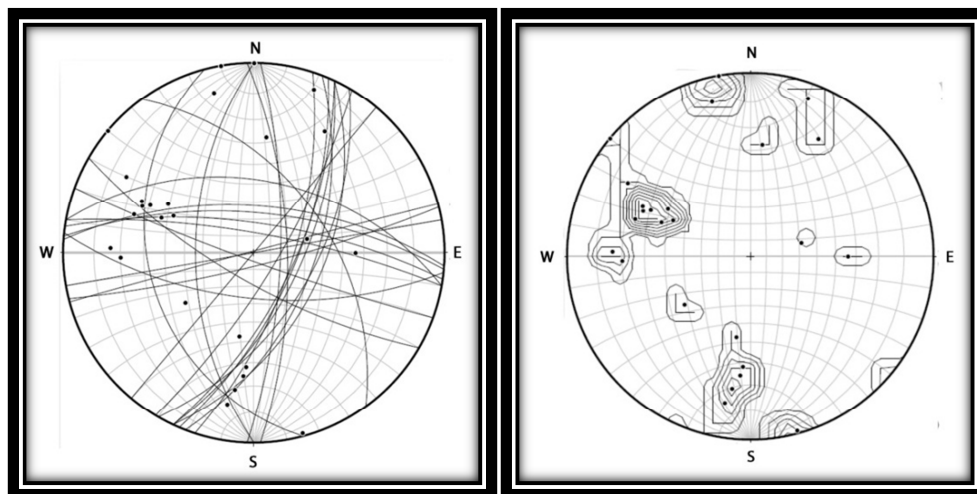


Figura 3.3 A la derecha los planos de fracturamiento y a la izquierda concentraciones de polos de los planos de las principales familias de fracturas, que afectan el basamento.



Figura 3.4 Roca metamórfica donde se indican algunas familias de fracturas, en las proximidades del Río Acatlán, entre los poblados La Herradura y Quicayan.

El segundo sitio donde se estudiaron los rasgos estructurales del basamento, se localiza entre los poblados de Xantoxtla y El Tempexquixtle; donde aflora una litología de carácter metasedimentaria, la cual presenta datos estructurales de estratificación con rumbo preferencial al N15°W con inclinación de 58° a 61° al NE (Figura 3.6), la segunda con un rumbo casi E-W con inclinación de 20° al S y la de menor influencia S74°W, con inclinación de 80° al NW (Figura 3.5).

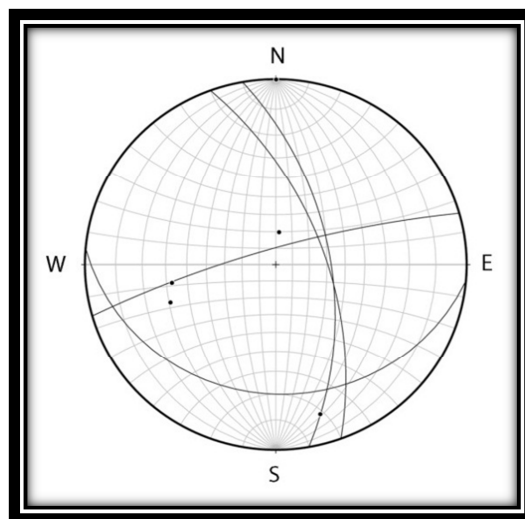


Figura 3.5 Planos de estratificación en rocas metasedimentarias del Complejo Acatlán, entre los poblados de Xantoxtla y El Tempexquixtle.



Figura 3.6 Estratificación paralela de la unidad metasedimentaria del Complejo Acatlán con rumbo N15°W; 59°.

En la figura 3.5 se aprecian condiciones de plegamiento sobre las rocas metasedimentarias, el cual tiene como orientación de la charnela una inclinación de 16.7° al SE 29.6° y el un ángulo interflancos de 109.2°, el cual corresponde a un plegue asimétrico y abierto.

En esta misma zona se identificaron micropliegues, de los cuales fueron graficados en el estereograma (Figura 3.7), donde se aprecian dos planos principales de los flancos, el primero con orientación NW-SE casi vertical y el segundo E-NE casi horizontal, lo que nos conduce a tener planos axiales inclinados, teniendo un conjunto de pliegues con vergencia al SW, mientras que el otro es al NE. Estos micropliegues corresponden a pliegues asimétricos abiertos (kink) (Figura 3.8), pliegues asimétricos suaves (cilíndrico), además de pliegues angulares asimétricos cerrados y abiertos (kink).

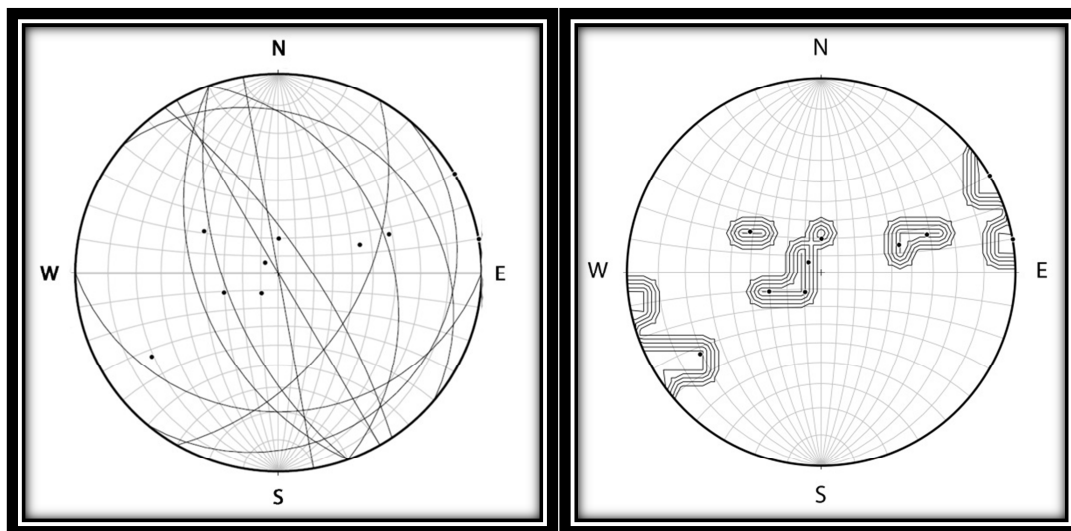


Figura 3.7 A la izquierda planos de los flancos de los pliegues y a la derecha concentración de polos de los flancos.



Figura 3.8 Roca metasedimentaria que presenta una diversidad de micropliegues tipo kink, entre los poblados El Tempexquixtle y Xantoxtla.

Al sur del área de estudio, el Complejo Acatlán se encuentra subyaciendo de manera discordante a la Formación Cuxtepeque, la cual presenta estratificación con rumbo $S04^{\circ}W$ con inclinación de 40° al SE.

Los afloramientos del Jurásico estudiados en la zona de Tecamatlán, corresponden al Conglomerado Peña Colorada y la Formación Tecomazuchil. Para rocas del Jurásico Inferior se tomaron datos estructurales que corresponden al Conglomerado Peña Colorada el cual presenta estratificaciones (Figura 3.9) preferenciales con orientación al NE con inclinaciones al SE (Figura 3.10), además de SW con inclinación al NW, y en menor influencia al N-S con inclinación de 25° al E.

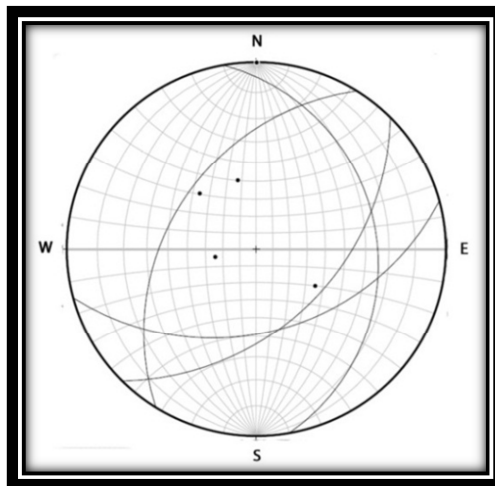


Figura 3.9 Planos de estratificación del Conglomerado Peña Colorada.



Figura 3.10 Estratificación paralela del Conglomerado Peña Colorada, con rumbo al N45°E; 46°, entre los poblados de Peña Colorada y Tezoquipa.

Tomando como base a la figura 3.9, se infiere que el pliegue presenta una charnela de 6° al SW 61° con un ángulo interflancos de 94.7° , que corresponde a un anticlinal abierto.

Esta unidad se encuentra afectado por 3 familias de fallas (Figura 3.11), la primera con dirección NW-SE, con inclinación de 40° a 60° al SW, la segunda de misma dirección con inclinación de 30° a 35° al NE, para la tercera presenta una orientación N-S, con inclinaciones casi verticales (Figura 3.12).

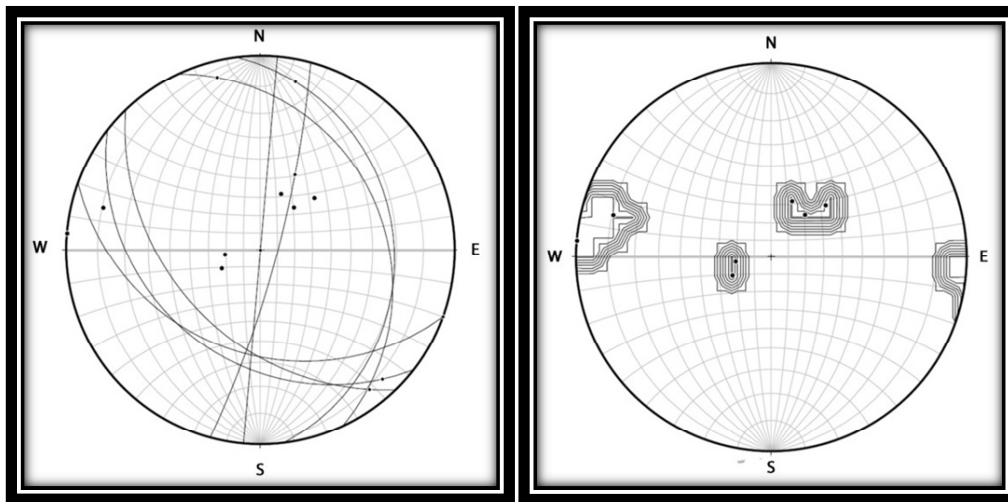


Figura 3.11 A la izquierda se muestran los planos de fallas (normales y laterales). A la derecha concentración de los polos de los planos de fallas.



Figura 3.12 Falla normal del Conglomerado Peña Colorada, entre los poblados de Peña Colorada y Tezoquipa.

Para las rocas del Jurásico Medio los datos de orientación tomados en campo, corresponden a la Formación Tecamazuchil, los cuales se dividieron en dos zonas; la primera se localiza sobre la Barranca La Mina entre los poblados La Herradura y El Porvenir, ubicada en la zona oriente del área de estudio, la cual presenta estratificaciones preferenciales hacia el NW con inclinación de 21° a 65° al NE (Figura 3.14), otra E-W con inclinaciones N-S y con menor frecuencia se observan planos de estratificación hacia el N40°E con inclinación 21° a 90° SE (Figura 3.13).

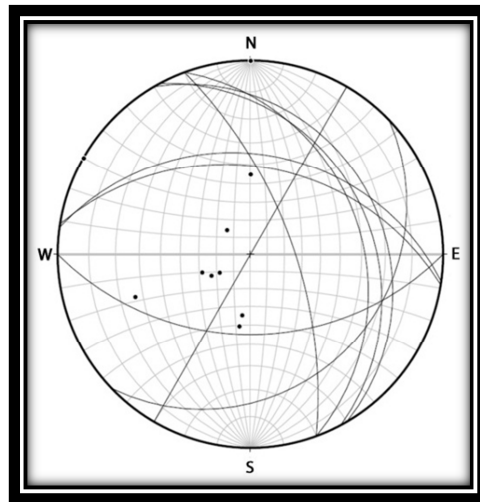


Figura 3.13 Planos de estratificación de la Formación Tecamazuchil, sobre la Barranca La Mina, entre los poblados La Herradura y El Porvenir.



Figura 3.14 Los estratos de la sección medida sobre la Barranca La Mina de la Formación Tecamazuchil presentan estratificación tabular con rumbo general al NW e inclinaciones que varían de 20° a 35° al NE.

El fallamiento presente en esta zona se caracteriza con un rumbo preferencial NW-SE, asociado a este sistema encontramos tres familias de fallas normales (*Figura 3.15*), la primera corresponde a una falla vertical con dirección NE-SW y su conjugada con dirección NW-SE, la segunda con dirección S40°W con inclinación al 50°NW. Mientras que la tercer familia presenta dirección casi N-S con inclinación hacia el Este.

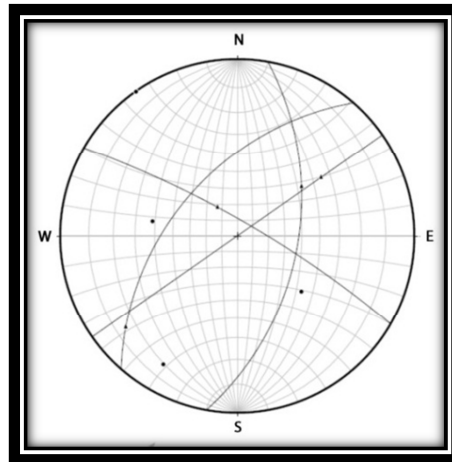


Figura 3.15 Planos de fallas normales en la Formación Tecamazuchil, sobre la Barranca La Mina.

Además se presentan fallas laterales (derechas e izquierdas), que corresponden a 3 familias principales, la primera son verticales con direcciones E-W y N30°W, la segunda se inclina al W, con dirección casi N-S. Mientras que la tercer familia presentan inclinación al NE con dirección N25°W (*Figura 3.17*), como se muestra en la Figura 3.16.

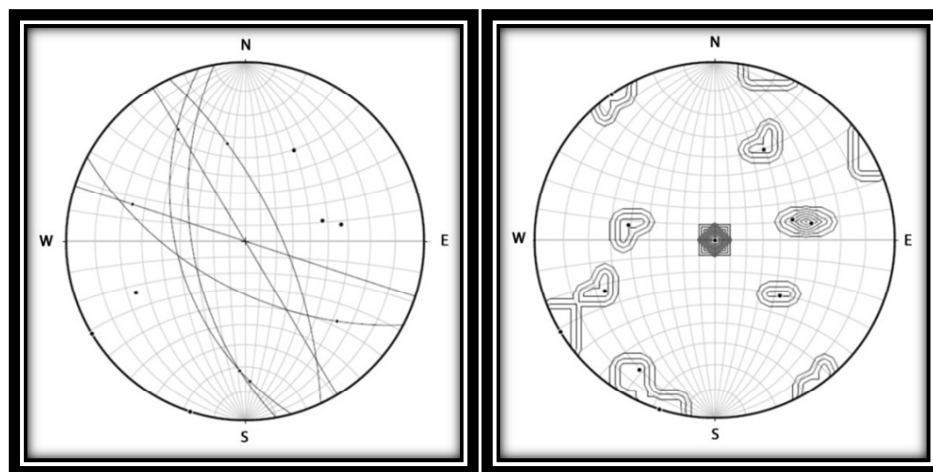


Figura 3.16 A la derecha los planos de fallas laterales. A la izquierda la concentración de polos de los planos de falla.



Figura 3.17 Falla lateral izquierda, con rumbo N25°E; 68° y un pitch de 50°, sobre la Barranca La Mina, perteneciente a la Formación Tecamazuchil.

El segundo sitio donde se obtuvo información estructural se localiza en las proximidades del poblado Mizquiapan, donde se presenta estratificación con orientación preferencial al N18°E, con inclinación de 55° a 63° al SE. (Figura 3.18).

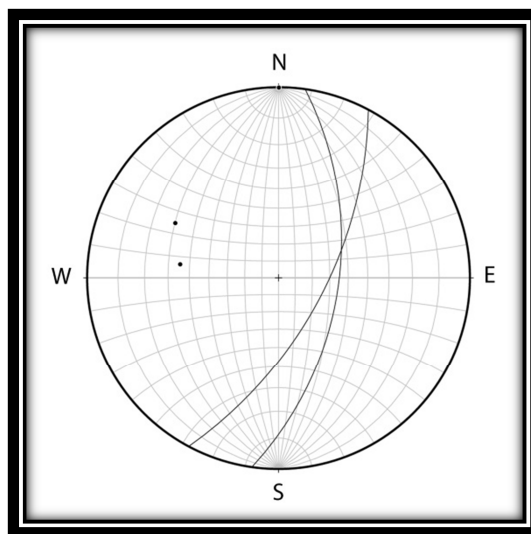


Figura 3.18 Estratificación de la Formación Tecamazuchil, en las proximidades del poblado Mizquiapan.

Con base a la figura 3.18 se interpreta que la unidad presenta estratos que fueron afectados por un evento de basculamiento.

Para las rocas cenozoicas que corresponden a la Formación Huajuapán, la cual aflora en el Cerro Tepeyehuale, entre los poblados La Unión y Tezoquipán, presenta estratificación preferencial hacia el S59°W, con inclinación de 15° a 33° al NW (Figura 3.19), así como también presenta estratificación tabular y contactos discordantes como se muestra en la figura 3.20.

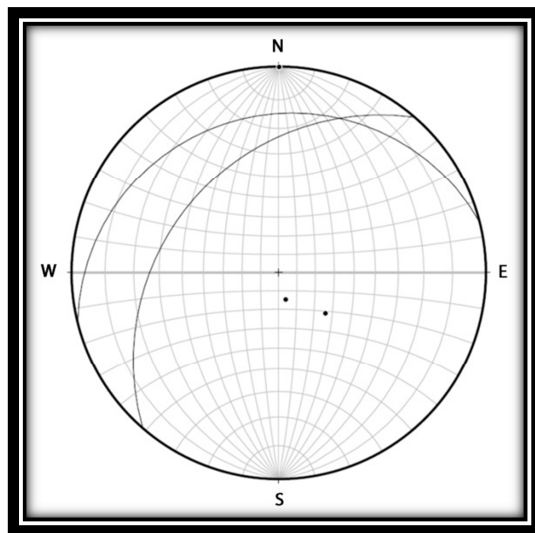


Fig. 3.19 Planos de estratificación de la Formación Huajuapán, en la localidad de Tecomatlán, Puebla.



Figura 3.20 Estratificación tabular y contactos discordantes entre los estratos de la Formación Huajuapán, sobre la carretera, entre los poblados de La Unión y Tezoquipán, Puebla.

Esta unidad se encuentra afectado por fallamiento, cuyos datos fueron graficados en el estereograma (Figura 3.21), en los que se tiene la presencia de una familia de fallas, la cual se orienta al NW-SE con inclinación de 73° a 82° al NE, como se muestra en la Figura 3.22.

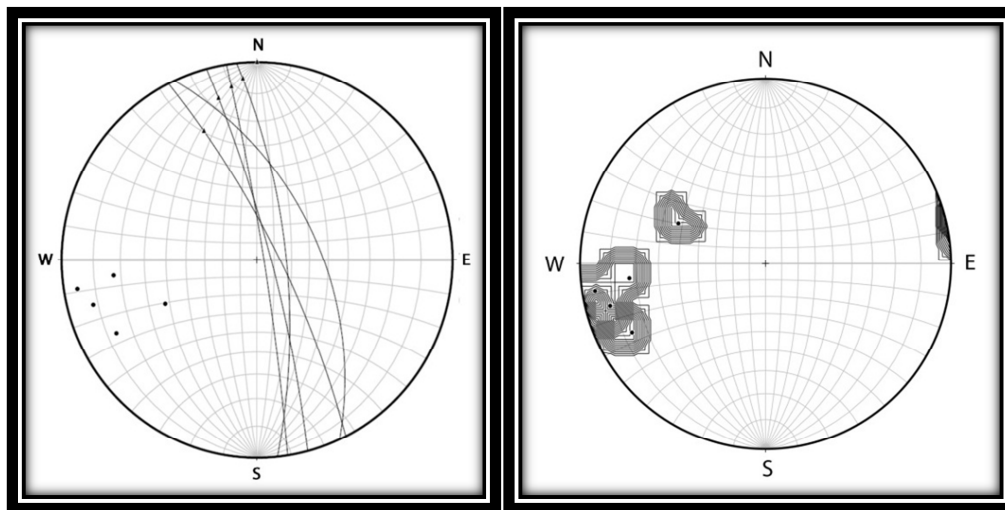


Figura 3.21 A la izquierda se presentan los planos de fallas, a la derecha la concentración de polos de los planos de fallas, ambos diagramas para la Formación Huajuapán.

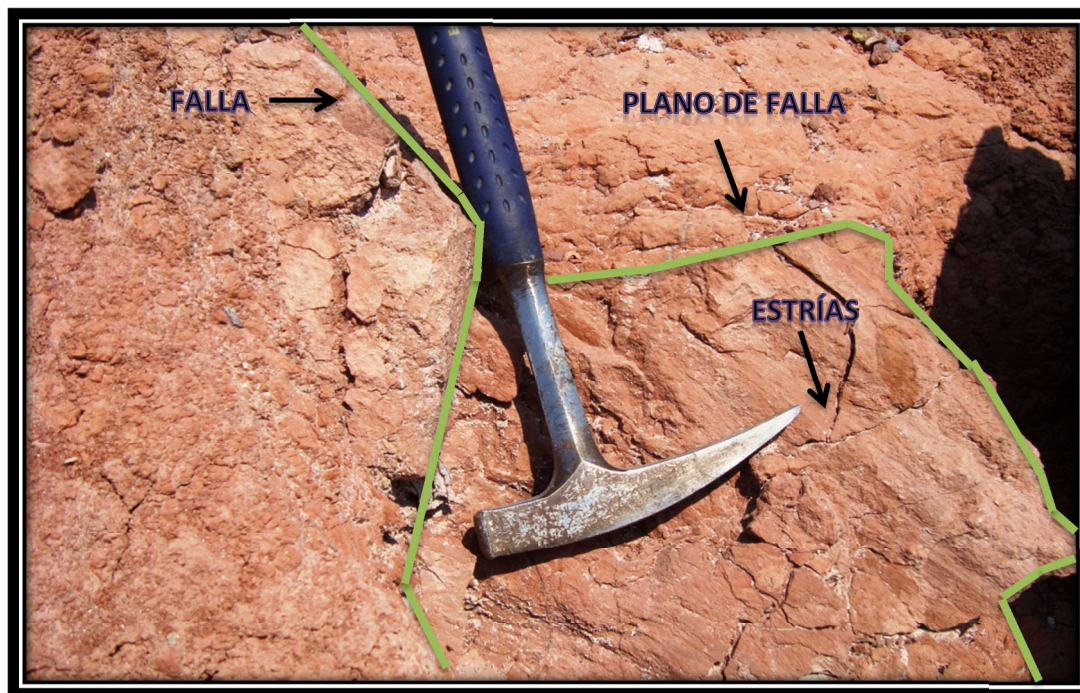


Figura 3.22 Falla lateral derecha de la Formación Huajuapán con rumbo al NW y pitch de 10° , localizada sobre la carretera, entre los poblados de La Unión y Tezoquipán.

3.2 ANÁLISIS CINEMÁTICO.

El análisis cinemático de una secuencia deformada consiste en caracterizar la orientación de deformación o patrón de movimiento, producto del tectonismo al que fue sujeto en un estado inicial de esfuerzos.

En este trabajo se realizó el análisis de las fallas laterales (derechas e izquierdas) y normales, presentes en los afloramientos medidos en campo, los cuales corresponden al Conglomerado Peña Colorada, Formación Tecmazuchil, del Jurásico Inferior y Medio, respectivamente, además de la Formación Huajuapán del Cenozoico. Se graficaron con la red estereográfica (*Figuras 3.23, 3.24 y 3.25*), se trazó la dirección de los planos y posteriormente con la información del pitch se dibujó la dirección de las estrías de la falla.

Para el Jurásico Inferior, con base a los diagramas (*Figura 3.23*) y en la sección geológica del mapa (*Figura 2.1*) donde la cuenca presenta una orientación al NW-SE, se infiere que el origen de esta, estuvo sujeta primero a un evento de extensión al N33°W, que posteriormente causó un segundo evento de acortamiento al S79°E, permitiendo la formación del graben y deposición del Conglomerado Peña Colorada.

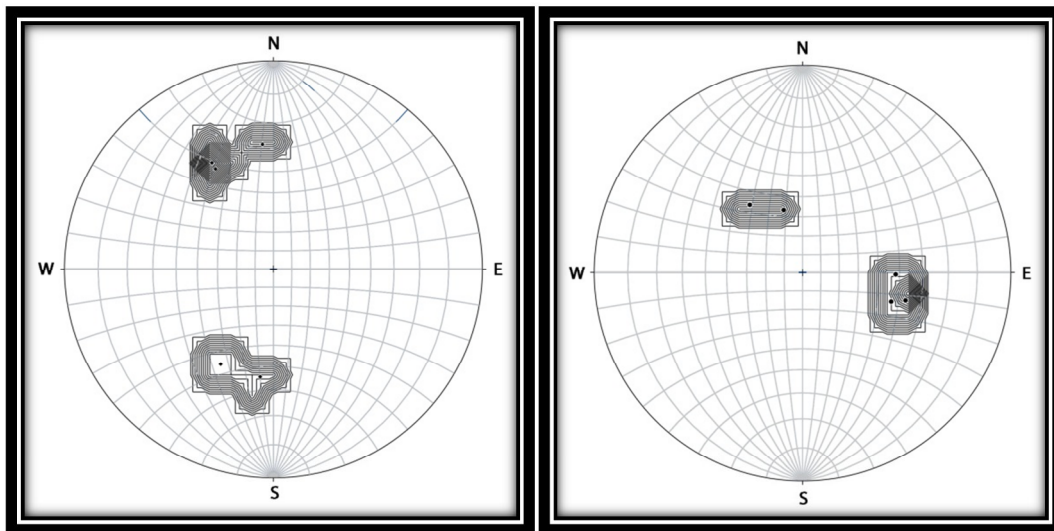


Figura 3.23 A la izquierda muestra la concentración de ejes de extensión, con orientación preferencial 28° al NW 3°; a la derecha la concentración de ejes de acortamiento, con orientación preferencial 36° al SE 79°.

En el Jurásico Medio, considerando a los diagramas (Figura 3.24) y la sección geológica AA' mostrada en el mapa (Figura 2.1) se puede interpretar que la cuenca presenta una orientación NW-SE, la cual estuvo sujeta a un evento tectónico de extensión, que tuvo movimiento preferencial de extensión al N31°E y acortamiento al S43°E para su formación y depositación de la Formación Tecomazuchil.

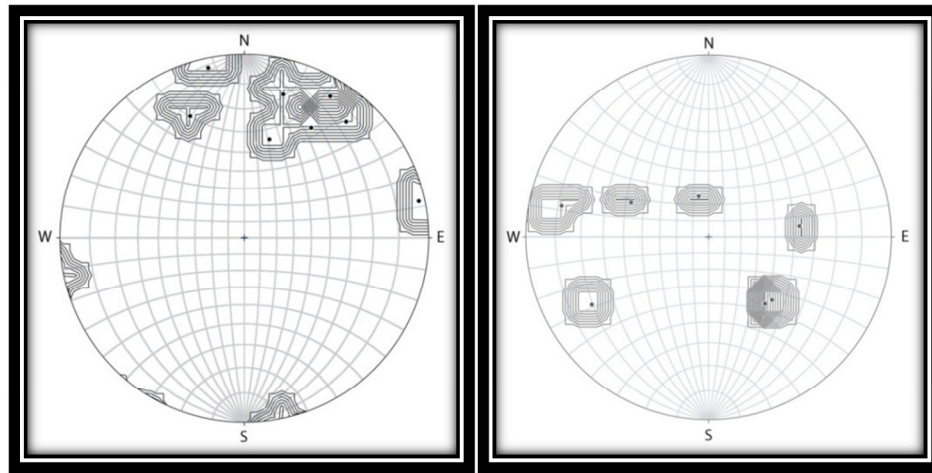


Figura 3.24 A la izquierda la concentración de ejes de extensión, con orientación preferencial 11° al NE 31°, a la derecha la concentración de ejes de acortamiento, con orientación preferencial 40° al SE 43°.

En la Formación Huajuapán se tiene como resultado que los datos (Figura 3.25) presentan una orientación preferencial de extensión al N34°E y de acortamiento al N45°W.

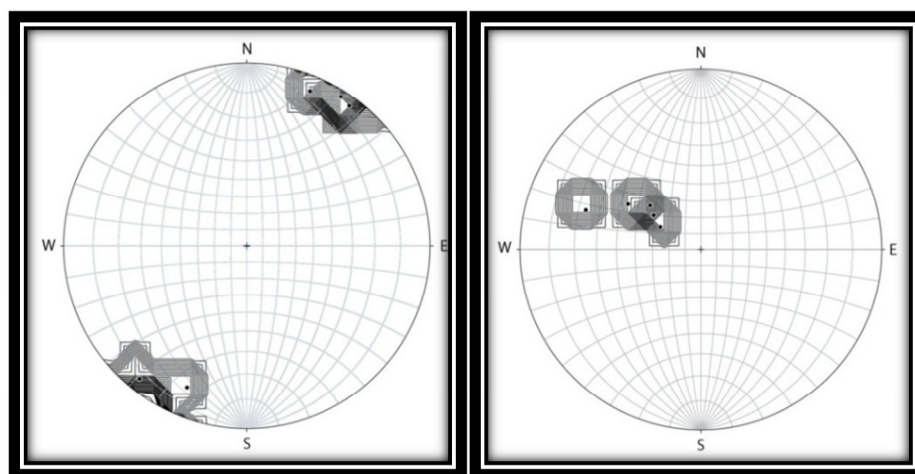


Figura 3.25 A la izquierda la concentración de ejes de extensión, con orientación preferencial 3° al NE 34°; a la derecha la concentración de ejes de acortamiento, con orientación preferencial 50° al NW 55°.

Al observar las zonas con mayor concentración de datos para cada afloramiento, se tiene como resultado que los datos son inconsistentes, por lo que se tuvo más de un sólo evento de deformación que originó extensión estructural en el área de estudio.

Capítulo 4
Paleogeografía y
Evolución Geológica

4.1 EVOLUCIÓN TECTÓNICA DEL SUR DE MÉXICO.

Los eventos tectónicos mayores que han afectado al sur de México, donde se encuentra el área de estudio son los siguientes: el amalgamiento y ruptura de Pangea, además de la apertura del Golfo de México, la Orogenia Laramide, la subducción de la Placa de Farallón y actualmente la subducción de la Placa de Cocos debajo de la Placa Norteamericana. Los eventos de subducción han generado una actividad magmática intensa y también la sobreposición de varios eventos de deformación en la corteza superior.

En la región de Tecamatlán, Puebla, aflora un conjunto de rocas cuyas edades varían desde el Paleozoico hasta el Reciente, tal como se muestra en la columna estratigráfica regional (*Figura 2.2*), las cuales se han formado bajo diferentes ambientes y procesos geológicos. A continuación se describe la evolución que ha tenido la región de estudio a lo largo del tiempo geológico.

4.1.1 PALEOZOICO.

El origen y la evolución del Complejo Acatlán está relacionado a cinturones orogénicos Paleozoicos, como el sistema Apalachiano y el que se relaciona con la margen proto-Andino de Gondwana. Los sistemas Paleozoicos mexicanos han sido interpretados como el producto final de una colisión continental entre Laurentia, Báltica y Gondwana, originando el supercontinente Pangea en el Paleozoico Tardío; sin embargo, Morales-Gómez *et. al.*, (2008) han mostrado que hay estructuras ordovícicas relacionadas a un rift transtensional más que una orogenia (Elías y Ortega, 2002, Elías *et. al.*, 2005).

Durante el Paleozoico, el Complejo Acatlán de acuerdo a la interpretación de Ortega (1981b), expresa la apertura y cierre de una cuenca oceánica conforme a una secuencia de eventos en los que se identifican la mayoría de las etapas del ciclo orogénico Wilson, que describen Dewey y Burke (1974) de la siguiente manera a) El depósito de una secuencia marina pelágica (protolitos del Subgrupo Petlalcingo) y formación de ofiolitas (Formación Xayacatlán), durante las etapas de expansión oceánica, b) Emplazamiento de los Granitoides Esperanza en las ofiolitas y su eclogitización, durante el inicio de la etapa del cierre de la cuenca, c) episodios de cabalgamiento de las rocas del Subgrupo Acateco sobre las de Petlalcingo, durante una posible etapa de colisión

de dos masas continentales. En el marco continental Ortega (1981), concluye que la hipótesis más consistente es relacionar el origen del Complejo Acatlán y su yuxtaposición con el Complejo Oaxaqueño, con los eventos de colisión del Paleozoico Tardío en el norte de los Apalaches; después de lo cual ambos terrenos se habrían trasladado tectónicamente hacia el suroeste de Norteamérica, antes de que ocurriesen los principales episodios orogénicos de colisión de finales del Paleozoico.

Para el Devónico Tardío-Pensilvánico, el Terreno Mixteco debió haber sufrido un levantamiento producido por la Orogenia Ouachita y la erosión intensa del terreno. A partir del Pensilvánico y hasta finales del Pérmico se inicia la deposición de sedimentos en un marco paleogeográfico asociado a una margen convergente donde ocurrieron los siguientes tipos de sedimentación: a) de plataforma marina al oeste, con depósitos calcáreo-detríticos (Formación Olinalá o Los Arcos y otros cuerpos innominados, en Olinalá, Platanoaya y Tlaxiaco); b) al oriente una porción emergida en la que se depositaron sedimentos fluviales (Formación Matzitzí). Ambas regiones separadas conforme a una línea de costa de probable orientación norte-sur. Esta carpeta sedimentaria debió haberse desarrollado en casi toda la región, cubriendo al Complejo Acatlán y al Oaxaqueño, (Caballero, 1990). En el área de estudio aflora la Formación Cuxtepeque, la cual refleja en su parte basal la actividad tectónica, que contribuyó al levantamiento y erosión del Complejo Acatlán, que posteriormente se depositó en una zona litoral con acumulación de sedimentos de mar abierto, con intervalos de mar cerrado en un clima árido debido a la presencia de evaporitas, principalmente yeso.

4.1.2 MESOZOICO.

4.1.2.1 TRIÁSICO – JURÁSICO.

El registro estratigráfico de este lapso refleja estar totalmente ausente de depósitos marinos, lo que sugiere un prolongado periodo de emersión debido al levantamientos del territorio, asociado a una tectónica de fallamiento normal con inclinación de bloques, lo que origina procesos erosivos intensos que contribuyeron a principios del Jurásico Inferior a la extensa formación de depósitos continentales. Durante el Triásico, la cubierta sedimentaria Paleozoica, en el área cartografiada y en la mayor parte de la región donde se depositó, fue erosionada, quedando nuevamente

expuesto el Complejo Acatlán y la Formación Cuxtepeque. Desde inicios del Jurásico el anterior régimen de levantamiento continuo con erosión de las zonas de mayor relieve (horst) a partir del Toarciano, mientras que en los grabens se instaura un ambiente fluvial; en las zonas próximas a las fallas donde se tenía mayor relieve, hubo flujos de escombros y depositación al pie de monte. Estos procesos se encuentra reflejados por el Conglomerado Peña Colorada cuyos afloramientos se encuentran al sur de Tecamatlán; la parte basal de este conglomerado se encuentra constituido por clastos angulosos con diámetros desde 5 hasta 25 [cm], además de presentar una pobre clasificación indicando un ambiente de depósito de abanicos aluviales como facies proximales y medias; el deposito ocurrió en el marco de la formación de horts y grabens, donde existían fuertes pendientes, los cuales determinaron el origen de depósitos por gravedad en temporadas de lluvias correspondientes a flujos de escombros con un arreglo de los clastos caóticos y lodosos.

En zonas aledañas al área de estudio, este periodo está relacionado con el deposito del Conglomerado Cualac, en el que Carrasco (1981) propone que el depósito ocurrió en un ambiente continental en un subambiente de corrientes fluviales con épocas torrenciales, en un área de topografía baja (graben), asociado a cierta actividad tectónica manifestada por procesos de deformación con extensión.

Durante el Bajociano-Calloviano, comienza la evolución del terreno con el desarrollo de un sistema fluvial meándrico en un valle amplio de baja pendiente, quedando manifestado por el registro estratigráfico de la Formación Tecamazuchil localizada al nororiente del área de estudio, en la cual su parte basal está conformada por cuerpos conglomeráticos producto del depósito de facies proximales de abanicos aluviales, que evolucionó a amplias planicies aluviales formadas dentro de una serie de grabens, debido a la tectónica de la región (deformación por extensión), mientras que los depósitos restantes de la formación tuvieron lugar en una combinación y/o intercalación de un sistema fluvial tipo meándrico con llanuras de inundación, ríos con desarrollo de barras y facies distales de abanico aluviales; además de la presencia de canales abandonados, dando origen a lagos pequeños y aislados. Este sistema fue alimentado por corrientes fluviales que transportaban material erosionado proveniente del Complejo Acatlán debido a procesos de levantamiento, provocado por el desarrollo de un sistema de fallas normales.

Ocurrieron de manera contemporánea periodos de fuerte erosión y sedimentación, con lo cual se acumularon sedimentos finos en los que se preservaron restos de flora fósil.

Para el Bathoniano Tardío se inicia en México una transgresión marina procedente del Pacífico dirigida hacia el norte y la región del Golfo de México (Cantú, 1998); evento que está relacionado a la apertura del Océano Atlántico, que continuo y aumento durante el Calloviano.

Iniciando el Oxfordiano, las trasgresiones marinas del Pacífico llegaron hasta la porción norte de Oaxaca, ganándole terreno al continente; este movimiento permitió la formación de ambientes de aguas someras acumulándose sedimentos en las proximidades de línea de costa, también se formaron Paleobahías (Morán, 1993), (*Figura 5.1*). Para el Oxfordiano se infiere que prevalecieron condiciones propias a un ambiente litoral de alta energía con aportes de corrientes fluviales, que posteriormente evolucionarían a condiciones de energía baja con influencias de agua dulce restringidas al mar abierto que corresponden con la secuencia marina calcáreo-arcillosa de la Formación Mapache. (Caballero, 1990).

Posteriormente, durante el Titoniano-Portlandiano el avance de la transgresión marina, cambió a condiciones de baja energía, permitiendo los depósitos de lagunas litorales con comunicación intermitente al mar abierto y flujos fluviales que aportaban solamente material fino, lo que corresponde con el depósito de la Formación Mapache. Los acuñamientos presentes en zonas cercanas a Tecamatlán, Puebla, de las secuencias marinas Jurásicas correspondientes a las Formaciones Chimeco y Mapache indican la proximidad de la zona continental y las condiciones imperantes durante el Cretácico Temprano (Berriasiano-Albiano) que fueron de intensa erosión.

Por lo que dichos registros no se reflejan en el área de estudio, debido a que no existen evidencias de rocas marinas, se interpreta que no hubo depósito de ellas estando esta zona por arriba del nivel de invasión marina para este periodo.

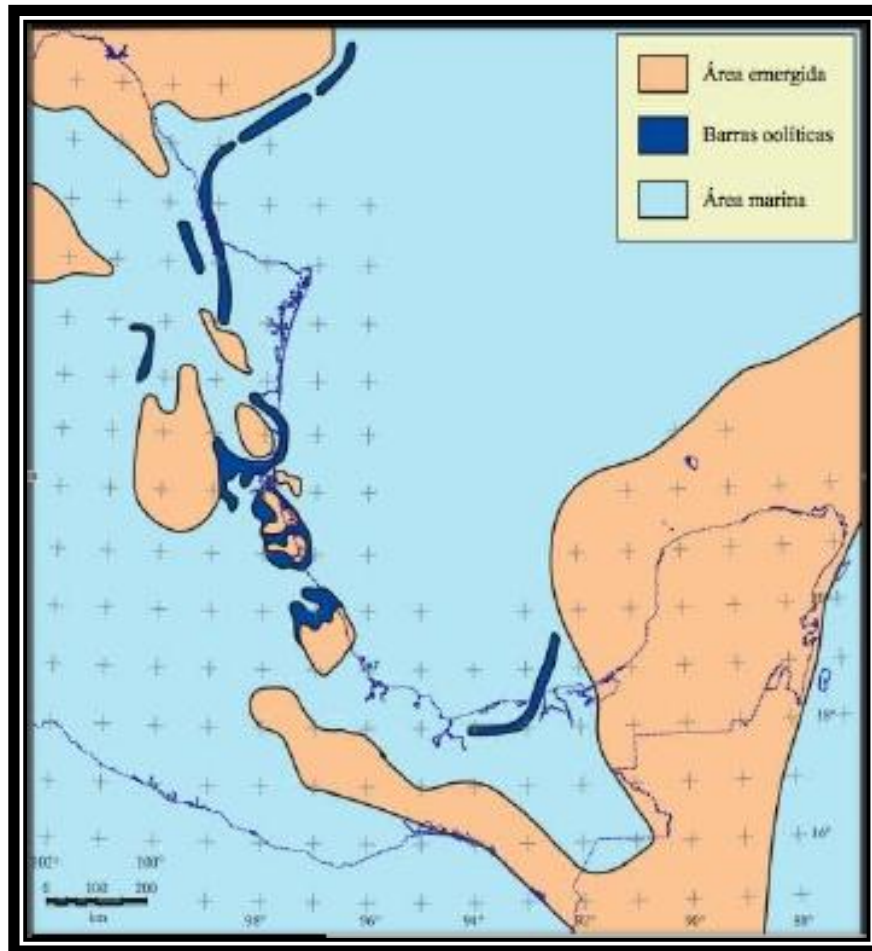


Figura 5.1 Paleogeografía del Kimmeridgiano Temprano. Se pueden observar las zonas emergidas que formaron islas, las cuales controlaron la sedimentación de las diferentes formaciones litológicas durante el Jurásico Superior (Tomado de Padilla y Sánchez, 1986).

4.1.2.2 CRETÁCICO.

Para la parte superior del Cretácico Inferior (Aptiano) y hasta el Cenomaniano, se tienen registrados eventos de transgresiones marinas importantes en el suroeste de México, presentándose un ambiente de aguas someras, cálidas y tranquilas, depositando gran cantidad de lodo de carbono y aloquímicos que dieron las condiciones favorables para el depósito de la Formación Teposcolula. En este lapso hubo estabilidad tectónica, periodos de subsidencia y enfriamiento cortical; originándose un aumento en el nivel del mar, formando una amplia plataforma somera en la que se acumularon carbonatos; los cambios texturales de las calizas se explican por la irregularidad de la superficie de la zona marina somera.

Hacia finales del Cenomaniano se interpreta un descenso en el nivel del mar, relacionado a una nueva inestabilidad tectónica (Vait *et. al.*, 1977). Al finalizar el Coniacino y hasta el Maestrichtiano se empiezan a tener episodios de mayor aporte de terrígenos, debido a un levantamiento regional.

4.1.3 CENOZOICO.

Durante el Cretácico Tardío y Paleoceno comienza un nuevo periodo de actividad tectónica, dando origen al inicio de la Orogenia Laramide como resultado de la convergencia de la Placa Farallón por debajo de la Placa Norteamericana cuyo resultado fue que solo quedaron segmentos que corresponden con las Placas Juan de Fuca y Cocos (Condie, 1982); lo cual involucro despegue de las cubiertas sedimentarias y movimientos verticales de bloques del basamento con mecanismos que deformaron y originaron el plegamiento de las secuencias mesozoicas (Formaciones Tecamazuchil, Chimeco, Mapache y Teposcolula). Como causa principal de esta orogenia se originó un importante relieve, posteriormente se estableció un incremento en la actividad magmática con levantamiento en el oeste de México, producto de adición en la base de la corteza en la Sierra Madre Occidental (Arvizu, 2006).

Estas condiciones tectónicas favorecieron la existencia de un relieve con altos topográficos y una red de drenaje proveniente de las sierras aledañas con escurrimientos intermitentes que contribuyeron a una erosión rápida, permitiendo que se originaran volúmenes de sedimentos clásticos continentales que se depositaron en abanicos aluviales en las cuencas continentales, este episodio se refleja permitiendo la depositación del Conglomerado Tecomatlán. El cual en su parte basal corresponde a un abanico aluvial como fase distal con influencia de escurrimientos intermitentes provenientes de altos topográficos y como producto de la erosión.

Para el Oligoceno se dio inicio a una etapa de actividad volcánica; además de procesos de erosión y sedimentación por lo que se tienen areniscas, lutitas arenosas, capas de conglomerados y brechas, cenizas volcánicas y derrames de lava. Este episodio queda registrado en la Formación Huajuapán, que se localiza en el occidente de la zona de estudio. La cual corresponde a una época de intenso vulcanismo explosivo, acompañada de sedimentación lacustre y fluvial, con sedimentos

procedentes de una región semiárida durante el Mioceno y parte del Plioceno, la actividad magmática continuo como parte de la Cordillera Occidental de Norteamérica, tanto con actividad interna (intrusivos) y externa (derrames y piroclásticos) como la Brecha Volcánica localizada en el poblado del Tepexquixtle, además de encontrar en zonas aledañas la Unidad Ahuehuetitlán y la Andesita Basáltica Chila.

Durante este lapso en la región sur de la Placa de Norteamérica, se interpretan otros fenómenos tectónicos importantes, que trajeron como consecuencia erupciones volcánicas con la correspondiente modificación del relieve. Esta manifestación ígneo-tectónica se relaciona con la importante perturbación térmica asociada a un modelo de arco (Coney, 1983), así como también la activación de la Placa del Caribe.

Para el Reciente, los eventos climáticos y tectónicos siguen configurando el relieve de la zona con la erosión de los altos topográficos generando depósitos de aluvión que se encuentran actualmente cubriendo las zonas más bajas y en los valles presentes en la zona.

Capítulo 5

Conclusiones y

Recomendaciones

5.1 CONCLUSIONES.

1. La columna estratigráfica de la zona de estudio está constituida por rocas del Paleozoico (Complejo Acatlán y Formación Cuxtepeque), del Jurásico Inferior (Conglomerado Peña Colorada), del Jurásico Medio (Formación Tecamazuchil), del Jurásico Superior (Formaciones Chimeco y Mapache), del Cretácico (Formación Teposcolula e Intrusivos) y del Paleógeno-Neógeno (Conglomerado Tecamatlán, Formación Huajuapán, una Brecha Volcánica, Unidad Ahuehuetitlán y la Andesita Basáltica Chila).
2. La unidad basal de la secuencia jurásica se compone de un conglomerado polimíctico compuesto por clastos angulosos a subangulosos de fragmentos de cuarzo, esquistos y en menor cantidad gneiss. Por lo que se propone como una nueva unidad estratigráfica de nombre Conglomerado Peña Colorada, cuya localidad tipo es el afloramiento que se encuentra ubicado al occidente del área de estudio, entre los poblados de Tezoquipa y Peña Colorada, de la cual se midió una columna estratigráfica con un espesor total de 56.90 [m].
3. La Formación Tecamazuchil consiste en una secuencia de rocas clásticas en sus diversas granulometrías, desde lutitas, limolitas, areniscas de grano, fino, medio y grueso, areniscas conglomeráticas, además de conglomerados de grano fino, medio y grueso, de manera no rítmica de colores beige, rojizo, verde y gris claro; su parte basal está constituida por intercalación de conglomerado grueso a fino, variando de litarenitas a sublitarenitas, con estratos que van de 0.30 a 0.80 [m] de espesor. La mayor abundancia litológica está caracterizada por capas de areniscas de grano grueso a fino, correspondientes a litarenitas, intercaladas con limolitas y lutitas. Los estratos se presentan de forma tabular, paralelos e irregulares. También dentro de estos, se presentan cuerpos lenticulares de conglomerados arenosos, correspondientes a rellenos de canal, además de nódulos de Fe, horizontes de carbón y estructuras de carga. En esta unidad se midió una columna estratigráfica con espesor total de 228.27 [m], sobre la Barranca La Mina a faldas del Cerro Chicaltepec y a orillas del Río Acatlán, entre los poblados de la Herradura y el Porvenir.
4. La Formación Huajuapán está constituida en la parte basal por una intercalación de areniscas conglomeráticas y arenisca media de color rojizo al intemperismo, cementada por carbonato de

calcio con horizontes de limolita y lentes de conglomerado. En la parte media está representada por la intercalación de conglomerado, areniscas y calizas. Las calizas varían de mudstone a packstone; se aprecian algunos estratos de arcilla, horizontes de carbón y pedernal. La parte superior consiste de la intercalación de areniscas, limolitas y lutitas que hacia la cima presenta estratos de calizas y areniscas tobáceas. Se midió una columna estratigráfica con un espesor total de 80.12 [m], a faldas del Cerro Tepeyehuale, sobre la carretera que comunica a los poblados de Tezoquipan y La Unión.

5. Las principales fuentes de aporte de material para el Conglomerado Peña Colorada y Formación Tecomazuchil, son rocas del Complejo Acatlán y detrítos propios de las mismas unidades depositados y posteriormente erosionados en zonas de mayor relieve.
6. El ambiente de depósito del Conglomerado Peña Colorada es un abanico aluvial con flujos de escombros en zonas de alta pendiente. Esto fue originado en la etapa temprana de la formación de un graben asociado a la apertura del Golfo de México en el Triásico-Jurásico.
7. La Formación Tecomazuchil fue depositada en la parte media y distal de abanicos aluviales, correspondiente a un ambiente fluvial meándrico, combinado con depósitos de sedimentos finos de llanuras de inundación y lagos aislados, que evolucionaron a pequeños pantanos, que dieron origen a los depósitos de carbón.
8. El registro fósil encontrado en el Conglomerado Peña Colorada pertenece a plantas principalmente las Bennettitales, pertenecientes a los géneros *Zamites*, *Otozamites*, además de *Mexiglosa varia*, Helechos y Coníferas de tipo *Elatocladus*.
9. La edad para el Conglomerado Peña Colorada propuesto con base a los organismos fósiles encontrados como: coníferas de tipo *Elatoclaus* fechado para el Jurásico Inferior (Weber, 1980), además de contener *Zamites*, *Otozamites*, *Mexiglosa varia* y Helechos del Jurásico Medio (Silva-Pineda, 1980) y por su posición estratigráfica se infiere una edad del Jurásico Inferior y Medio.

10. La dirección preferencial de las rocas que conforman al Conglomerado Peña Colorada es NE con inclinaciones al SE, además de SW con inclinación al NW, y en menor influencia al NS con inclinación de 25° al E. Con base a lo anterior se infiere para esta unidad una estructura de pliegue, correspondiente a un anticlinal abierto, el cual se encuentra afectado por fallamiento lateral con dirección NW-SE y N-S.
11. Para la Formación Tecamazuchil el registro fósil encontrado corresponde a plantas, de las cuales se identificaron 2 comunidades principales: en la base se presentan mayor diversidad y abundancia principalmente las Bennettitales con géneros como *Zamites*, *Otozamites*, *Ptilophyllum* y *Pterophyllum*, además de Helechos, Equisetos, *Mexiglosa varia*, un cono de género *Williamsonia* y Coniferales. Hacia la cima se registra una disminución de diversidad con la presencia de las Bennettitales de género *Zamites*, *Otozamites* y *Ptilophyllum*, además de *Brachyphyllum*.
12. De acuerdo al análisis de los fósiles encontrados en la Formación Tecamazuchil, por medio del área foliar de éstos, se interpreta condiciones climáticas iniciales cálidas y húmedas, que posteriormente evolucionó a semicálido a subhúmedo.
13. La Formación Tecamazuchil contiene *Ptilophyllum*, *Zamites*, *Otozamites*, *Mexiglosa varia* y Helechos, que corresponden con fósiles de plantas característicos de gran parte del Mesozoico, por lo que no ayudan mucho a determinar la edad precisa de esta formación. Por lo que en este trabajo se propone una edad del Jurásico Medio con base su relación estratigráfica, además de la similitud y fechamiento en especies similares reportadas por Silva-Pineda (1978b) en áreas proximales.
14. La dirección preferencial promedio de los estratos de las rocas que conforman a la Formación Tecamazuchil es N25°W, con inclinación de 21° a 65° al NE y al N18°E, con inclinación de 55° a 63° al SE. Además de estar afectadas por un sistema de fallamiento normal con dirección NE-SW y por fallas laterales con dirección NW-SE y E-W.

15. Las rocas de la Formación Huajuapán presentan una dirección preferencial SW-NE con inclinaciones de 15° a 33° al NW, que están afectadas por fallamiento lateral con orientación NW-SE.
16. El análisis cinemático de las fallas normales y laterales para cada formación tiene como resultado datos que indican que hubo más de un evento de deformación, que originó extensión estructural: el primero produjo la formación de pliegues y fracturas; posteriormente una segunda fase produjo fallamiento normal y lateral; por último se presentó un tercer evento, el cual desarrolló fallas laterales.

5.2 RECOMENDACIONES.

1. Continuar con la cartografía detallada en zonas proximales, para tener una mejor delimitación de las unidades estratigráficas que afloran en la región.
2. Realizar una descripción más detallada de la Formación Tecomazuchil en localidades donde se han reportado, para obtener mayor información que permita realizar la correlación estratigráfica y conocer las variaciones de los subambientes sedimentarios.
3. Realizar un estudio económico del carbón, para establecer la viabilidad de explotar este recurso.



- Abderrazki El A. D., Vachard F., F., Buitrón, B.E. y Flores de Dios, A. 2005 "Paleoenvironmental characterisation of the Upper Pennsylvanian-Lower Permian deposits of the San Salvador Patlanoaya section (Puebla, Mexico)". *Facies*. Vol. 50, Nos. 3-4. p. 629-645.
- Aguilar A. F, 2004. "Plantas Jurásicas de la Región noroccidental de Oaxaca". (Formaciones Rosario y Cualac) "Implicaciones Paleobiogeográficas". Fac. de Ciencias, UNAM, Tesis de maestría, Pp 144.
- Aguilera, J.G., 1897^a. "Itinerarios geológicos", en Aguilera, J.G., Ordóñez, E. (eds.), Bosquejo geológico de México: Instituto Geológico de México, Boletín, 4-6, 78-166.
- Aguilera, J.G., 1897^b. "Sinopsis de geología mexicana", en Aguilera, J. G., Ordóñez, E., Bosquejo geológico de México: Instituto Geológico de México, Boletín, 4-6, 187-250.
- Alencaster, G., 1963. "Pelecípodos del Jurásico del noreste de Oaxaca y noroeste de Guerrero". Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Paleontología Mexicana No. 15, 52 p.
- Alencaster, G. y Buitrón B. E., 1965. "Fauna del Jurásico Superior de la región de Petlalcingo, Estado de Puebla". Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Paleontología Mexicana, parte 2, 53 p.
- Alencaster, G. y Buitrón, B.E., 1965. "Estratigrafía y paleontología del Jurásico Superior de la parte centromeridional del Estado de Puebla". Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Paleontología Mexicana (21), pte. 2, 1-53
- Allen, J. R. L. 1965. "A review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments". *Sedimentology*, vol. 5, pp. 89-191.
- Allen, P.A., Allen, J.R., 2005. "Basin Analysis: Principles and Applications". Blackwell Publishing, 549 p.
- Arche, A., 1992. "Sedimentología vol. I", Consejo Superior de Investigaciones científicas Madrid, 103 p.

- Arellano G., J., Vachard, D., Yussim, S., Flores de Dios, A., 1998. "Aspectos Estratigráficos, Estructurales y Paleogeográficos del Pérmico Inferior al Jurásico Inferior en Pemuxco, Estado de Hidalgo México". México DF., Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, vol. 15, Núm. 1. p. 9-13.
- Arvizu G., I. R., 2006. "Paleomagnetismo de Rocas Jurásicas y Cretácicas del Valle San Marcos, Coahuila, México". Universidad Nacional Autónoma de México; México. Tesis de Licenciatura. p.10-31.
- Benavidez M., M. E., 1978. "Estudio geológico del Municipio de Cualac, Edo. De Guerrero". México D.F., Instit. Politéc. Nal., Escuela Sup. Ing. Arquitectura, Tesis Profesional, 71 p (Inédita).
- Birkinbine, J. L., 1911. "Exploration of centrain iron-oore and coal deposits in the State of Oaxaca, Mexico Amer". Inst. Min. Eng. Trans. No. 12, p.166-188.
- Böhnell, H., 1999. "Paleomagnetic study of Jurassic and Cretaceous rocks from the Mixteca terrane (Mexico)". Journal of South American Earth Sciences, (12), 545-556.
- Böse, E., 1988. "Geología de los alrededores de Orizaba, con un perfil de la vertiente oriental de la Mesa Central de México". Instituto Geológico de México, Boletín 13, 54p.
- Buitrón, B. E., 1970. "Equinoides del Jurásico Superior y del Cretácico Inferior de Tlaxiaco, Oaxaca". México, D.F., Soc. Geol. Mexicana, Excursión México-Oaxaca, p154-163.
- Buitrón, B. E., 1981. "Gasterópodos del Cretácico Temprano de México occidental y sus implicaciones paleobiográficas". Porto Alegre, Brasil, II Congreso Latinoamericano de Paleontología, Anais, p. 343-357.
- Burkhardt, C., 1927. "Cefalópodos del Jurásico Medio de Oaxaca y Guerrero". Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, México, Boletín 47, 106 p.
- Burkhardt, C., 1930. " Etude synthetique sur le Mesozoique mexicain.; Soc. Paleont. Suisse. Mem. 49-30, 280pp.

- Caballero M., C. I., 1990. "Geología y anisotropía magnética del Jurásico continental del área de Huajuapán de León-Petlalcingo, Estados de Oaxaca y Puebla". Tesis de Maestría, UNAM, Facultad de Ciencias, 142 p.
- Calderón G., A., 1956. "Bosquejo geológico de la región de San Juan Raya, Puebla" en México, D.F., Congreso Geológico Internacional, no. 20, Excursión A-11, p. 9-33.
- Campa, M. F. y Coney, P. J., 1983. "Tectono-stratigraphic terranes and mineral resourcedistributions in Mexico". Canadian Journal of Earth Sciences, vol. 20, p. 1040-1051.
- Cantú C., A., 1998. "Las transgresiones Jurásicas en México". Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología y Sociedad Geológica Mexicana, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, vol. 15, no. 1, p. 25-37.
- Carrasco R., R. S., 1981. "Geología Jurásica del área de Tlaxiaco, Mixteca Alta, Oaxaca: México". Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias. Tesis de Maestría, 105 p.
- Carrasco R., R. S., 1999. "Bioestratigrafía de amonitas (Cephalopoda–Ammonoidea) del Bajociano y Caloviano de una porción de la región Mixteca de Oaxaca: México". Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Geología, Posgrado en Ciencias de la Tierra. Tesis Doctoral, 91 p.
- Carrasco R., R. S., 2003. "Los ammonites del Calloviano de la región Mixteca, Oaxaca, México". Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, tomo LVI, núm. 1, 2003, p. 42-55.
- Carrillo B., J., 1961. "Geología del Anticlinorio Huizachal-Peregrina, al NW de Ciudad Victoria, Tamaulipas". Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., 13, 1-98.
- Condie, K. C., 1982. "Early and Middle Proterozoico supracrustal succesions and their tectonic settings". American Journal of Science, p. 282; 341-357.
- Coney, P. J., 1983, "Un modelo tectónico de México y sus relaciones con América del Norte, América del sur y el Caribe". Revista del Instituto Mexicano del Petróleo; v. 15, p. 6-15.

- Corona E., R., 1978. "Estudio geológico de los depósitos carboníferos de la porción noreste del Estado de Guerrero: Chilpancingo, Gro., México". Consejo de Recursos Minerales, Archivo Técnico, 120221, 23 p.
- Corona E., R., 1981 (1983). "Estratigrafía de la región de Olinalá- Tecocoyunca, Noreste del Estado de Guerrero". Universidad Nacional Autónoma de México, Inst. Geología, Revista, vol. 5, núm. 1, p. 17-24.
- Corro O., M.G y Ruíz G., F.J., 2011. "Análisis Estratigráfico de las Secuencias Jurásicas del área de Tlaxiaco, Oaxaca". Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura, p. 12-112.
- Dávalos A., O. G., 2006. "Evolución Tectónica Cenozoica en la porción Norte de la Falla de Oaxaca". Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Geociencias, Juriquilla, Querétaro. Tesis de Maestría. p. 17.
- De Cserna, Z., 1960. "Orogenesis in time and space in Mexico". Geologische Rundschau, v. 50, p. 595-605.
- De Cserna, Z., 1967. "Tectonic framework of southern Mexico and its bearing on the problem of continental drift". Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 30, 159-168.
- De Cserna, Z., Graf L., J. JR. y Ortega G., F., 1977. "Alóctono del Paleozoico inferior en la región de Ciudad Victoria, Estado de Tamaulipas". Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geol. Revista, vol. 1 num. 1, p. 33-43.
- De Cserna, Z., Ortega, F. y Palacios, M., 1980. "Reconocimiento Geológico de la parte central de la cuenca del alto Río Balsas, Estados de Guerrero y Puebla". Sociedad Geológica Mexicana, Libro-guía de la excursión geológica a la parte central de la cuenca del alto Río Balsas, Estados de Guerrero y Puebla, p. 1-33.
- Denison, R. E., Burke, W. H., Jr., Hetherington, E. A., y Otto J. B. 1970. "Basement rocks framework of parts of Texas, southern New Mexico and northern Mexico". In The geologic frameworks of the Chihuahua Tectonic Belt. Midland, west Texas Geol. Society, p. 3-14.

- Einsele, G., 2000. "Sedimentology Basins: Evolution Facies and Sediment Budget". Springer, Geología, Mexico, Boletín 47, 106 p.
- Elías H., M., Ortega G., F., 2002. "Caltepec fault zone: an Early Permian dextral transpressional boundary between the Proterozoic Oaxacan and Paleozoic Acatlán complexes, southern México, and regional tectonic implications": *Tectonics*, 21(3), 4-19.
- Elías H., M., Ortega G., F., Sánchez Z. J.L., Macías R., C., Ortega R., A., Iriondo, A., 2005. "La falla de Caltepec: raíces expuestas de una frontera tectónica de larga vida entre dos terrenos continentales del sur de México". *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Vol. Conmemorativo del Centenario, Grandes Fronteras Tectónicas de México, 42(1), 83-109.
- Enciso de la Vega, S., 1988. "Una nueva localidad Pérmica con Fusulínidos en Puebla". *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista*, Vol. 7, núm. 1, 1998, p.28-34.
- Erben, H. K., 1956a. "El Jurásico Inferior de México y sus amonitas". *Congreso Geológico Internacional*, 20 a Ses., México, 1956, 393 p.
- Erben, H. K., 1956b. "El Jurásico Medio y el Calloviano de México". *Congreso Geológico Internacional*, 20 a Ses., México, 1956, 140 p.
- Favila, A., Velasco de León, M. P., Silva P., A. y Flores C.D., 2007. "Análisis cuticular en conífera del Jurásico de Oaxaca, México, mediante electrónica de barrido". *Facultad de Estudios Superiores Zaragoza UNAM, Instituto de Geología UNAM*, p. 1-4.
- Félix, J., 1891. "Versteinerungen aus der Mexikanischen Jura und Kreide Formation". *Palaeontographica*, 37, 140-194.
- Félix, J. y Lenk, H., 1899. "Beitrage Zur Geologie und Palaontologie der Republik Mexiko". *Stuttgart, Schweizerbart, Palaentolographica*, v. 37, pt. I (1890), 114 p; pt II (1899), p-39-54.

- Ferrusquía V., I., 1971. "Geology of the Tamazulapan-Teposcolula-Yanhuitlan area, Mixteca Alta, State of Oaxaca, Mexico". Texas, U.S.A., The University of Texas at Austin. Tesis Doctoral, 247 p.
- Ferrusquía V., I., 1976. "Estudios geológico-paleontológicos en la región Mixteca. Pt.1: Geología del área Tamazulapan-Teposcolula-Yanhuitlán, Mixteca Alta, Estado de Oaxaca, México". Boletín del Instituto de Geología, 97, 160 p.
- Fitz, D.E., Campa, M.F., y López, M.M., 2002. "Fechamiento de lavas andesíticas de la Formación Zicapa, en el límite oriental de la Plataforma Guerrero Morelos". Actas INAGEQ, vol. 8, p. 178.
- Flores, T., 1909. "Datos para la geología del estado de Oaxaca". Bol. Soc. Geol. Mexicana, vol. 5, p. 107-128.
- Fries, C. Jr., 1958. "Geology of the State of Morelos and contiguous areas in South-Central, Mexico". Arizona, U. S.A., University of Arizona. Tesis Doctoral, 329 p.
- Fries, C., 1960. "Geología del Estado de Morelos y partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México". Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 60, 236 p.
- Fries, C. Jr. y Rincón O., C., 1965. "Nuevas aportaciones geocronológicas y técnicas empleadas en el Laboratorio de Geocronometría". Univ. Nal. Autón, México, Inst. Geol. Bol. 73 p. 57-133.
- Fries, G.F., Morrow, G.S. Jr., Gordon, C.H., Dryden, L.P. and Hartman, A. M., 1970. "Effect of activated carbon on elimination of organochlorine pesticides from rats and cows". J. Dairy Sci. 53: 1632.
- Galina H., S. M., 1996. "Geocronología y Paleomagnetismo de rocas intrusivas y volcánicas del área de Huajuapán de León, Oaxaca". Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de Maestría, 112 p.

- Gómez A., M., De La O V., M. A., González C., E., Ramírez C., R. J., 2005. "Rocas dimensionables del municipio Villa Tejupan de la Unión, Oaxaca". *Elementos*, 59(12), 55 p.
- González A., C, Villaseñor A. B., Corona E., 1994. "Permian fauna of the Los Arcos Formation, Municipality of Olinala, State of Guerrero, Mexico". *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 11, 2: 214-221.
- González G., S., 1987. "Estado actual del conocimiento de plantas fósiles superior de México". Facultad de Ciencias, UNAM (Mex. D.F.) Tesis de Licenciatura.
- González T., E. A., 1989 "Geología y Paleomagnetismo del área de Tezoatlán, Oaxaca". Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura. 188 p.
- Grimaldo A., J. R., 2010. "Análisis Estratigráfico de las Secuencias Jurásicas de la Región de Ayuquila - Santiago Chilixtlahuaca, Oaxaca". Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura, p. 29-84.
- Guzmán, E. J., 1950. "Geología del noreste de Guerrero". *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 2(2), 95-156.
- Gutiérrez N., 2010. "Cartografía geológico-estructural de la Formación Teposcolula entre Chila de las Flores, Puebla y Huajuapán de León, Oaxaca". Facultad de ingeniería. Tesis de licenciatura. México, D.F.
- Halpern, M., Guerrero G., José y Ruíz C., M., 1974. "Rb-Sr dates of igneous and metamorphic rocks from southeastern and central Mexico; a progress report". México, D.F., Unión Geofísica Mexicana, Reunion Annual, p. 30-32, resumen.
- Heim, A., 1940. "The front ranges of the Sierra Madre Oriental, Mexico, from Ciudad Victoria to Tamazunchale". *Eclogae Geol. Helv.*, 33, 313-352.
- Imlay, R.W., 1937., "Geology of the middle part of the Sierra de Parras, Coahuila, Mexico". *Bulletin of Geological Society of America*, 48(5), 587-630.

- Imlay, R. W., 1938. "Studies of the Mexican Geosyncline". Geological Society of America Bulletin, 49,1651-1694.
- Imlay, R. W., 1953. "Las formaciones jurásicas de México". Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 16(1) 1-64.
- Jiménez R., J. y Rueda G., J., 2002. "Reestructuración formal de los grupos Consuelo y Tecocoyunca (*sensu* Jorge Jiménez-Rentería), con base en el estudio palinoestratigráfico de las formaciones Conglomerado prieto y Conglomerado Cualac de la Cañada de Rosario Nuevo, Tezoatlán, Oaxaca" (resumen), *en* Tercera Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, Puerto Vallarta, Jalisco, México: GEOS, Unión Geofísica Mexicana, Resúmenes y Programa, p. 166.
- Jiménez R., J., 2004. "Estudio palinoestratigráfico de los grupos Consuelo y Tecocoyunca (Triásico – Jurásico) en la Barranca Rosario Nuevo, región de Tezoatlán, al noroeste del Estado de Oaxaca". Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura, 376 p.
- Larrabe, J. L., Cárdenas, J. G., 1982. "Cuenca carbonífera jurásica del noreste del Estado de Guerrero: Chilpancingo, Guerrero, México". Consejo de Recursos Minerales, Archivo Técnico, SIGMA-CRM TI 120139, 79 p.
- Longoria, J. F., 1977. "Bioestratigrafía del Cretácico Inferior basada en microfósiles planctónicos". Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 38, 2-17.
- López R., E., 1983. "Geología de México". Tomo III, 3era Edición, p. 72-106.
- López T., D., 1985. "Revisión de la estratigrafía y potencial petrolero de la cuenca de Tlaxiaco". Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, vol. 37, p. 49-92.
- Martiny, B., Martínez S., R., Morán Z., Macias R., C., Ayuso, R. A., 2000. "Stratigraphy, geochemistry and tectonic significance of the Oligocene magmatic rocks of western Oaxaca, southern Mexico". Tectonophysics, vol. 318, p. 71-98. Oaxaca, Mexico: Amer. Inst. Min. Eng. Trans. No. 12, p.166-18.

- Meneses R., J. J., *et. al.*, 1994. "Bosquejo paleogeográfico y tectónico del sur de México durante el Mesozoico". Boletín de Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, vol. XLIV, no. 2, p. 18-45.
- Miall, A., 1996. "The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology". Springer eds. 582 p.
- Miall, A. D., 1977. "A review of the braided river depositional environment". Earth Science. Rev. 13, pp. 1-62.
- Morales G., M., Keppie, J. D., Norman, M., 2008. "Ordovician–Silurian rift-passive margin on the Mexican margin of the Rheic Ocean overlain by Carboniferous–Permian periarctic rocks: Evidence from the eastern Acatlán Complex, southern Mexico". *Tectonophysics* 461, 1-4:291-310 pp.
- Morán Z., D. J., 1987. "Paleogeografía y paleomagnetismo Precenozoicos del Terreno Mixteco". UNAM, Facultad de Ciencias. Tesis de Maestría, 177 p.
- Morán Z., D. J., *et. al.*, 1988. "Paleomagnetismo de rocas Jurásicas del norte de Oaxaca y sus implicaciones tectónicas". *Geofísica Internacional*, p. 486-518.
- Moran Z., D.J. Caballero M., C.I., Silva R., G., Ortega G., B., y González T., E., 1993. "Jurassic Cretaceous Paleogeographic Evolution of the Northern Mixteca terrane, Southern Mexico". *Geofísica Internacional*. 32(3):453-473.
- Morán Z., D. J., *et. al.*, 2005. "La evolución tectónica y magmática Cenozoica del suroeste de México: avances y problemas de interpretación". Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen conmemorativo del primer Centenario, Temas Selectos de la Geología Mexicana, 57, 3, pp 227-285.
- Ortega G., F., 1978a. "Notas sobre la geología del área entre Santa Cruz y Ayuquila, estados de Puebla y Oaxaca". *Paleontología Mexicana*. Inst. Geología, num.44, pp 17-26.

- Ortega G., F., 1978b. "Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca Baja, Estados de Puebla y Oaxaca". Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, vol. 2, núm. 2, p. 112-131.
- Ortega G., F., 1978. "La evolución Tectónica Premesozoica del Sur de México". Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, vol. 5, núm. 2 (1981), p.140-157.
- Ortega G., F., 1981. "Metamorphic belts of southern Mexico and their tectonic significance". Geofísica Internacional, vol. 20, no. 3, p. 177-202.
- Ortega G., B., 1989. "Paleomagnetismo y geología de las unidades clásticas Mesozoicas del área de Totoltepec-Ixcaquixtla, Estados de Puebla y Oaxaca". Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias Tesis de Maestría, 134p.
- Padilla S., R.J., 1978. "Bosquejo Geológico-estructural de la Sierra Madre Oriental en el área Linares-Galeana-San Roberto, estado de Nuevo León". Revista del Instituto de Geología, 2(1), 45-54.
- Padilla S., R.J., 1986. "Post-Paleozoic tectonics of Northeast Mexico and its role in the evolution of the Gulf of Mexico". Geofísica Internacional, V. 25, No. 1, P. 157-206
- Pantoja A., J., 1959. "Estudio geológico de reconocimiento de la región de Huetamo, Estado de Michoacán". Boletín del Consejo de Recursos no Renovables, 50, 1-36.
- Pérez I., J.M., Hokuto C., A., De Cserna, Z., 1965. "Reconocimiento geológico del área de Petlalcingo-Santa Cruz, Municipio de Acatlán, Estado de Puebla". Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Paleontología Mexicana, (21), 5-22.
- Pérez I., J.M., Hokuto C., A. y De Cserna, Z., 1965. "Estratigrafía y Paleontología del Jurásico Superior de la parte centro meridional del Estado de Puebla". Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Paleontología Mexicana 21, parte 1, p.1-22.
- Person, CH. P., 1976. "The middle Jurassic flora of Oaxaca, Mexico". Universidad de Texas Austin, Ph. D. Diss., xxvii+145 p 792 p.

- Quezada M., M., 1970. "Prospecto Huamuxtitlán, Estado de Guerrero". México D.F., Petróleos Mexicanos, Inf. Geol, 561 p.
- Ramírez R., C., 1974. "Reconocimiento geológico de las zonas metamórficas al poniente de ciudad Victoria, Tamaulipas: México, D.F.", Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Tesis Profesional, pp. 78., inédito.
- Ramírez, J. 1984. "La acreción de los Terrenos Mixteco y Oaxaca durante el Cretácico Inferior, Sierra Madre del Sur de México". Bol. Soc. Geol. Mexicana, T. 45, n. 1-2, pp. 7-20.
- Raup D., M. y Stanley S., M. 1971. "Principles of Paleontology". San Francisco: Freeman and Company. vol. 8. 388 pp.
- Reading, H. 1996. "Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy". Blackwell Science eds. 688 p.
- Rowland, S. M. and Duebendorfer, E. M., (1994). "Structural Analysis and Synthesis: A Laboratory Course in Structural Geology". 2da. Edición, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, p. 129-137.
- Ruiz C. M., 1979. "Rubidium-strontium geochronology of the Oaxaca and Acatlan metamorphic areas of Southern Mexico". Tesis Doctoral, Universidad de Texas en Dallas, E.U.A., p. 178.
- Ruiz C., M., 1970. "Reconocimiento geológico en el área de Mariscala-Amatitlán, Estado de Oaxaca". México, D.F., Soc. Geol. Mexicana, Libro-Guía de la Excursión México-Oaxaca, p. 55-66.
- Salas, G.P., 1949. "Bosquejo geológico de la Cuenca Sedimentaria de Oaxaca". Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 1(2), 79-156.
- Sandoval, J., y Westermann, G. E. G., 1987. "The Bajocian (Jurassic) ammonite fauna of Oaxaca, Mexico", Journal of Paleontology, vol. 60, p. 1220 – 1271.

- Santa María D., A., 2003. "Cartografía geológica de la región de Tamazulapam, Nochixtlán, Chalcatongo, Yosundua, en el sur de México". Universidad Tecnológica de la Mixteca, Instituto de Minería, 34 p.
- Schlaepfer, J. C., 1970a. "Geología y Sedimentología del Terciario Continental del área de Nochixtlán-Yanhuitlán, Oaxaca, México". Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de Maestría, 77 p.
- Schlaepfer, J. C., 1970b. "Geología Terciaria del área de Yanhuitlán-Nochixtlán, Oaxaca, México". Libro-Guía, Excursión geológica México-Oaxaca, Sociedad Geológica Mexicana, 85-96.
- Schulsze S., C. H., 1988. "Análisis estratigráfico y metalogenético del estado de Oaxaca". México, D.F., Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis Profesional, tomo1, 220 p.
- Sedlock, R. L., Ortega G., F., y Speed, F. C., 1993. "Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico". Geological Society of America Special Paper, v. 278, p. 153.
- Selley, R.C., 1970. "Ancient sedimentary environments". Chapman and Hall, 237 p.
- Silva P., A., 1970. "Plantas fósiles del Jurásico Superior de la Región de Tezoatlán, Estado de Oaxaca". Sociedad Geológica Mexicana, excursión México-Oaxaca. Libro-Guía, p. 129-153.
- Silva P., A., 1978 a. "Contribuciones a la paleobotánica del Jurásico de México". Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista; parte 1, p. 1-16.
- Silva P., A. 1984. "Revisión y Tipificación de las plantas Jurásicas colectadas y estudiadas por Wieland (1914) en la región del Consuelo, Oaxaca". Paleontología Mexicana 49:1.
- Silva P., A. y González G., S., 1988. "Algunas Bennettitales (Cycadophyta) y Coniferales (Coniferophyta) del Jurásico Medio del área de Cualac, Guerrero". Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología. Revista, vol.7, núm. 2,p. 244-248.

- Smith, C. I., 1970. "Lower Cretaceous Stratigraphy, Northern Coahuila, Mexico". University Of Texas, Austin, Bureau of Economic Geology, Report of Investigation, No. 65, p.101.
- Stach, E., *et. al.*, 1975. "Textbook of Coal Petrology". Berlin, Gebuder Borntraeger, 428 p.
- Talavera M., 2005. "U–Pb geochronology of the Acatlan Complex and implications for the Paleozoic paleogeography and tectonic evolution of southern Mexico". *Earth and Planetary Science Letters* 235 (2005) 682 – 699.
- Torres T., G., Ortega G., J.V., Gutiérrez G., L., Garduño M., V. H., 1984. "Estudio microestructural del límite oriental del terreno Mixteco entre Huajuapán de León y Teposcolula, Oaxaca". *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 45, 39-41.
- Torres, E. y Torres A., 1987. "Geología del área de Santa María Tejotepec, Oaxaca". Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. Tesis Profesional. (Inédita).
- Vázquez E., A., 1986. "Descubrimiento de una nueva localidad de rocas marinas del Paleozoico al suroeste del Estado de Puebla". In 24 Congreso Nacional de la Asociación de Geólogos Petroleros Mexicanos, Petróleos Mexicanos, Exploración, Zona centro, 20 p.
- Velasco de León, M.P. y Rodríguez B.R., 2007. "Tafenomia de Plantas Jurásicas de Oaxaca y Puebla". III Simposio Argentino Jurásico Mendoza (Argentina).
- Velasco de León, M. P., Silva P., A. y Flores C., G. D., 2007. "La presencia de *Brachyphyllum* en la Formación Tecomazuchil del Jurásico Medio de México". III Simposio Argentino. Memorias del Congreso, Mendoza Argentina.
- Velasco de León M.P., A. Dominguez Flores, H.A. hurcado Miller y J.L. Arcos 2011. Paleontología y estratigrafía de dos localidades de la Formación Conglomerado Cualac. XII Congreso Mexicano de Paleontología, Puebla de los Ángeles.
- Viniegra, F., 1965. "Geología del Masizo de Teziutlán y de la cuenca Cenozoica de Veracruz". *Bol. Asoc. Mex. de Geol. Petr.*, vol. 17, n. 7-12.

- Visher, G. S., 1965. "Fluvial processes as interpreted from ancient and recent fluvial deposits. In "Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation". Soc. Econ. Paleont. Miner., Spec. Publ. 12 (116-132).
- Weber, R., 1980. "Megafósiles de coníferas del Triásico Tardío y del Cretácico Tardío de México y consideraciones generales sobre las coníferas Mesozoicas de México". Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Rev. vol. 4, núm. 2 , p. 111-124.
- Weber, R., 2008. "Homomorfismo en Equisetaceae del Triásico: *Asinisetum* gen. nov., *Equisetites aequecaliginosus* Weber y conos asociados de Sonora, México". In Weber, Reinhard, ed., Plantas triásicas y jurásicas de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 115, Parte 1, p. 1-83.
- Westermann, G.E.G., Corona, R., Carrasco, R., 1984. "The andean Mid- Jurassic Neuquenicer as ammonite assemblage of Cualac, México, en Westermann, G.E.G. (ed.), Jurassic-Cretaceous biochronology and palaeogeography of North America". Geological Association of Canada, Special Paper, 27, 99-112.
- Wieland, G.R. 1914-1916. "La flora liásica de la Mixteca Alta". Boletín del Instituto Geológico de México, 31:1-165.
- Wilson, B. W., Hernández, J. P., Meave, E., 1955. "Un banco calizo del Cretácico en la parte oriental del estado de Querétaro, México". Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 18, 1-10.
- Wilson, J. A. y Clabaugh, S. E., 1970. "A new Miocene formation and description of volcanic Rocks, northern valley of Oaxaca". Sociedad Geológica Mexicana, Excursión México-Oaxaca, libro-guía, p. 120-128.
- Yañez, P., *et. al.*, 1991. "Isotopic Studies of Acatlan complex, southern Mexico: Implications for Paleozoic North American Tectonics". Geo. Soc. Am. Bull., 103, pp. 817-828.

Referencias electrónicas

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 1989, 2010. www.inegi.org.mx