



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO DE LAS SECUENCIAS JURÁSICAS CONTINENTALES DE LA REGIÓN DE OLINALÁ-CUALAC GUERRERO”

TESIS PROFESIONAL
para obtener el título de
INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTAN

Flores Domínguez Arturo

Mercado Millán Alfonso Hansel

DIRECTOR DE TESIS

Ing. José Luis Arcos Hernández

AGRADECIMIENTOS

Arturo Flores Domínguez.

*Principalmente a mis padres, a mi madre **Concepción Domínguez** por su sacrificio, apoyo y por ser el pilar de nuestra familia, a mi padre **Telesforo Flores** (q.d.e.p. †) que sé que le hará feliz este logro a donde quiera que esté, a mis hermanas principalmente a **Lucía** por su comprensión, amistad y apoyo incondicional.*

*A mis sinodales: **M.I Isabel Domínguez Trejo, M.C. Emiliano Campos** y en especial a el **Ing. Javier Arellano Gil** y a la **Doctora Patricia Velasco de León**, por todo su apoyo y tiempo durante este importante proceso.*

*A mi director de tesis, **Ing. José Luis Arcos Hernández**; por su apoyo, tiempo, paciencia, comprensión, y dedicación a realizar este trabajo.*

*A la **Facultad de Ingeniería de la UNAM**, por la oportunidad de ser parte de la máxima casa de estudios.*

*A mis amigos de la Facultad, **Roller** por el apoyo en la elaboración del mapa, a mi amigo **Hansel Alfonso** por realizar conmigo este trabajo, a **Betito** por su ayuda, a los Garrudos que dieron un toque especial a esta travesía como estudiante y persona, así como toda la banda de Ingenieros de las diferentes carreras por su compañerismo y experiencias, y a todo aquel que haya tenido una incidencia positiva en mi vida, con aprecio y gratitud hacia su amistad.*

*A la **UNAM**, que más que sus excelentes instalaciones, tiene el mejor capital humano.*

*A todos **MUCHAS GRACIAS.***

Alfonso Hansel Mercado Millán.

Agradezco a **Dios** que me ha dado la fuerza y la fe para terminar este trabajo de investigación, por darme la oportunidad de ser parte de esta vida. A mis padres **Margarita Millán** y **Leonardo Mercado**, por que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme durante el trascurso de mis estudios; a mis hermanos **Hegel** y **Vero** por estar presentes en mi vida y darme todo su apoyo desde que éramos niños. Y a todos aquellos que fueron parte de mi formación profesional, gracias a su cariño, guía y apoyo.

A la **UNAM** por permitirme ser parte de ella, por dejarme estudiar una carrera tan bella e interesante, por darme la oportunidad de conocer las ideas de grandes genios y muchos lugares de este gran país. A mi compañero y cómplice de este gran proyecto **Arturo** y a mis sinodales-

A las organizaciones que hicieron posible integrar y conjuntar diversas disciplinas tanto de cómputo, paleontología y geología para formar este proyecto **CONACYT**, **Facultad de Ingeniería**, **FES Zaragoza**, y todos sus respectivos responsables. Este presente simboliza mi gratitud por toda la responsabilidad e invaluable ayuda que siempre me han proporcionado.

Al estado de **Guerrero** en especial la zona de la montaña, por recibirnos con los brazos abiertos y darnos la oportunidad de cocer su belleza humana, natural, la geología, su gastronomía, sus pueblos y cultura.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE	i
RESUMEN	v
ABSTRACT	vii

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN	2
1.2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	3
1.2.1. Objetivo	3
1.2.2. Metodología	3
1.2.3. Método de campo	4
1.2.4. Levantamiento de sección estratigráfica.....	5
1.2.5 Establecimiento de unidades litoestratigráficas	5
1.3. LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO	7
1.4. FISIOGRAFÍA	9
1.5. HIDROGRAFÍA	11
1.6. ANTECEDENTES	13

Capítulo 2. MARCO ESTRATIGRÁFICO REGIONAL

2.1. ASPECTOS GENERALES.....	16
2.2. UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS REGIONALES	18
2.2.1. Complejo Acatlán	18
2.2.2. Formación Olinalá	22
2.2.3. Conglomerado Cualac	25
2.2.4. Grupo Tecocoyunca	27
2.2.5. Ignimbrita Las Lluvias	29
2.2.6. Formación Balsas	31
2.2.7. Rocas Volcánicas Cenozoicas	32

Capítulo 3. CARTOGRAFÍA Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL

3.1. ANTECEDENTES.....	35
3.2. COMPLEJO METAMÓRFICO ACATLÁN	36
3.3. GRUPO TECOCOYUNCA	39
3.4. CONGLOMERADOS	42
3.5. ROCAS IGNEAS.....	44
3.6. ZONAS ESTRUCTURALES.....	44
3.6.1 Zona Norte.....	44
3.6.2. Zona Sur	47
3.7. CONTACTO ENTRE EL CONGLOMERADO CUALAC Y EL GRUPO TECOCOYUNCA	49
3.8. MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO	52

Capítulo 4. ESTRATIGRAFÍA LOCAL

4.1. ESTRATIGRAFÍA LOCAL	56
4.2. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	58
4.2.1. Estructuras Sedimentarias.....	60
4.2.2. Delimitación de Unidades Litoestratigráficas	63
4.3. LITOLOGÍA	67
4.3.1. Análisis Microscópico	68
4.3.2. Descripción Macroscópica de las Muestras.....	78
4.4. CONTENIDO FOSILÍFERO	80
4.4.1. Introducción de la Coordenada Tiempo	83
4.5. LITOFACIES	85
4.6. BIOFACIES	90
4.7. AMBIENTE SEDIMENTARIO	91

Capítulo 5. EVOLUCIÓN GEOLÓGICA

5.1. GENERALIDADES	94
5.2. PALEOZOICO	95
5.3. MESOZOICO	96
5.4. CENOZOICO	97

Capítulo 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES	99
6.2. RECOMENDACIONES.....	100
APÉNDICE	101
REFERENCIAS.....	110

RESUMEN

La zona de estudio aflora en la región de Ahuacutzingo Guerrero, es una secuencia clástica que pertenece al Grupo Tecocoyunca del Jurásico Medio, su contacto inferior es discordante con el Complejo Acatlán, presenta intrusivos que afectan a la secuencia estratigráfica de tipo andesítico, granodioríticos y riolíticos de una edad Post-Jurásica, esto debido a la relación que guarda con su roca encajonante.

Se midió una columna estratigráfica con un espesor total de 398 m, donde la estratificación para esta secuencia presenta una dirección preferencial hacia el NE-SW con una inclinación al SE de 10° a 75°. Así mismo, se encuentra afectado por fallamiento normal y lateral.

La columna medida en su parte basal presenta un conglomerado alterado de cuarzo blanco con una intercalación de areniscas conglomeráticas, lutitas y areniscas de grano fino, la parte media de la columna se encuentra afectada por intrusivos de composición granitoide-andesítico intercalada con conglomerados y areniscas-lutitas con presencia de paleocanales y estratificación ondulada.

En la parte media superior está constituida por intercalación de areniscas de grano fino con espesores que varían de 30 a 10 cm con estratificación ondulante y paralela, con presencia de horizontes de carbón de 15 a 3 cm, intercaladas con lutitas con estratificación de 30 a 3 cm, con presencia de nódulos de hierro y grietas de desecación.

Para la parte superior de la columna se encuentran los fósiles bien preservados en los horizontes de carbón, con un espesor que varía de 30 a 5 cm, en contacto con esta intercalación están los estratos de lutitas de 4 m a 1.5 cm y areniscas de espesores de 7 m a 10 cm, donde se preservan las impresiones de troncos; interestratificados a estas lutitas y areniscas se encuentra un estrato de conglomerado de cuarzo con fragmentos de 2 cm a 0.5 cm y el espesor de este estrato es de 1 m.

Para la parte final de la columna se encuentra en contacto discordante con un conglomerado de cuarzo con intercalación de areniscas de grano fino a grueso, los espesores de las areniscas van de 8.5 m a 50 cm con estratificación paralela, impresiones de tronco, gradación inversa y estructuras de carga.

De acuerdo con el modelo de Miall (1985), el desarrollo de los depósitos del grupo Tecocoyunca se encuentra dentro de los sistemas de ríos de meandricos, principalmente con desarrollos de secuencias de tipo Donjek para la parte Inferior dominado por facies St, Sr,Sh, Fl, Fr y Scott dominado por facies Gm para la parte Superior.

La evidencia fósil se encuentra en dos niveles, el primero hacia la parte media de la columna entre el nivel 220 al 230 m; el segundo en la parte media superior a partir del nivel 260 al 300 m siendo en esta zona el más abundante. Los fósiles fueron encontrados en horizontes de lutitas y carbón.

La zona está afectada por anticlinales y sinclinales, además de contar con fallas regionales. Según el análisis estereográfico la estratificación del grupo Tecocoyunca es de dirección NE-SW con inclinación hacia el SE y la orientación general de los flancos encontrados es de SW 25° y una inclinación de 23° al NW. Estos análisis son congruentes con la orientación que presenta el sinclinal la Carbonera y el Conglomerado Cualac con dirección NE-SW.

ABSTRACT

The study area surfaces in the region of Ahuacutzingo Guerrero, is a clastic sequence belonging to Middle Jurassic Tecocoyunca Group, its lower contact is discordant with the Acatlán Complex; the sequence is affected by intrusives of andesitic, granodiorite and rhyolite type of Post-Jurassic age, correlated with its host rock.

A stratigraphic column was measured with a total thickness of 398 m, where the stratification of this sequence has a preferred direction towards the NE-SW with an inclination to SE 10 ° to 75 °. Likewise, it is affected by normal and lateral faulting.

In the basal part of the measure column appears a altered conglomerate with white quartz interleaving conglomeratic sandstones, shales and fine-grained sandstones, the middle part of the column is affected by intrusives with a granitoid-andesitic composition intercalated with conglomerates and sandstones-shale that presents paleochannels and wavy stratification.

The top half consists of a fine-grained sandstones intercalation with thicknesses ranging from 30 to 10 cm, with undulating and

parallel lamination, with presence of coal horizons that measure 15-3 cm, interspersed with shale stratification 30-3 cm, with the presence of iron nodules and desiccation cracks.

To the top of the column are fossils well preserved in the coal horizons with a thickness ranging from 30 to 5 cm, in contact with this intercalation there are shale layers of 4 m to 1.5 cm and sandstone of 7 m to 10 cm thickness, where trunks impressions are preserved; there is a layer of quartz conglomerate into interbedded shales and sandstones with fragments of 2 cm to 0.5 cm and the thickness of this layer is 1 m.

In the final part of the column there is a discordant contact with a quartz conglomerate intercalated with sandstones from fine to coarse-grained; sandstone thicknesses range from 8.5 m to 50 cm, there appears parallel stratification, trunk prints, reverse grading and load structures.

According to the model of Miall (1985), the development of deposits Tecocoyunca group is within the meandering river systems, primarily with developments of Donjek type sequences for the Bottom-dominated facies St, Sr, Sh, Fl, Fr and Scott dominated facies Gm to the top.

Fossil evidence is on two levels, the first in the middle of the column between 220 to 230 m; the second level in the top half from 260 to 300 m being the most abundant in this area. The fossils were found in shale and coal horizons.

The area is affected by anticlines and synclines, in addition to regional faults. Under stereographic analysis stratification Tecocoyunca Group is NE-SW direction inclined to the SE and the general orientation of the sidewalls is found SW 25 ° and an inclination of 23 ° to the NW. These analyzes are consistent with the guidance that presents the syncline the Carbonera and Conglomerate Cualac NE-SW direction.

GENERALIDADES

CAPÍTULO 1

1.1. INTRODUCCIÓN

En esta tesis se estudió la estratigrafía de la secuencia sedimentaria continental del Jurásico Medio, de la parte noroeste de la región conocida como La Montaña de Guerrero, se contó con el apoyo paleontológico de la Dra. Patricia Velazco de León de la FES Zaragoza, quien fue responsable del proyecto CONACYT 10773 que tiene como objeto conocer la distribución de las plantas, determinar los tipos de fósiles que se encuentran en la zonas del noreste de Guerrero y el noroeste de Oaxaca; para ello se necesitó contar con una base geológica, que permita la identificación de las secuencias sedimentarias, que contienen a los fósiles. Y a su vez los geólogos puedan complementar su trabajo con las aportaciones obtenidas de los biólogos, para interpretar las condiciones ambientales y al conjuntar la información se tenga un mayor soporte.

Para esta investigación se formó una brigada de Geólogos y Biólogos que realizaron una serie de estudios en los afloramientos, conjuntamente con su trabajo de gabinete; como son los estudios petrográficos, la realización de un mapa geológico, con una escala más detallada, el levantamiento de dos columnas estratigráficas de 250 m y 140 m, y con la asesoría, de los Ingenieros José Luis Arcos y Javier Arellano Gil de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

La zona de estudio se encuentra ubicada dentro de las cartas topográficas 1:50,000 del INEGI, llamadas Ahuacutzingo (E-14D21) y Tlapa de Comonfort (E-14D22), obteniendo la mayoría de datos de los alrededores del poblado de Tres Caminos, y se complementó, con un recorrido en los poblados de Cualac, Chiepetepec, Ayotzinapa y Cuescomapa.

En la zona, aflora una secuencia sedimentaria clástica, compuesta de areniscas, lutitas, conglomerados y delgados horizontes de carbón; la secuencia se encuentra afectada por intrusivos de composición granodiorítica y andesítica. El basamento es de origen metamórfico, con buenos afloramientos de meta areniscas y esquistos, este basamento, forma parte del Complejo Acatlán.

La zona que se estudió corresponde al Jurásico Inferior-Medio, se caracteriza por la presencia de ríos y arroyos que transportaron sedimentos depositándolos y acumulándolos como producto de un ambiente fluvial de mediana a alta energía. Las rocas que tienen más posibilidad de conservar los fósiles, son las lutitas, por su tamaño de grano y laminación, que fueron aglomerados durante la diagénesis conservando así sus fósiles.

1.2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

1.2.1. Objetivo.

El objetivo general de este estudio, es realizar un análisis estratigráfico de una zona particular del noreste de Guerrero, del Jurásico Inferior y Medio.

Los objetivos particulares son:

- a) Localizar secuencias con fósiles de plantas, para interpretar los paleo ambientes del Jurásico Inferior-Medio, en el estado de Guerrero, en el municipio de Ahuacuotzingo en las zonas aledañas al poblado Tres Caminos.
- b) Medir la columna estratigráfica de la zona.
- c) Elaborar un mapa geológico de la zona.
- d) Realizar la interpretación del origen de la cuenca, relación genética de las unidades y la correlación litoestratigráfica y bioestratigráfica.

1.2.2. Metodología.

En el estudio de las rocas estratificadas del Jurásico, se aplicaron diferentes metodologías y criterios, para cumplir con los objetivos.

La metodología básica es la observación, medición de la columna estratigráfica, toma de datos estructurales y muestreo en el campo, apoyándose de un conjunto de técnicas de laboratorio petrográfico y gabinete, utilizando así, programas como el QGIS 10.14, Sterostart 1.1, Autocad 2010, editores de imágenes y texto para el análisis y registros de información de los datos recabados en el campo. Finalmente, se realizó la redacción del reporte técnico, el cual es fundamental para su difusión y comentarios críticos.

Se llevaron a cabo cinco salidas de campo a la zona de estudio, con los cuales se recolectaron datos geológicos y paleontológicos.

1.2.3. Método de campo.

Se trata de un método fundamental de trabajo en la estratigrafía, el cual consiste en la observación de los afloramientos, auxiliado por el uso de equipos de medición y muestreo. Tiene como objetivos básicos, el reconocimiento de los materiales, toma de datos y de muestras para su interpretación sobre su génesis, relaciones geométricas y temporales; así como, la comparación y correlación entre unidades estratigráficas, de diversas localidades, dentro del área de estudio, por lo que se recorrió una zona aproximada de 60 km². En la figura 1.1 se muestra la secuencia clástica de lutitas y areniscas donde se recolectaron fósiles de plantas, esta se encuentra ubicada en el río Papala al oeste de Tres Caminos con aproximadamente 1.5 km de espesor. En esta secuencia se midió una columna de 145 m.



Figura 1.1. Estratificación de lutitas y areniscas donde se encontraron fósiles de plantas. Ubicada en el río Papala, aproximadamente a 1.5 km al oeste de Tres Caminos.

1.2.4. Levantamiento de sección estratigráfica.

Se llevó a cabo la medición de dos columnas estratigráfica, en la secuencia clástica del Jurásico Inferior-Medio con cinta métrica y con báculo de Jacob.

1.2.5. Establecimiento de unidades litoestratigráficas.

Las primeras observaciones que se realizaron, consisten en el reconocimiento de los diferentes tipos de rocas, que afloran en la región y de su posición relativa. A partir de estas observaciones delimitamos las unidades litoestratigráficas que afloran.

En cada una de las unidades identificamos las características de sus materiales (litología, color, texturas, estructuras sedimentarias, contenido fosilífero, geometría espesores, etc.).

Para establecer las unidades litoestratigráficas se llevaron a cabo las siguientes actividades:

a) Reconocimiento de litología.

En los afloramientos y en las secciones estratigráficas medidas, se reconoció cada tipo de litología, las que se representaron en la columna estratigráfica generada con un tipo de trama o dibujo, además de que cada tipo de material tiene un color distintivo.

Se recorrió la zona apoyándonos en los cortes de carreteras y ríos para el reconocimiento de litologías, ya que en esos sitios se tienen los mejores afloramientos.

b) Reconocimiento de texturas.

El elemento textural más importante de las rocas detríticas que pudimos observar, fue el tamaño de grano, identificación que se hizo mediante el análisis con lupa y con tablas de tamaños de partículas de Folk (1974) y Powere (1953).

Otro aspecto textural de interés en las rocas detríticas, fue el tamaño, la esfericidad y su redondez; así como, su matriz y el cementante.

c) Reconocimiento de las características de la estratificación.

En cada unidad litoestratigráfica, el aspecto que se consideró fue determinar la geometría de los estratos, tabulares o irregulares, como se puede observar en la figura 1.2. Es importante, conocer las características de las superficies de estratificación. El contacto entre estratos puede ser erosivo, plano, irregular o gradual.

d) Reconocimiento de estructuras sedimentarias de ordenamiento interno.

Las estructuras sin-deposicionales, conocidas como estructuras de carácter interno son aquellas formadas durante la sedimentación. Son además estructuras esencialmente de construcción que se relacionan con los estratos.

La estratificación es la característica fundamental de las rocas sedimentarias.

La importancia de las estructuras sedimentarias radica en conocer las condiciones del medio de depósito tales como: agente de depósito, tipo de flujo, etc. Sirve para inferir la polaridad, como ocurren con las marcas por diversos agentes como las gotas de lluvia, grietas de desecación, canales, marcas de corriente, producidas por la erosión de las corrientes, entre otros aspectos.

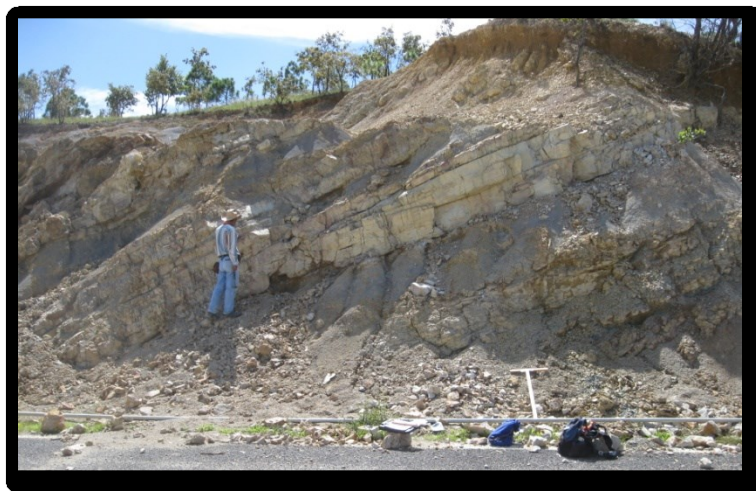


Figura 1.2. Estratificación cruzada. Ubicada al oeste de Tres Caminos.

e) Reconocimiento de estructuras sedimentarias en las superficies de estratificación.

El trabajo de campo consistió, en el levantamiento propio de la geología superficial en la región y en lugares estratégicos, que permitieron verificar la información recopilada. Se llevó a cabo el levantamiento de la sección estratigráfica y se tomaron muestras representativas de las unidades litoestratigráficas.

La información procesada se integró en un informe geológico-estratigráfico, en donde se describen los resultados obtenidos; ésta se complementa con un mapa, sección, tablas y figuras, que ilustran y sustentan los resultados.

1.3. LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El área de estudio se encuentra ubicada al noreste del estado de Guerrero, delimitado por las poblaciones de Cualac y Olinalá al norte, Ayotzinapa al sur, Tlapa de Comonfort al este y Chilapa de Álvarez al oeste. En el municipio de Ahuacotzingo en los alrededores del poblado de Tres Caminos. La zona de estudio se halla al sureste de la carta topográfica E-14D21 escala 1:50 000 de INEGI; en la figura 1.3 se muestra la ubicación de esta zona.



Figura 1.3. Ubicación en el estado de Guerrero y vías de comunicación en la zona de estudio.

La comunicación terrestre puede hacerse por la carretera federal No.93, con dirección a Tlapa de Comonfort-Atlixac y Olinalá-Cualac. En la figura 1.4 se muestran algunas opciones para llegar a la zona de estudio, una de ellas es por la carretera 93, y la otra por la carretera estatal de Paso Morelos-Olinalá.

El poblado de Tres Caminos con coordenadas UTM 14Q X= 527,514; Y= 1,944,185, al noreste de Chilpancingo Guerrero es una de las poblaciones que se encuentran en el área de estudio. Las cartas topográficas con claves E-14D21 y E-14D22 denominadas Ahuacuotzingo y Tlapa de Comonfort, son las que se utilizaron en el proyecto, teniendo una escala de 1:50,000 y fueron obtenidas en el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI).

Ahuacuotzingo es uno de los 81 municipios que conforman el estado de Guerrero, se ubica en la zona centro-este del territorio y su cabecera es el pueblo de Ahuacuotzingo. Se encuentra aproximadamente a 60 km al este de Chilpancingo; su extensión territorial es de 388.4 km².

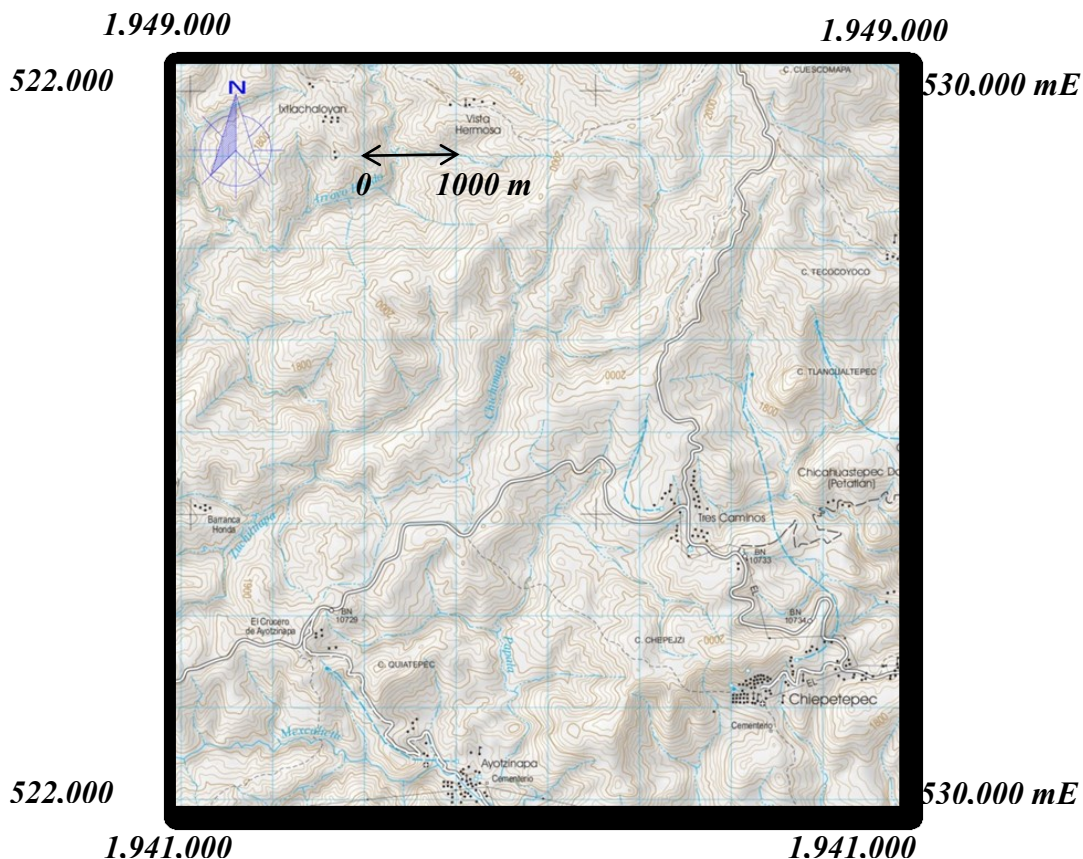


Figura 1.4. Ubicación de la zona de estudio al sureste de la carta topográfica de Ahuacuotzingo, con clave E-14D21.

Otra ruta de acceso hacia el área de estudio es por la autopista Del Sol, dirección D.F. - Acapulco, pasando la caseta de Paso Morelos, hacia el lado derecho se encuentra el retorno, se cruza hacia el otro lado, se sigue en dirección perpendicular a la autopista, hay una desviación hacia Atenango del Río (carretera Puebla 1), la cual llega a Olinalá, pasando por los poblados de Apanguito, Papalutla, Xixitla, Tecolapa, Buenavista de Zapata, Linderos del Sur, Ocotitlán, hasta llegar a Olinalá.

Otra vía de acceso, la cual en términos de tiempo es muy viable, es el libramiento que se inauguró en el 2011; antes de llegar a Chilpancingo de los Bravos, en el puente que desvía hacia la carretera Federal principal a Iguala - Zumpango del Río, en sentido contrario a esta carretera está el nuevo libramiento, que evita el tráfico de Chilpancingo, rodea la barranca Chinantla, lo cual permite tener una buena vista panorámica hacia el noreste del estado.

1.4. FISIOGRAFÍA

El área de estudio se encuentra ubicada en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur, en la subprovincia Cordillera Costera del Sur. El conjunto de sierras, se extiende fundamentalmente a lo largo de las costas michoacanas, guerrerenses y oaxaqueñas, desde la desembocadura del río Coahuayana (límite entre Michoacán y Colima) hasta el puerto de Pochutla, (Oaxaca).

La Sierra Madre del Sur se localiza tectónicamente en las inmediaciones de la zona de subducción de la Placa de Cocos, a cuyos desplazamientos durante el Cenozoico explican el origen y evolución de esta región. Debido a la variada litología que se presenta en estas sierras, se encuentran muchas y diferentes rocas Cretácicas y Cenozoicas, como calizas y una intercalación de calizas con lutitas del Cretácico Inferior, que se distribuyen al oeste de la subprovincia. En la figura 1.5 se muestra la zona de estudio que se encuentra en el noreste de la provincia fisiográfica de Sierras y Valles de Guerrero.

En la región de la subprovincia en el municipio de Ahuacuotzingo predomina el relieve accidentado, con alturas de hasta 2,500 metros sobre el nivel del mar.



Figura 1.5. Provincia fisiográfica de Sierras y Valles de Guerrero, se localizan en la parte central del estado. La zona de estudio se encuentra al noreste.

La zona de estudio se caracteriza por tener una orografía con alturas de 2,500 m, en las partes altas predominan los conglomerados seguido de una secuencia clástica de lutitas y areniscas, con horizontes de carbón que se ubica en una topografía que varía en alturas de 2,000 a 1,500 m.

Las pendientes son pronunciadas con valores que van de 15° a 75° de inclinación. En la figura 1.6 se ve como en la parte alta del cerro hay conglomerados y se muestran las pendientes de la secuencia clástica.

En las partes donde aflora el Complejo Acatlán las alturas van de 2,000 a 1,600 m, con pendientes más suaves del orden de 35° a 10°, y en la parte donde se presentan los intrusivos las alturas están en el orden de 2,000 a 1,600 m, con pendientes de 45° a 10°.



Figura 1.6. Panorámica de la zona de estudio, donde se muestra la parte alta del cerro un bloque de conglomerados y al fondo material ígneo. Esta zona se localiza en la parte noroeste del poblado de Ayotzinapa, Guerrero.

1.5. HIDROGRAFÍA

La zona de estudio pertenece a la región hidrológica Balsas y a La Cuenca Hidrológica río Tlapaneco. Comprende desde el nacimiento del río Tlapaneco, en las vertientes norte de la Sierra de Coicoyán, en el estado de Oaxaca, y de la Sierra de Malinaltepec en el estado de Guerrero, en el complejo orográfico, denominado Sierra Madre del Sur, hasta el poblado Ixcamilpa, Guerrero.

En la figura 1.7 se ve la Región Hidrológica Balsas en color azul, abarcando la parte norte del estado de Guerrero. (Diario Oficial de la Federación, Estudios Técnicos de Aguas Nacionales Superficiales de la Región Hidrológica número 18 Balsas).



Figura 1.7. Región hidrológica Balsas.

El patrón de drenaje es meándrico, aunque a nivel local es recto, tal como se observa en la figura 1.8, el arroyo Papala ubicado al noreste del poblado Ayotzinapa.



Figura 1.8. Arroyo Papala.

La Cuenca Hidrológica río Tlapaneco, es de tipo exorreico, ya que desembocan todos sus afluentes en el río Balsas-Mezcala.

La altitud máxima es de 2,800 msnm y la mínima es de 1,300 msnm. Las pendientes en esta región son abruptas con un drenaje con pocas curvas y meandros en su curso. La erosión no es tan intensa por la protección que dan los abundantes bosques de pino, considerando que la precipitación promedio anual es de 1,500 a 1,200 mm.

1.6. ANTECEDENTES

Se han realizado estudios en la zona de La Montaña de Guerrero de carácter de investigación, de exploración petrolera y minera, para evaluar y encontrar posibles acumulaciones de sustancias naturales para su posterior explotación. En los siguientes incisos se presentan el resumen de los estudios previos.

- a) La Estratigrafía de la región de Olinalá-Tecocoyunca; al noreste del estado de Guerrero, realizado por J. Corona Esquivel (1981), reconoce la presencia del Pérmico Superior, por hallazgos de amonitas, que se encontraron en una secuencia sedimentaria marina de 635 m de espesor, el autor propone el nombre de La Formación Los Arcos. Esta región constituye la primera localidad al sur de México, donde la relación entre el basamento metamórfico del Paleozoico Inferior y su cobertura sedimentaria del Paleozoico Superior es estratigráfica y no tectónica. La discordancia angular que separa a las rocas pérmicas de la secuencia Mesozoica, no fue deformada sino hasta el Cenozoico Temprano, manifestando una ausencia de deformación, en el Paleozoico Tardío en esta región de México, y atestigua una estabilidad cratónica de la región desde el Paleozoico Tardío hasta el Cenozoico Temprano.
- b) Los estudios de macrofauna y macroflora del Pérmico de la región de Olinalá realizados por Buitrón (1982), es un nuevo registro para esta formación con braquiópodos *paranorella imperiales* y una diversidad de plantas terrestres que pertenecen a Cicadofitas, Pteridospermas y Coníferas, así como restos de raras equisetales y plantas indeterminadas; estos fósiles se encuentran en rocas de ambientes fluviales. Este miembro deltaico de la formación Olinalá esta intercalado entre arcillas negras con *Gonianites* fechadas a partir de Wordiano Temprano-Medio y bioclastos o carbonatos del Guadalupiano. La edad de los fósiles descritos es por lo tanto probablemente Wordiano Tardío. Las localidades fosilíferas se han encontrado en el este-noreste de la ciudad de Olinalá hacia El Progreso y Xochimilco, en el anticlinorio La Carbonera, esta región está situada entre las coordenadas 17° 42' - 17° 54' Norte y 98°32' - 98°48' Oeste.

Desde finales del siglo XIX, muchos trabajos se dedicaron a la geología y la paleontología paleozoica de la zona noreste del estado de Guerrero; Aguilera (1896) estudió ampliamente la geología de la región.

Ordóñez (1904) menciona en su documento de Olinalá sobre "las rocas arcaicas de México". Estos autores propusieron el nombre de Formación Olinalá para los sedimentos marinos clásticos de Paleozoico Tardío.

- c) La Revisión y aportes a la estratigrafía de la Montaña de Guerrero de Flores de Dios y Buitrón (1982), integra los trabajos geológicos y paleontológicos, basados en estudios previos de la región como el de Hons (1933). En el cual se comprueba que en esta región afloran rocas metamórficas pre-misisipicas del complejo Acatlán, sobre las cuales descansa una de las columnas sedimentarias más complejas de nuestro territorio. En este artículo se reporta los descubrimientos sedimentarios del Paleozoico Tardío (Pensilvánico y Pérmico) que consisten en calizas y terrígenos, a los que se les propone formalmente con el nombre de la Formación Olinalá. La fauna colectada indica que probablemente tenga un alcance estratigráfico hasta el Triásico, en donde se encuentra el Conglomerado Cualac, constituido exclusivamente por fragmentos de cuarzo lechoso, que pasa transicionalmente a una secuencia de terrígenos finos (Grupo Tecocoyunca) en los que fue colectado un conjunto de flora fósil, por primera vez reportada en dos localidades dentro del estado de Guerrero. Sobreyaciendo a esta secuencia del Jurásico Medio, se recartografía un grupo de terrígenos del Cretácico Inferior que en trabajos recientes fueron excluidos y que se encuentran cubiertos por sedimentos de plataforma de calizas de banco del Albiano-Cenomaniano.
- d) Cantú-Chapa, 1998, en su trabajo "*Las transgresiones jurásicas en México*", documenta por medio de evidencias de ammonites del Jurásico Medio-Superior, la tendencia transgresiva del Océano Pacífico al Atlántico.
- e) Monografía geológico-minera del estado de Guerrero. Fritz J Werre Keeman. Gra Estrada Rodarte (1999), la cual nos da una visión muy amplia acerca de la geografía, geología y minería del estado. Encontramos la síntesis geológica de los terrenos Mixteco, Guerrero y Xolapa, así como la descripción de sus diferentes formaciones, también muestra la evolución tectónica y geológica de los Terrenos Tectonoestratigráficos; la geología del estado de Guerrero no es simple, ya que la entidad se encuentra dividida en diferentes terrenos con estratigrafías variadas, pertenecientes a cuencas de depósitos, unidades corticales y oceánicas de tamaño, litología, deformación y edad variable. Además Guerrero está situado en el borde sudoccidental de la placa Norteamericana, en la región de la fosa de Acapulco, con una gran dinámica de las placas tectónicas, en donde se han formado, durante su historia geológica, depósitos relacionados con arcos insulares y mares marginales, dando origen a varios tipos de depósitos vulcanosedimentarios y sedimentos marinos y continentales

MARCO ESTRATIGRÁFICO REGIONAL

CAPÍTULO 2

2.1. ASPECTOS GENERALES

La zona de estudio se encuentra en el Terreno Tectonoestratigráfico Mixteco, en el estado de Guerrero, cubriendo la mayor parte de la región de La Montaña; el basamento de este Terreno Tectonoestratigráfico está constituido por el Complejo Acatlán del Paleozoico Inferior, compuesto principalmente por filitas, cuarcitas y en menor medida por esquistos, gneises, granitoides e intrusiones de rocas máficas y ultramáficas. Cortando a una parte de la columna estratigráfica están los intrusivos de tipo granodiorítico y andesítico que tienen un alcance estratigráfico hasta el Mioceno. Sobre el Complejo Acatlán, discordantemente se depositaron rocas sedimentarias marinas del Paleozoico, (Carbonífero-Pérmico) que constituyen a la Formación Olinalá; sobre ésta se encuentran discordantemente rocas del tipo tobas líticas e ignimbritas de La Ignimbrita Las Lluvias, con posible edad Triásica y por el Conglomerado Cualac del Jurásico Inferior-Medio. Para el Triásico, no se poseen ningún registros de afloramientos sedimentarios, solo se tiene fechada La Ignimbrita Las Lluvias; que aflora en el arroyo de Los Arcos muy cerca del paraje Las Lluvias; del cual toma su nombre; esta formación se encuentra discordantemente sobre La Formación Olinalá y debajo del Conglomerado Cualac, podría deducirse que su edad es post-Pérmica Tardía y pre-Jurásica Media.

La supuesta edad Triásica, que se ha considerado para esta unidad sería congruente con el hecho que durante el Triásico Tardío-Jurásico Temprano tuvo lugar el desarrollo de vulcanismo en México. Para el Mesozoico (Jurásico y Cretácico) ocurrió la acumulación de las Formaciones del Grupo Tecocoyunca y el Conglomerado Cualac; la primera se relaciona con una transgresión de los mares (Corona-Esquivel, 1981, p. 23).

El Grupo Tecocoyunca fechado en el Mesozoico (Jurásico Medio) con base en sus amonitas (Erben 1956), y el Conglomerado Cualac, toma su nombre de la población principal. Se interpreta que debido al contacto gradual que tiene el Conglomerado Cualac con el Grupo Tecocoyunca, de probable edad Bajociana-Batoniana temprana del Jurásico Medio, la parte superior del Conglomerado Cualac puede corresponder con una edad de Aaleniano Tardío.

La edad de La Formación Balsas no ha sido precisada por la ausencia de fósiles, sin embargo; por su posición estratigráfica y por correlación con rocas semejantes en áreas vecinas, se le considera del Cenozoico Temprano.

El Cenozoico, caracterizado por rocas volcánicas, se encuentra discordante cubriendo al Complejo Acatlán del Paleozoico Inferior y al Grupo Tecocoyunca del Jurásico Medio. En la figura 2.1 se muestra la columna estratigráfica regional con las relaciones verticales entre cada una de las unidades.

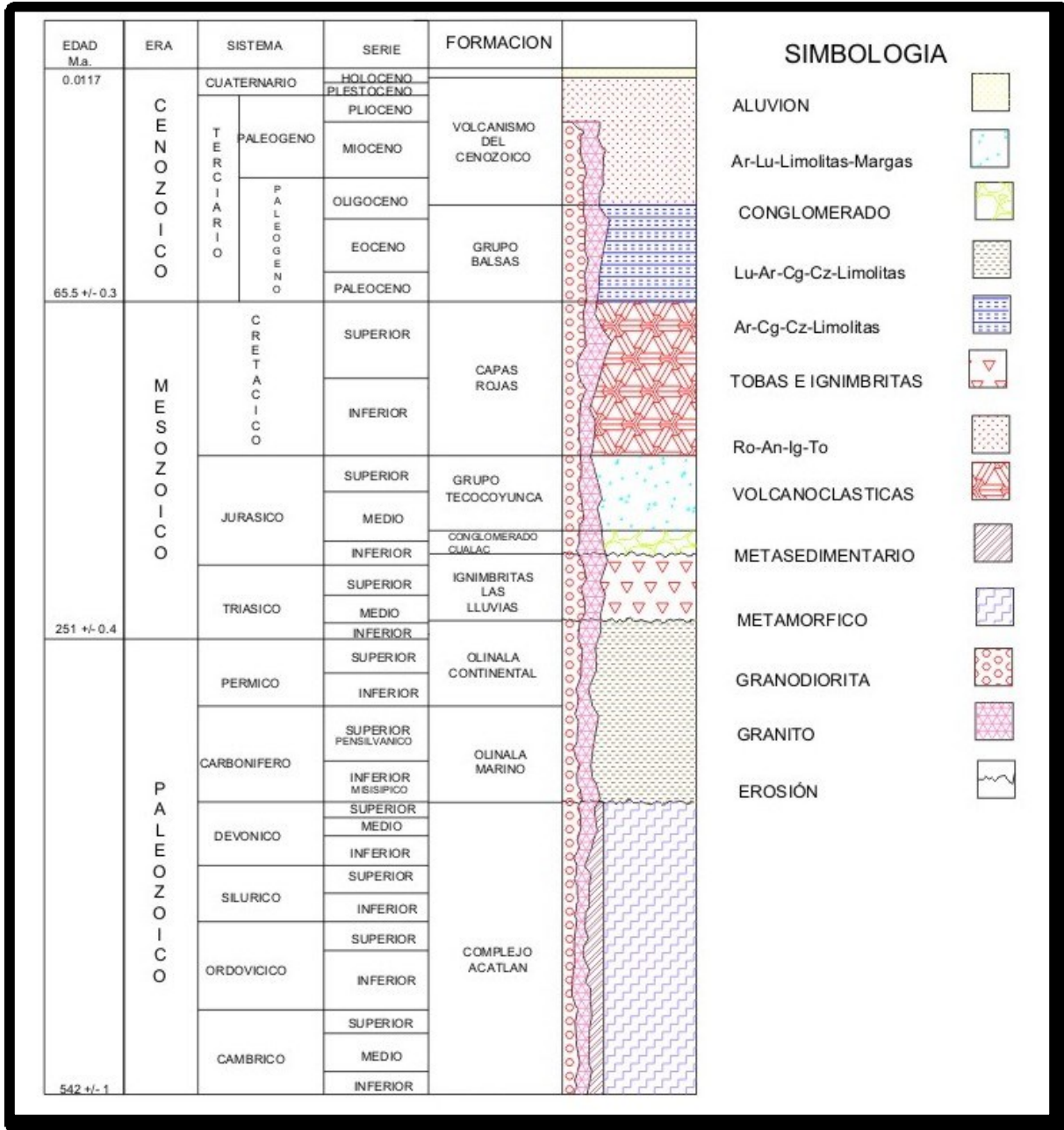


Figura 2.1. Columna estratigráfica regional (Modificada de Corona Esquivel, de la Carta Geológica Minera, Chilpancingo E14-8, Jiménez Rentería, Luis Antonio Flores de Dios y Blanca Estela Buitrón).

2.2. UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS REGIONALES

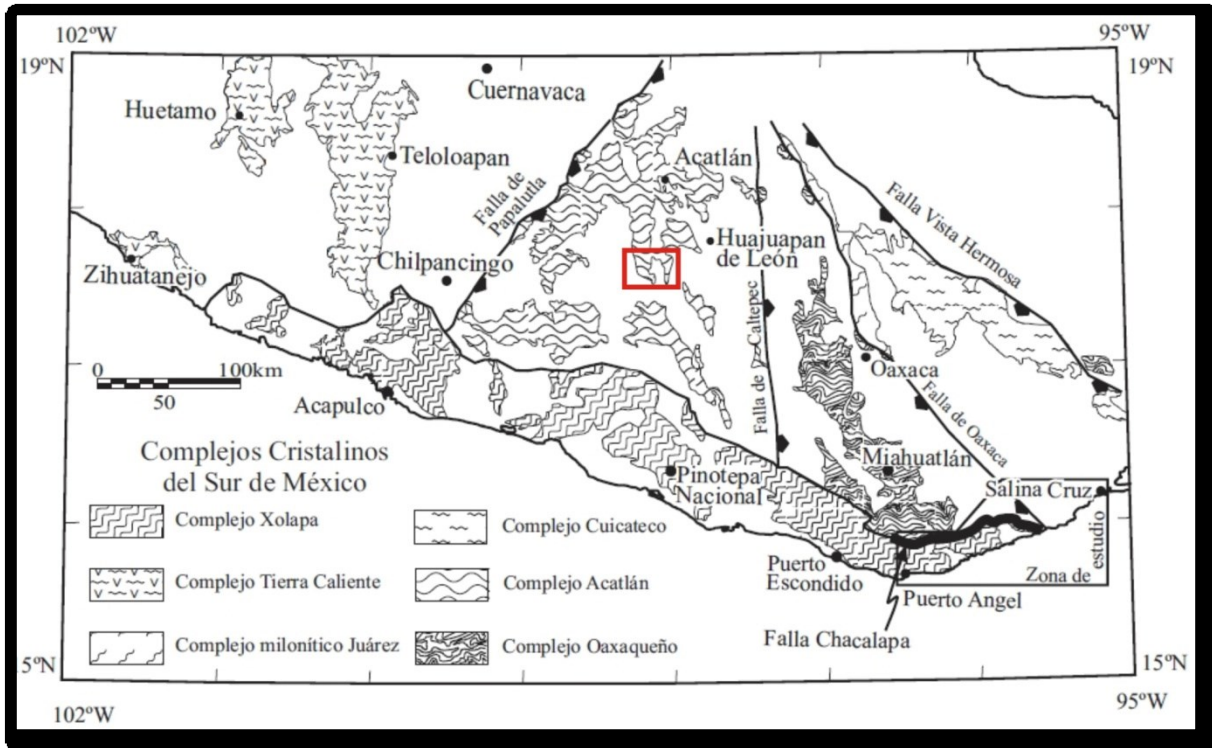
2.2.1. Complejo Acatlán.

a) Definición: El Complejo Acatlán es un conjunto de rocas metamórficas del Paleozoico, que han sido deformadas y metamorfoseadas con distintas intensidades; constituye las secuencias más antiguas del Terreno Mixteco y del área de estudio. En la figura 2.2 se muestra un afloramiento de esquistos del Complejo Acatlán.



Figura 2.2. Esquisto Pelítico de mica del Complejo Acatlán, aflorando en un arroyo al oeste del cerro Tecocoyoco, al noreste del poblado Tres Caminos.

b) Localidad Tipo: Son los afloramientos de rocas metamórficas, que se encuentran en la carretera federal 190 México-Oaxaca, iniciando en el entronque con la carretera de Tecomatlan en Puebla, llegando hasta Chila de las Flores y pasando por el poblado de Petlalcingo en Puebla. En la figura 2.3 se muestra la ubicación de la zona de estudio al sur de la localidad tipo del Complejo Acatlán.



Ubicación de la zona de estudio.

Figura 2.3. La zona de estudio se encuentra ubicada al sur de la localidad tipo (Puebla) del Complejo Acatlán (modificado de Sánchez-Zavala, 2005).

c) Descripción: Las rocas del Complejo Acatlán se reconocieron por primera vez a principios de siglo por Ordóñez (1906), quien las describe con el nombre de Formación Acatlán. Salas (1949), define a las mismas rocas como Esquistos de Acatlán, sin establecer ninguna división de formaciones. Fríes y Rincón (1965), proponen para las mismas rocas, el nombre formal de Formación Acatlán, debido a la íntima relación existente entre sus diferentes litologías. Rodríguez-Torres (1970) propone subir de manera informal el rango de formación a grupo y concluye que las rocas metamórficas del Complejo Acatlán puede dividirse en:

- Formación Esperanza.
- Formación Acatlán.
- Formación Salado.
- Formación Tecomate.

Posteriormente Ortega-Gutiérrez (1978), divide al Complejo Acatlán en 3 subgrupos:

- 1) Subgrupo Petlalcingo que incluye las formaciones Migmatita Magdalena, Esquistos Chazumba y Formación Cosoltepec.
- 2) Subgrupo Acatenco que incluye las Formaciones Xayacatlán, Roca Verde Inopilco, Granitoides Esperanza y Tecomate.
- 3) Rocas Graníticas Intrusivas que incluyen al Tronco de Totoltepec y los Diques San Miguel.

Para 1997 se propuso el reagrupamiento del Complejo Acatlán en tres Grupos: Petlalcingo (Migmatita Magdalena, Chazumba y Cosoltepec), Piaxtla (Xayacatlán y Granitoides Esperanza) y Tecomate (Granitos Teticic y Granitos Los Hornos). Talavera et al. (2005) realizan estudios de geocronología de U-Pb en algunas formaciones del Complejo Acatlán, los resultados obtenidos de este estudio, revelan que el Complejo Acatlán tiene rocas de zonas de Laurentia, así como de Gondwana. El Complejo Acatlán está compuesto por esquistos de cuarzo-feldespáticos de biotita o moscovita, gneisses cuarzo-feldespáticos, esquistos y anfibolitas; cuarzo de segregación y mármoles foliados y por meta-andesitas y meta-tobas dacíticas. El Complejo Acatlán ha sido fechado ampliamente, prácticamente hay consenso de que corresponde al Ordovícico-Devónico. El espesor del Complejo Acatlán se estima en 2,350 m. (Quezada-Muñeton, 1970; Guzmán 1950) aunque otros autores consideran espesores mayores a 3,000 m.

Se ha interpretado que el Complejo Acatlán formó parte de un océano Paleozoico, por lo que Ortega- Gutiérrez et al. (1999) propuso que formó parte del Océano Iapetus en el Cámbrico-Ordovícico, mientras Keppie y Ramos (1999) plantearon que formó parte del Océano Rheico durante el Ordovícico-Devónico. Talavera-Mendoza et al. (2005) y Vega-Granillo et al. (2007), ubican al Complejo Acatlán entre Laurentia y un arco en el Mar Bay Verte, en el Iapetus y en el Océano Rheico.

d) Distribución: Se extiende por más de 200 km, en la provincia morfotectónica de la Sierra Madre del Sur (Ortega Gutiérrez, 1981).

e) Relaciones Estratigráficas: De acuerdo con 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, 1978) por lo que se pudo considerar a estas dos secuencias correlativas entre sí.

En la zona de estudio, el Complejo Acatlán está formado por esquistos, filitas y meta areniscas, su contacto con las rocas sedimentarias es discordante, ya que no hay rasgos estructurales que limiten a estas dos litologías. En la figura 2.4 se muestra un afloramiento de esquisto, este se encuentra ubicado al suroeste del poblado Tres Caminos.

Por las similitudes que presentan la zona de estudio y la Formación Tecomate se pueden correlacionar.



Figura 2.4. En la esquina superior derecha se muestran las rocas metasedimentarias y en la parte central de la fotografía el esquisto del Complejo Acatlán.

f) Edad y Correlación: Las edades no han sido aún establecidas con exactitud, pues algunos autores opinan que son Paleozoicas, mientras que otros las asignan al Mesozoico, la más aceptada es del Paleozoico Temprano (Ortega-Gutiérrez, 1978). Se tiene una edad de 380(+/-) 6 m.a. al norte de Olinalá-Tecocoyunca, lo que sitúa al último metamorfismo importante del Complejo Acatlán de esta región en la parte temprana del Devónico (de Cserna et al., 1980, p. 14).

g) Origen: Este complejo se interpreta en términos de un ciclo Wilson del Paleozoico, relacionado con la apertura y cierre de un Océano pre-Atlántico, mejor conocido como Iapetus en el sistema orogénico Apalachiano-Caledoniano.

2.2.2. Formación Olinalá.

a) Definición: Se designa con este nombre a la secuencia de rocas de origen sedimentario marino y de litoral, que consiste de lutita, arenisca, limonita, conglomerado y caliza que aflora en la región de Olinalá Guerrero, descrita por Flores de Dios, A., Buitrón, B.E., 1982, como se muestra en las figuras 2.5 y 2.6.



Figura 2.5. Afloramiento de lutitas con fósiles ubicado en poblado de Olinalá, perteneciente a la formación Olinalá marino.



Figura 2.6. Afloramiento de caliza arrecifal tipo wackestone ubicado en el poblado de Olinalá, perteneciente a la formación Olinalá marino.

b) Localidad Tipo: La localidad tipo de esta formación se localiza a 2.4 km al este-sureste de Olinalá en la cañada de Los Arcos.

c) Descripción: En su base está constituido por un conglomerado poligenético formado de fragmentos de esquisto de mica, cuarzo blanco, cuarcita, esquisto verde de clorita, fragmentos de filita, incluidos en una matriz arenosa; continuando con areniscas conglomeráticas de color café a gris claro, las capas son de espesor mediano a grueso. La parte media está formada por una limolita de color gris a morado. Le sigue una limolita negra y lutitas gris oscuras con capas de areniscas finas ocasionales de espesor medio, con abundantes concreciones limolíticas de color gris oscuro en cuyo centro se encuentra pirita diseminada. Continuando con un conglomerado poligenético de capas gruesas con guijarros subangulosos y redondeados de gneiss, esquisto, pizarra negra, cuarzo blanco y cuarcita de color gris oscuro.

En la parte superior, está formado de areniscas de grano medio a grueso de espesor medio a delgado, continuando una limonita de color gris oscuro a negra con ligera foliación; contiene concreciones limolíticas negras, continua una caliza de color gris que por intemperismo pasa a gris claro, en bancos de hasta tres metros de espesor y en ocasiones en forma masiva; continuando hacia arriba, se tiene una secuencia de areniscas de color café claro con lutitas de color gris oscuro con intercalaciones de horizontes de concreciones calcáreas.

Finalmente, en la cima se tiene areniscas finas de color negro a gris oscuro, con estratificación delgada que incluyen fragmentos carbonosos y algunos horizontes de color café amarillento, con concreciones ferruginosas, hacia la cima pasa a lutitas negras carbonosas con concreciones.

d) Distribución: Aflora en el flanco noroeste y en una parte del flanco meridional de la gran estructura del sinclinal La Carbonera de dirección noreste-suroeste. Su parte inferior está bien expuesta en los arroyos que se localizan al noreste de Olinalá; la parte media de la formación aflora al este de Olinalá. Los mejores afloramientos están expuestos en la cañada de los Arcos. El espesor varia, siendo de 635 m la media.

e) Relaciones Estratigráficas: Sobreyace discordantemente a los esquistos del Complejo Acatlán y está cubierta discordantemente por tobas líficas e ignimbritas de la Formación Las Lluvias, de posible edad Triásica y por El Conglomerado Cualac del Jurásico Inferior-Medio.

f) Edad y Correlación: Se asigna una edad Pérmica a esta formación, por contener sus estratos más superiores ejemplares de *Stacheoceras*, que Boardman (1981) considera como indicativos del Pérmico Superior, mientras que sus estratos inferiores contienen amonitas que de manera preliminar fueron determinadas por Alencáster como *Agathiceras* con un alcance estratigráfico desde el Pensilvánico hasta el Pérmico Medio.

g) Ambiente de Formación: Marino de baja energía, de litoral y continentales de planicie deltaica, como se muestra en la figura 2.7.



Figura 2.7. Afloramiento de dolomita ubicado en poblado de Olinalá perteneciente a la Formación Olinalá marino.

2.2.3. Conglomerado Cualac.

a) Definición: Definido por Erben (1956) y quien le designó el nombre de Conglomerado Cualac.

b) Localidad Tipo: Cualac, Guerrero, México.

c) Descripción: Erben (1956) describe a esta formación indicando que está compuesta de conglomerados con matriz general cuarcítica dura, gris y a veces algo amarillo, que muestra una estratificación mediana hasta casi gruesa; este conglomerado está compuesto casi exclusivamente de guijarros de cuarzo blanco, aunque en menor proporción también presenta guijarros de mica y esquistos de gneises.

d) Distribución: Por su resistencia a la erosión, el conglomerado Cualac forma dentro del área estudiada las porciones más elevadas topográficamente y se distribuye a lo largo de las dos estructuras más notables del área, que son el sinclinal de la carbonera y el anticlinal del cerro de Cualac o Zitepetl.

En el estudio de Carrasco (1981) se designa con el nombre Conglomerado Cualac, a los conglomerados que afloran en el río Numi; aunque también se emplea para los cuerpos con litología y posición estratigráfica similar, que se encuentran aflorando en las proximidades fuera de esa zona de estudio. También se reportan afloramientos de esta unidad en el área de Tezoatlán-El Consuelo (Jiménez Rentería, 2002), y en el estado de Guerrero, en las regiones de Olinalá, Cualac y Huamuxtitlán (Corona Esquivel, 1981).

El Conglomerado es de tipo oligomítico, constituido principalmente por fragmentos de cuarzo blanco incluidos en una mesostasis de limo y mica de color oscuro. El conglomerado tiene una estratificación gruesa con capas de hasta 1.5 m; se aprecian estructuras primarias como estratificación y gradación de los granos. Hay alternancia de capas delgadas de limolitas y areniscas finas de color gris a oscuro. Petrográficamente la roca es un conglomerado de guijarros y matatenas. Según Erben (1956), su espesor varía entre 30 y 80 m, pero se han reportado en estudios recientes un espesor máximo de hasta 150 m. (Torres Duran et. al, 1992) y Guzmán (1959) proponen un espesor de 30 m hasta 500 m.

La posición estructural del conglomerado es casi horizontal, sus echados varían de 10° a 15 ° con echado hacia el noreste. El conglomerado presenta una zona afectado por fallas donde los estratos presentan una inclinación de hasta 45°. Las capas del conglomerado forman parte del flanco de un anticlinal cuyo rumbo es sensiblemente norte-sur.

La unidad se encuentra afectada por fallas, que se dislocan en varios sitios a la formación, se aprecian en su parte media y en sus contactos inferior y superior. En las figuras 2.8 y 2.9, se observa un conglomerado de cuarzo ubicado al sureste del poblado Cualac, en el noreste de la zona de estudio en la carta topográfica E-14D22 que tiene por nombre Tlapa de Comonfort, en este afloramiento se tomaron datos estructurales y muestra de mano para realizar un estudio petrográfico, cuyos resultados se tienen en el Capítulo 4.

f) Relaciones Estratigráficas: Erben (1956) incluyó al Conglomerado Cualac, junto con la Formación Rosario, en el Grupo Consuelo, estudios posteriores señalaron que el Conglomerado Cualac, junto con la Formación Rosario (Alencáster, 1963) pertenece a la base del Grupo Tecocoyunca (Flores y Buitrón, 1982).

El Conglomerado Cualac se presenta en discordancia angular sobre el Complejo Acatlán, y se ha reportado interestratificado con las rocas volcánicas de la Formación Las Lluvias, el Grupo Tecocoyunca está sobrepuesto al Conglomerado Cualac, en forma discordante con un marcado cambio litológico (Flores y Buitrón, 1982).



Figura 2.8. Conglomerado de fragmentos de cuarzo, ubicado al sureste de Cualac, Guerrero.



Figura 2.9. Toma de datos en conglomerado de fragmentos de cuarzo, ubicado al sureste de Cualac, Guerrero.

g) Edad y Correlación: La ausencia de fósiles impiden determinar una edad exacta al Conglomerado Cualac, aunque se interpreta que debido al contacto gradual con la formación Zorrillo-Taberna, con una probable edad Bajociana-Batoniana Temprana del Jurásico Medio, su parte superior, puede tener una edad de Aaleniano Tardío.

La correlación del Conglomerado Cualac con unidades de edad equivalente en la región centro meridional de México, se ve dificultada por la imprecisión que existe en la edad de esta formación. El principal criterio para correlacionar ha sido la posición estratigráfica y en segundo lugar la semejanza litológica.

En el suroeste de México, el Conglomerado Cualac se correlaciona con las siguientes unidades litoestratigráficas: Formación Yogana, del área de Nochixtlán, Oaxaca (Wilson y Clabaugh, 1970), Formación Tecomazuchil, área de Petlalcingo, Puebla (Pérez- Ibarguengoitia, 1965). El fechamiento más reciente es de Rentería y Gaxiola en 2002 asignan una edad del Jurásico Temprano (Pliesbachiano)-Jurásico Medio (Aaleniano) con base en su contenido palinológico.

El Conglomerado Cualac sobreyace discordantemente al Complejo Acatlán y su contacto inferior con la Formación Olinalá, es probablemente discordante, su contacto con la Formación Zorrillo es concordante y transicional subyace discordantemente a la caliza del Cretácico Inferior, es considerado como la base del Grupo Tecocoyunca por la relación estratigráfica con la Formación Zorrillo. (Flores y Buitrón, 1982).

h) Ambiente de Formación: 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. Jiménez Rentería (2004) menciona que se compone de flujos cuarcíticos con una textura caótica por lo que se trata de un ambiente fluvial con cauces entrelazados (anostomosados).

2.2.4. Grupo Tecocoyunca.

a) Definición: Parte del Conglomerado Cualac, pasando gradual y concordantemente a areniscas, limonitas, lutitas y margas. El primer reporte de estos terrígenos fue hecho por Burckhardt (1927) al estudiarlos en los alrededores de Tecocoyunca; años más tarde Jenny (1933) diferenció esta formación superior e inferior. Guzmán en 1950 distingue también dos formaciones denominándolas serie inferior y serie superior definiéndolas como Capas Tecocoyunca y las asigna al Jurásico Medio, después Erben (1956) lo elevó al rango de Grupo.

b) Localidad Tipo: Se encuentra en la Barranca de Tecocoyunca, a lo largo de la barranca de la Carbonera y sobre la terracería que comunica al poblado Coauilote con Tecocoyunca, también se observa en los alrededores de Saladillo y Cuateconcingo, Guerrero.

c) Descripción: Se encuentra constituido por una serie de formaciones continentales y marinas; en la parte inferior se encuentra constituido por una secuencia de origen continental, en la parte media se presenta una intercalación de rocas continentales con influencia marina y en la parte superior se compone de una secuencia terrígena marina.

Las litologías presentes en dicho Grupo son areniscas conglomeráticas en las que se aprecian ciclos de depósito en la que es común la estratificación cruzada, limonitas, lutitas, lutitas carbonosas, lutitas en alternancia con areniscas, margas, calizas y horizontes y lentes de carbón, en las limonitas se aprecian restos de plantas. (Alencaster 1963). Su espesor varía de 250 m a 510 m (Erben 1956)

Las unidades estratigráficas que constituyen al Grupo Tecocoyunca según Carrasco (1981) son la Formación Zorrillo-Taberna Indiferenciadas, Formación Simón, Formación Otatera y la Formación Yucuñuti. González Torres (1989) lo dividió en dos subgrupos; la unidad inferior comprende a las formaciones Zorrillo-Taberna indiferenciadas y Simón; mientras que la unidad superior está compuesta por las formaciones Otatera y Yucuñuti. Aunque Jiménez Rentería (2004) añade a la Formación Cuarcita Cualac a las formaciones anteriores dentro del Grupo Tecocoyunca. Tiene un espesor promedio de 2000 m (Ortega-González y Lambarria-Silva, 1991).

d) Distribución: Aflora en la barranca La Carbonera, sobre la brecha que comunica con Coauilote y Tecocoyunca, también se observa en los alrededores del poblado El Saladillo, Cuateconcingo, Mitlancingo, al sur de Tlapa con una orientación NW-SE, una franja de terrígenos con orientación N-S parte de San Miguel Ahuehuetitlán y termina al NW de Santana Rayón por debajo de las Calizas del Cretácico Inferior.

e) Relaciones Estratigráficas: Descansa concordantemente y transicionalmente sobre el Conglomerado Cualac, está cubierta por discordancia paralela por una serie de areniscas con intercalaciones de lentes conglomeráticos y calizas de posible edad Cretácica Temprana y por tobas andesítica del Cenozoico.

f) Edad y Correlación: Entre Tecocoyunca y Huamuxtitlán el Grupo Tecocoyunca fue fechado en el Jurásico Medio con base en la paleontología, a su posición estratigráfica y a la determinación de sus amonitas (Erben 1956).

g) Ambiente de Formación: Fluvial de baja energía a marino somero, registra una transgresión marina que ocurrió durante el Jurásico Medio y terminó en el Cretácico Temprano.

En la figura 2.10 se observa un afloramiento del Grupo Tecocoyunca, en la localidad de La Barranca. La formación a la que se puede relacionar la zona de estudio con el Grupo Tecocoyunca es la formación Zorrillo - Taberna, ya que presenta similitudes en la litología.



Figura 2.10. Afloramiento ubicado en la localidad de La Barranca, perteneciente a la Formación Tecocoyunca.

2.2.5. Ignimbrita las Lluvias.

a) Definición: Se designa con este nombre a las tobas e ignimbritas de composición ácida a intermedia.

b) Localidad Tipo: Su mejor afloramiento está en el Arroyo de los Arcos muy cerca del paraje Las Lluvias, del cual toma su nombre.

c) Descripción: Consiste de una roca porfídica de color crema, que por intemperismo pasa a amarillo crema, muestra una estratificación bien definida. Contiene también lentes y formas subredondeados de un material de composición silíceo color café, que en algunos horizontes dan una textura moteada a la Ignimbrita. Tales estructuras lenticulares varían en tamaño de 3 a 10 cm en su eje mayor, como se puede ver en la figura 2.11.



Figura 2.11. Afloramiento ubicado en los alrededores de Olinalá, perteneciente a la Ignimbrita Las Lluvias.

d) Distribución: Hacia el suroeste de la localidad sobresale en el terreno por un cambio brusco en la pendiente, pero en ocasiones está parcialmente cubierta por depósitos de talud derivados del conglomerado Cualac. El espesor de la Ignimbrita las lluvias varía a lo largo de la franja de afloramiento entre 50 y 80 m, (Consejo de Recursos Minerales y ERTC-UAG 1997) aunque tiene afloramientos en una faja de 80 a 100 m de anchura y por lo menos 9 km de longitud.

e) Relaciones Estratigráficas: La Ignimbrita Las Lluvias consiste de rocas volcánicas de composición riolítica que se encuentran estratigráficamente entre la Formación Olinalá y el Conglomerado Cualac (Corona-Esquivel 1983).

El contacto inferior de estas unidades es discordante, mientras que en su parte superior se encuentra interestratificada con el Conglomerado Cualac (Recursos Minerales y ERCT-UAG 1997; García-Díaz 1999). La formación carece de fósiles y no se ha datado isotópicamente, pero por su posición estratigráfica se presume una edad post-Pérmico y pre-Jurásica, probablemente Triásica. Se puede correlacionar con los esquistos Taxco del Jurásico Medio (Subterreno Teloloapan) y con la Formación Chapolapa del Jurásico Inferior (Terreno Mixteco) (Corona-Esquivel, 1985). Torres- Rodríguez et al., 1992, asignan edades de 147 y 165 m.a. para las rocas volcánicas de esta formación, lo que significa una edad del Jurásico Medio-Tardío. Descansa en discordancia sobre la formación Olinalá, Corona-Esquivel, (1985) y cubierta a su vez discordantemente por el Conglomerado Cualac, del Jurásico Inferior-Medio.

f) Edad y Correlación: Sobre yacen discordantes a la formación Olinalá y está cubierta a su vez, también con discordancia por el Conglomerado Cualac del Jurásico Inferior-Medio. La edad de esta unidad se encuentra ubicada en el Jurásico por la datación K-Ar de rocas de composición andesítica a riolítica que se obtuvieron de la región, pero de las cuales no se cuentan con su ubicación exacta (181, 176, 165, 147, y 143 m.a. realizadas por Martínez-Keem en 1986 y reportadas por García-Díaz 1999). En cualquier caso, por su posición estratigráfica se supone una edad posterior al Pérmico y anterior al Jurásico Tardío. García-Díaz (1999) deslinda la posibilidad de una edad Triásico y Corona-Esquivel (1983) la ubica desde el Jurásico Inferior al Jurásico Medio.

g) Ambiente de Formación: Vulcanismo continental, esta unidad se ha interpretado como evidencia de un evento volcánico ligado a la subducción en la margen pacífica de México que finalizó en el Jurásico Medio, probablemente por una reorganización dinámica durante la apertura del Golfo de México (García-Díaz 1999). Sin embargo, este evento volcánico también podría estar relacionado con la extensión que permitió el desplazamiento del bloque de Yucatán (Salinas-Prieto 1986). En efecto, el desplazamiento extensional y transcurrente del bloque de Yucatán estuvo activo durante el intervalo de 169-163 m.a. (Alaniz-Alvarez et al 1999).

2.2.6. Formación Balsas.

a) Definición: El Grupo Balsas fue descrito originalmente por Fries (1960) como una sucesión de depósitos continentales fluviales compuestos de conglomerados, areniscas, limolitas y calizas lacustres, así como los flujos piroclásticos y lavas. Posteriormente, de Cserna y Fries (1981) y Cserna (1982) aplicaron el nombre de Formación Balsas a las sucesiones equivalentes al Grupo Balsas distribuidos en el noroeste del estado de Guerrero, en el sur del Estado de México y el oeste de Michoacán. Sin embargo, en ninguno de los casos fue esta unidad formalmente definida.

b) Localidad Tipo: Los sedimentos de esta formación se distribuyen en el área de estudio, en pequeñas áreas que rellenan principalmente las partes topográficas más bajas y pueden observarse en los alrededores de Olinalá en el área de Chaucingo y en varias partes sobre el camino que comunica Olinalá con Cualac.

c) Descripción: Al este de Olinalá Guerrero, que fue donde se tienen los mejores afloramientos, está constituida por una alternancia de arenisca débilmente consolidada, color amarillo claro intercaladas con capas de otras areniscas de color morado en espesores de 0.60 a 1 m; ambos estratos incluyen abundantes guijarros sub-angulosos de cuarzo. En otros lugares, también cerca de Olinalá, se observan capas de areniscas de color rojizo, que alternan con gruesas capas de conglomerado de cuarzo mal clasificado.

d) Distribución: Las rocas de esta formación se distribuyen en diferentes áreas que rellenan principalmente las partes topográficamente más bajas.

e) Relaciones Estratigráficas: En general, el principal criterio utilizado para asignar a rocas del Grupo Balsas, en el centro de Guerrero y Morelos, ha sido su posición estratigráfica, ya que son todas las unidades conglomeráticas que recubren discordantemente capas marinas del Cretácico y Eoceno que las subyacen. Una amplia gama de rocas Cenozoicas que forman sucesiones sedimentarias continentales extendido desde el oeste del estado de Michoacán, al oeste del estado de Guerrero, han sido descritas como parte del Grupo Balsas (Fries, 1960; 1966; Cserna de y Fries, 1981, De Cserna, 1982).

f) Edad y Correlación: Su edad no ha sido precisada por la ausencia de fósiles, sin embargo, por su posición estratigráfica y por correlación con rocas semejantes en áreas vecinas, se le considera del Cenozoico Temprano. La formación Balsas se encuentra en capas ligeramente inclinadas, que cubren con discordancia angular al Complejo Acatlán, a las rocas sedimentarias del Paleozoico.

g) Ambiente de Formación: Depósitos de ambiente continental fluvial.

2.2.7. Rocas Volcánicas Cenozoicas.

a) Definición: Conjunto de rocas ígneas de tipo andesítica, ignimbritas, riolitas y tobas producto de eventos volcánicos durante el Cenozoico.

b) Localidad Tipo: Estas rocas volcánicas se pueden observar sobre el camino de Cualac a Teacalco, en el área de Zotolo y en el camino a Chaucingo.

c) Descripción: Las rocas volcánicas Cenozoicas incluyen a las tobas de composición andesítica, de color rojizo que se presentan estratificadas y que contienen abundantes vetas de yeso. También se incluyen a las tobas ignimbriticas de composición riolítica de color blancuzco con tintes rojizos por oxidación. Se consideran también como pertenecientes a este grupo a las andesitas y dacitas que son las causantes de la mineralización de sulfuros principalmente en la región de Tlapa de Comonfort y otras zonas mineras. En las figuras 2.12 y 2.13 se muestra una riolita que aflora al noreste de Cualac, en la base de esta secuencia se encuentran material rojo (toba) con vetas de yeso.

d) Distribución: Sobre el camino de Cualac a la cañada de Huamuxtítlán.

e) Relaciones Estratigráficas: El espesor de la serie volcánica del Cenozoico es muy variable desde unos cuantos metros hasta más de 200 m, la que se encuentra discordantemente cubriendo el complejo Acatlán del Paleozoico Inferior y al Grupo Tecocoyunca al Jurásico Medio y en general sobreyacen discordantemente a toda la columna estratigráfica sedimentaria de la montaña.

f) Edad y Correlación: Todas las rocas volcánicas son del Cenozoico Medio y Superior.

h) Ambiente de Formación: Volcanismo continental, en un límite convergente de placas.



Figura 2.12. Contacto entre material rojo (toba del Cenozoico) parte superior y metamórfico (Complejo Acatlán del Paleozoico) parte inferior, ubicado al oeste del poblado de Cualac Guerrero.

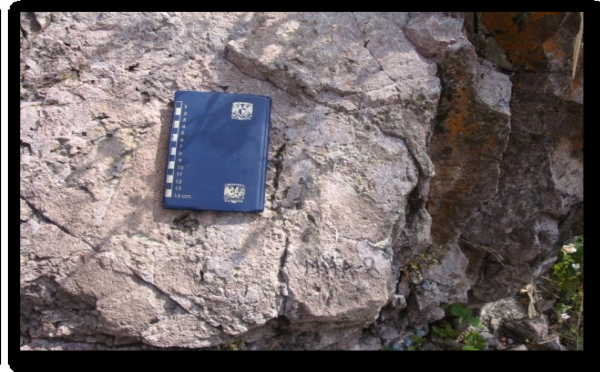


Figura 2.13. Riolita ubicada al noreste del pueblo de Cualac Guerrero, se correlaciona con el volcanismo Cenozoico del área de estudio.

CARTOGRAFÍA Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL

CAPÍTULO 3

3.1. ANTECEDENTES

La metodología empleada para cartografiar la zona, fue basada en las cartas topográficas E-14D21 y E-14D22 escala 1:50,000 del INEGI y en imágenes satelitales de Google Earth, dando así un panorama más amplio de la zona de estudio.

En la región de La Montaña de Guerrero se encuentra el Terreno Mixteco (Campa 1982), el cual está compuesto por un basamento de rocas del Complejo Acatlán y una cubierta sedimentaria dividida en dos partes; una Paleozoica Superior (Formación Olinalá) y otra Jurásico Medio-Inferior (Conglomerado Cualac y Grupo Tecocoyunca). A esta zona lo cubre un terreno superpuesto de edad Cretácico, conformado por capas, que pasan transicionalmente a calizas, sobre las que descansa una secuencia turbidítica. El Terreno Mixteco se distingue por presentar varias fases de deformación que involucra fracturamiento, plegamiento, fallamiento y metamorfismo (Malone et al., 2002; Monroy et al., 1984; Ortega et al., 1997; Ortega-Gutiérrez, 1975, 1979, 1981; Powell et al., 1998; Sedlock et al., 1993; Yáñez et al., 1991; Weber et al., 1992, 1997, Ramos-Arias et al., 2008, Vega-Granillo et al., 2007).

La primera fase de formación está relacionada con la Orogenia Acatecana del Ordovícico Tardío - Silúrico Temprano y la segunda fase corresponde con la Orogenia Ouachita (Pérmico Temprano).

Para el Mesozoico se tiene una fase de deformación contractiva, que formo pliegues y cabalgaduras con una convergencia hacia el este, que ocurrió hacia finales del Maastrichtiano, por la edad y por el tipo de deformación se ha asociado a esta deformación con la orogenia Laramide.

Las estructuras geológicas mayores que existen en la zona, es el sinclinal de La Carbonera con dirección NE-SW y con un buzamiento ligeramente hacia el noreste, la cual se encuentra ubicada al noreste de Olinalá; otra estructura notable es el anticlinal del Cerro de Cualac o Zitepetl, tiene una posición estructural casi horizontal y su eje está orientado en dirección NE-SW, sus echados varían de 10° a 15° con un buzamiento hacia el noreste, las fallas normales del área de Olinalá se relacionan con fosas tectónicas, y el sistema menor de fracturas está relacionada a las charnelas de las estructuras plegadas. Otro rasgo estructural se tiene en La Ignimbrita Las Lluvias, cuyas capas inclinadas tienen una orientación NE-SW.

En la figura 3.1. Se muestra una sección en la cual está representado el Grupo Tecocoyunca en la parte superior y como un basamento al Complejo Acatlán; en la parte inferior de la figura se observa un mapa donde se ve el amalgamamiento y las principales fallas que ocurrieron en el Jurásico Medio.

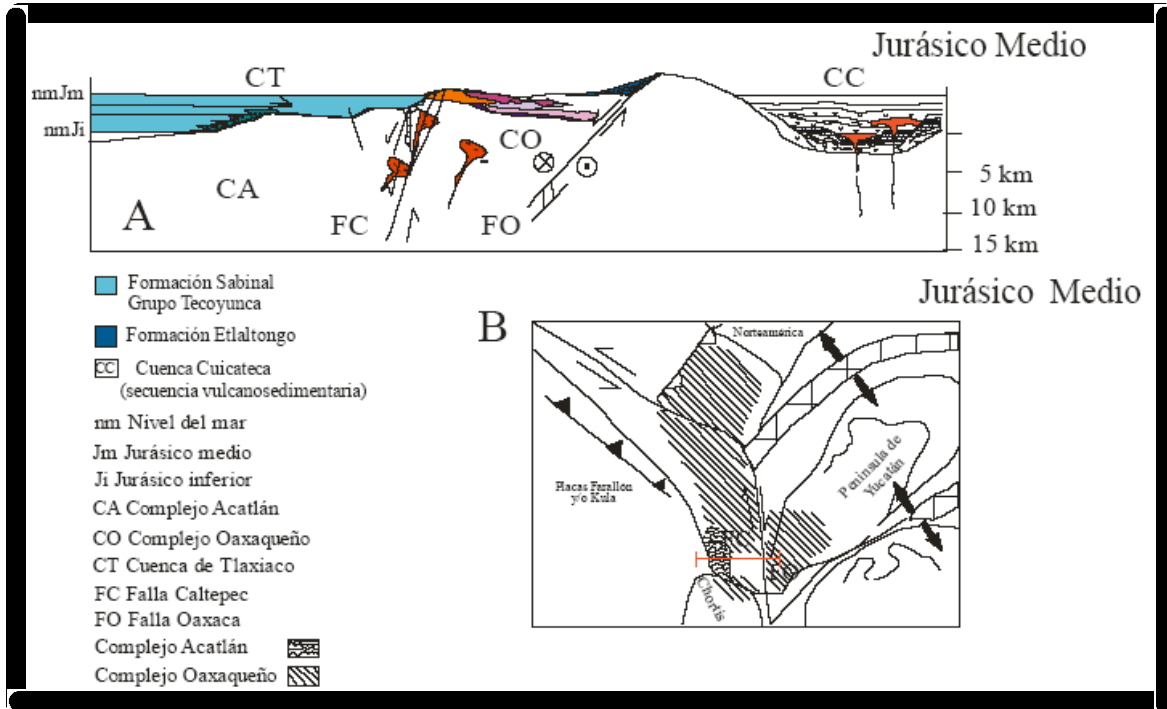


Figura 3.1. Representación del Jurásico en México.
 A. Secuencias estratigráficas del Jurásico Medio que cubren a los Complejos Acatlán y Oaxaqueño en el sur de México.
 B. Reconstrucción paleogeográfica modificada de Centeno-García y Keppie (1999).

3.2. COMPLEJO METAMÓRFICO ACATLÁN

El Complejo Acatlán es el basamento de la zona, en donde se midió la foliación en las rocas; los lugares donde se tienen estas zonas de rocas metamórficas, se encuentran en el arroyo Chichimantla al oeste del cerro Tecocoyunca; presentan una foliación con un rumbo al NE 28° y una inclinación de 31° al SE y en los alrededores del poblado de Cuescomapa también se puede observar este Complejo, la foliación es con rumbo de NW 85° y una inclinación de 72° al NE (Figura 3.2.). El Complejo Acatlán aflora en las partes de menor elevación de la zona y en la zona norte del mapa geológico, como se puede ver en la figura 3.3.

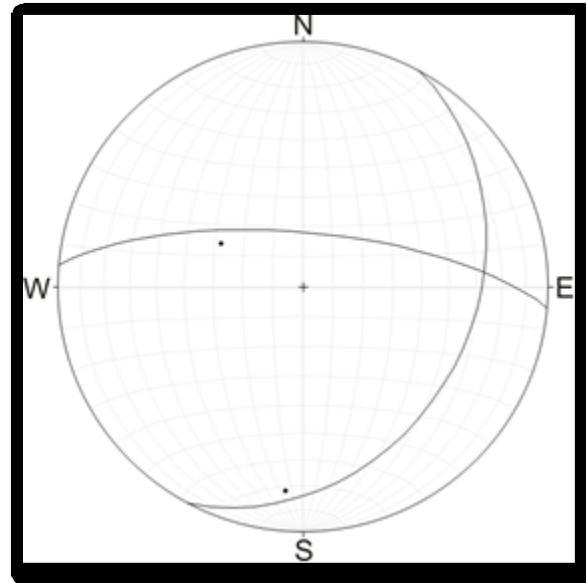


Figura 3.2. Planos de foliación con rumbos de NE a NW y su inclinación es de 31° y 72° .



Figura 3.3. Complejo metamórfico (esquisto) con foliación de rumbo de NE 28° con 31° de inclinación se encuentra en contacto con la secuencia clástica (areniscas y lutitas) con una inclinación sub-vertical, aflorando en un drenaje al noreste del poblado Tres Caminos.

También se tienen rocas meta sedimentarias, en las que es posible distinguir los rasgos originales, en este caso de areniscas y lutitas; es metamorfismo de contacto que se formó por los intrusivos que se encuentran en el lugar; la foliación presenta una orientación de SW-NE 56° y con una inclinación de 33° al NW y de 46° al SE como se observa en la figura 3.4.

El metamorfismo que aconteció en el lugar fue de distintas intensidad, conservando algunas características de la roca original como se puede ver en la figura 3.5.

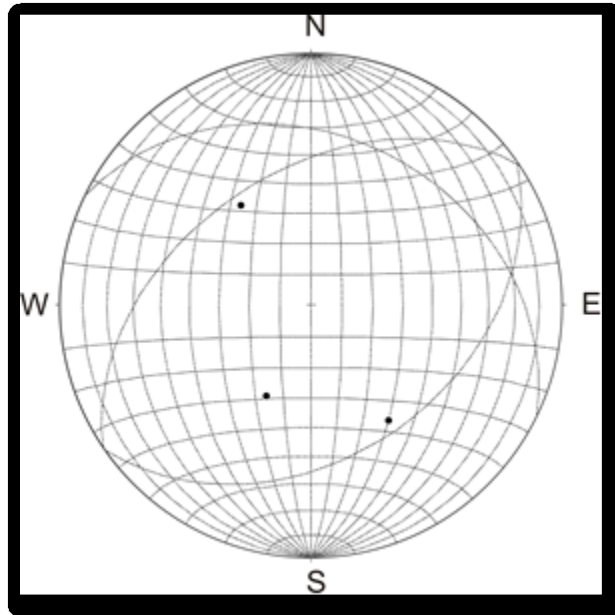


Figura 3.4. Planos de foliación de la secuencia clásica, provocado por metamorfismo.



Figura 3.5. Estratificación de meta areniscas de grano fino, en la que se pueden distinguir sus rasgos originales, este afloramiento se ubica al oeste del poblado Tres Caminos.

3.3. GRUPO TECOCOYUNCA

La secuencia clástica está conformada por estratificación de lutitas intercaladas con areniscas, con presencia de lentes de carbón inter estratificadas con las lutitas; esta secuencia aflora en la parte central de la zona de estudio, donde se midió la columna estratigráfica local, en la figura 3.6. se puede ver la estratificación de las areniscas y las lutitas intercaladas, este afloramiento se encuentra al suroeste del poblado Tres Caminos.



Figura 3.6. Estratificación de rocas sedimentarias de grano medio (arenisca) y fino (lutita con horizontes de carbón), ubicada en las márgenes del río Papala, en las proximidades de Tres Caminos.

En la figura 3.7. Se muestra la dirección de los planos de estratificación de la secuencia clástica, de grano medio a fino pertenecientes al Grupo Tecocoyunca.

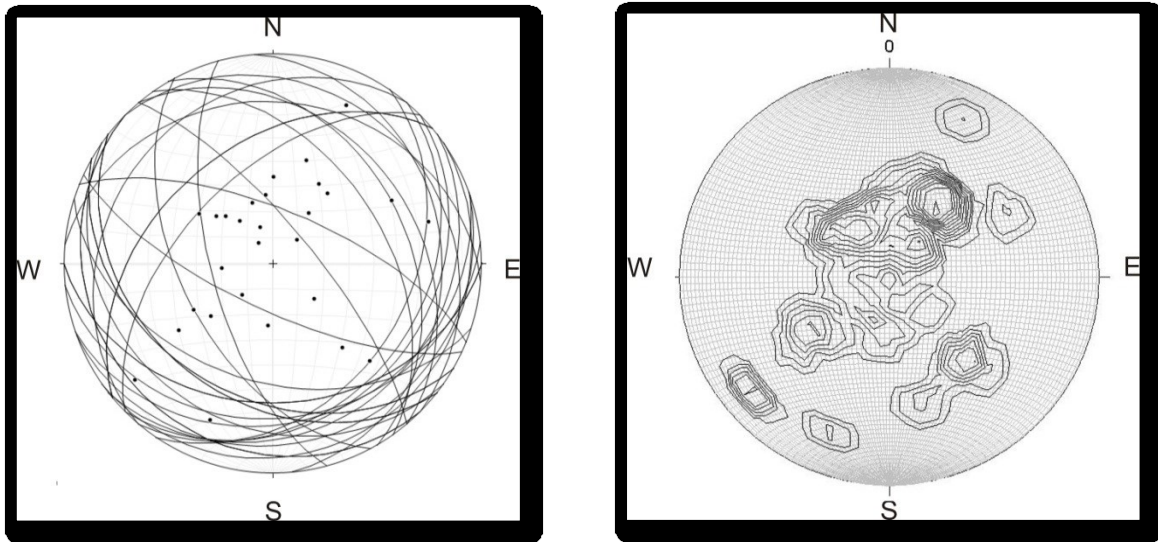


Figura 3.7. Proyección de los planos de estratificación con sus respectivos polos a la izquierda y la densidad de los polos a la derecha.

La tendencia principal se dividió en tres zonas, la primera con una orientación de NE-SW con inclinaciones hacia el SE, la segunda orientación es hacia el SW-NE con inclinaciones hacia el NW y la tercera tendencia es de orientación NW-SE con inclinaciones hacia el NE. Las inclinaciones varían entre 10° a 75° y en algunas partes tiene una inclinación sub vertical. En la figura 3.8. se muestra el contacto discordante del Complejo Acatlán y del Grupo Tecocoyunca.



Figura 3.8. Estratificación de rocas sedimentarias del Grupo Tecocoyunca en contacto con las rocas metamórficas del Complejo Acatlán, ubicada en las márgenes del río Papala.

En algunas zonas se formaron vetas de cuarzo en areniscas. En la figura 3.9 se graficaron los planos de estratificación de las rocas silicificadas con una tendencia al noroeste; en la figura 3.10 se observa vetas de cuarzo en un afloramiento de arenisca cerca del poblado de Cuescomapa.

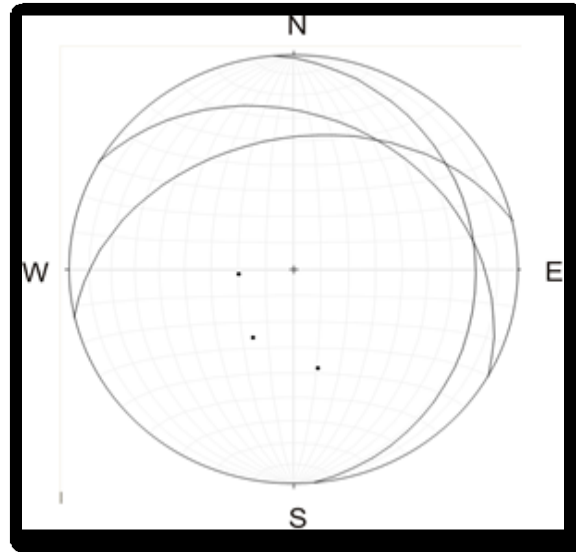


Figura 3.9. Planos de estratificación con sus polos. Su inclinación varía de 39° a 30° , con un rumbo preferencial hacia el NW.



Figura 3.10. Estratificación en areniscas silicificadas con vetas de cuarzo, ubicada el NE de Cuescomapan con rumbo de SW 77° y un echado de 39° al NW, las vetas son paralelas a la estratificación.

3.4. CONGLOMERADOS

Los conglomerados se encuentran intercalados con la secuencia clástica arenosa estos pertenecen al Grupo Tecocoyunca y en las partes altas los conglomerados se presentan en forma masiva probablemente pertenecientes al Conglomerado Cualac aunque más intemperizados, como se muestra en la figura 3.11 se presentan en forma masiva coronando los cerros; así mismo las secuencias, están constituidas por clastos de cuarzo blanco, con tamaños de 2 cm a 0.5 cm, su forma es subredondeados a subangulosos se encuentran cementados con sílice. Los datos obtenidos muestran un rumbo preferencial al SW con una inclinación de 76° a 16° . El Conglomerado cerca del poblado Cualac ubicada al NW de la carta topográfica Tlapa de Comonfort, tiene un rumbo de 75° al SW y una inclinación de 53° al NW.



Figura 3.11. Conglomerado con rumbo de 20° al NE y echado de 16° al SE, ubicado al NW de Ayotzinapa, Guerrero.

En las figuras 3.12 se muestran los planos de estratificación con sus polos y la densidad de polos, de los conglomerados del Grupo Tecocoyunca y del Conglomerado Cualac; en la figura 3.13 se muestra el Conglomerado Cualac, el cual tiene una orientación similar a las de los conglomerados encontrados en la zona; la inclinación del Conglomerado Cualac es de 10° a 15° (Torres Duran et. al, 1992) y Guzmán (1959) y de los conglomerados de la zona pertenecientes al Grupo Tecocoyunca varía de 16° a 35° el conglomerado medido al este del poblado de Cualac presenta un rumbo de 75° al SW y un echado de 53° al NW.

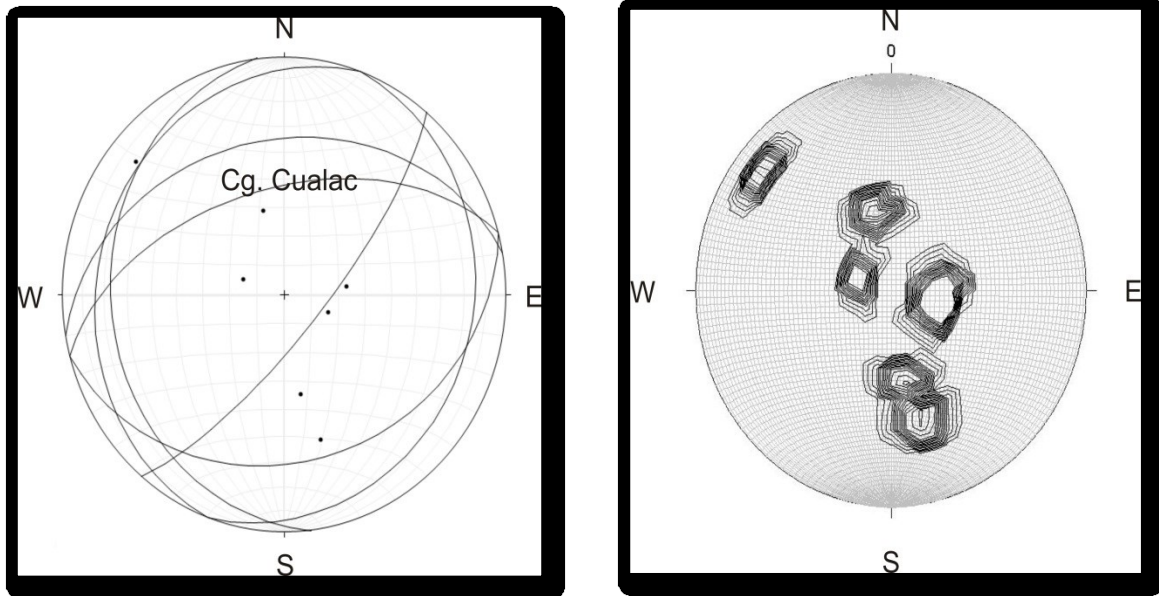


Figura 3.12. Planos de estratificación con polos a la izquierda y concentración de polos a la derecha.

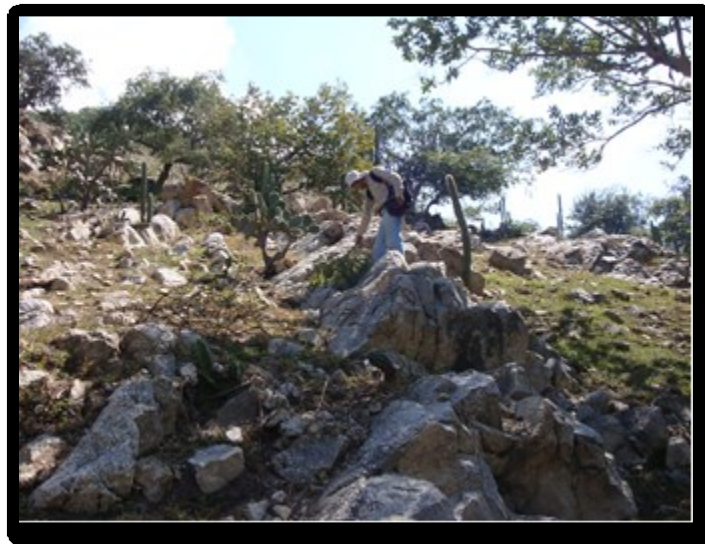


Figura 3.13. Conglomerado con un rumbo de 75° al SW y un echado de 53° al NW, ubicado al este del poblado de Cualac.

3.5. ROCAS ÍGNEAS

Las rocas ígneas que se encontraron en la zona de estudio intrusionan a la secuencia sedimentaria, aunque en la parte sur de la zona cerca de los poblados de Chiepetepec y Ayotzinapa en donde se encuentran afloramientos riolíticos y andesíticos de forma masiva. Estas secuencias extrusivas no tienen un rumbo preferencial. La composición mineralogía de las rocas ígneas es principalmente de cuarzo, feldespato y mica; la textura es fanerítica de grano medio fino.



Figura 3.14. Intrusivo riolítico en contacto con roca sedimentaria que sufrió un metamorfismo de contacto; la imagen se muestra el contacto del intrusivo con la secuencia clástica, este afloramiento se encuentra al SW del poblado Tres Caminos.

3.6. ZONAS ESTRUCTURALES

La zona de estudio se puede dividir en dos partes, la zona norte y la zona sur, esto para su mejor comprensión.

3.6.1. Zona Norte.

La zona norte abarca del poblado Cuescomapan al poblado Tres Caminos, en ella se encontraron cuatro fallas, tres inversas y una lateral derecha.

En la figura 3.15 se muestra los planos de fallas y su inclinación con sus respectivos polos y el estereograma de la densidad de polos de los planos de falla, en estos estereogramas se graficó una falla con desplazamiento lateral derecho, con un movimiento de transición por lo que tiene un componente inversa.

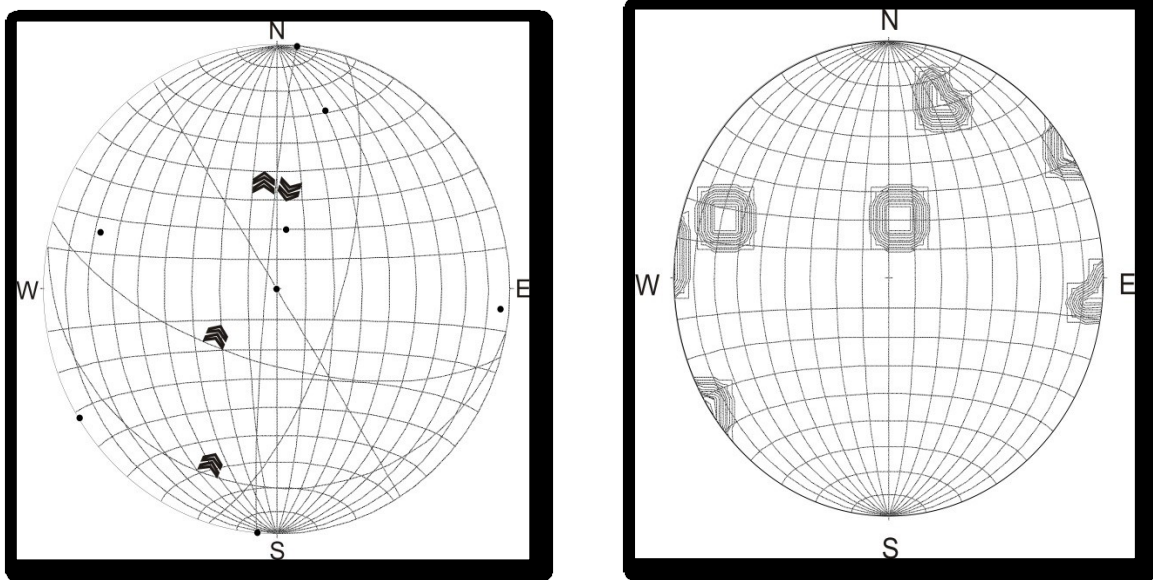


Figura 3.15. Proyección estereográfica de las fallas de la zona norte.

La falla lateral derecha con una dirección de 05° al SW, con una inclinación de 86° al NW que se muestra en la figura 3.16 está ubicada en el oeste del cerro Cuatepec, esta falla sigue la dirección del río al oeste del cerro Cuatepec.



Figura 3.16. Falla lateral derecha con estrías horizontales en arenisca, ubicada al oeste del cerro Cuatepec.

En la figura 3.17 se muestra la falla inversa con una dirección NW 32° y con una inclinación de 90° al NE ubicada en el sur del poblado Cuescomapan.



Figura 3.17. Falla inversa en un conglomerado, ubicada en el cerro Cuescomapa.

En la figura 3.18 se muestra un pliegue ubicado al norte de Tres Caminos, este pliegue tiene un ángulo entre sus flancos de 125° y la línea de charnela es de 0° al NE 60° y es un pliegue suave (según el ángulo interflacos 120° a 180°) y es horizontal (según la línea de charnela).

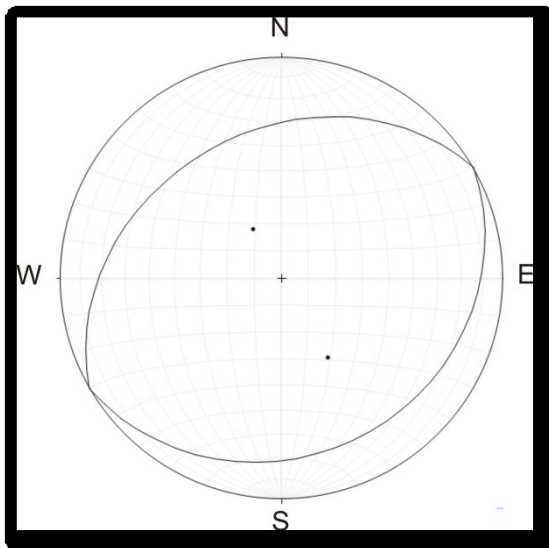


Figura 3.18. Flancos: 240°/34° y 60°/21° de un pliegue en lutitas, ubicado al norte de Tres Caminos.

En la figura 3.19 se muestran una serie de pliegues, ubicado al norte de Tres Caminos, estos pliegues tienen un ángulo interflanco de 114° y la línea de charnela es de 29° al NE 20° son un pliegues abiertos y reclinados, presentan silicificación y están afectando a la unidad clástica.

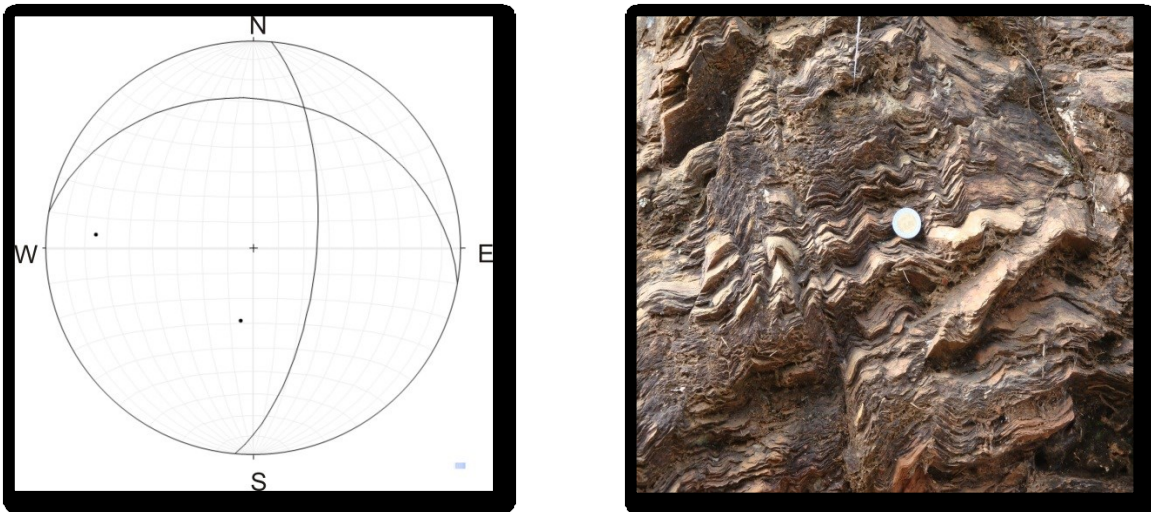


Figura 3.19. Flancos: $280^\circ/29^\circ$ y $05^\circ/65^\circ$ de micropliegues formados en una roca metamórfica, ubicada al norte de Tres Caminos.

3.6.2. Zona Sur.

En la zona sur que abarca del poblado Tres Caminos hasta los poblados Ayotzinapa y Chiepetepec, se tienen varias fallas las que están graficadas en la figura 3.20 en donde se muestran los planos de fallas y su inclinación con sus respectivos polos y el estereograma de la densidad de polos de los planos de falla; en estos estereogramas destacan las fallas de desplazamiento lateral derecho con un movimiento de forma normal hacia el SE.

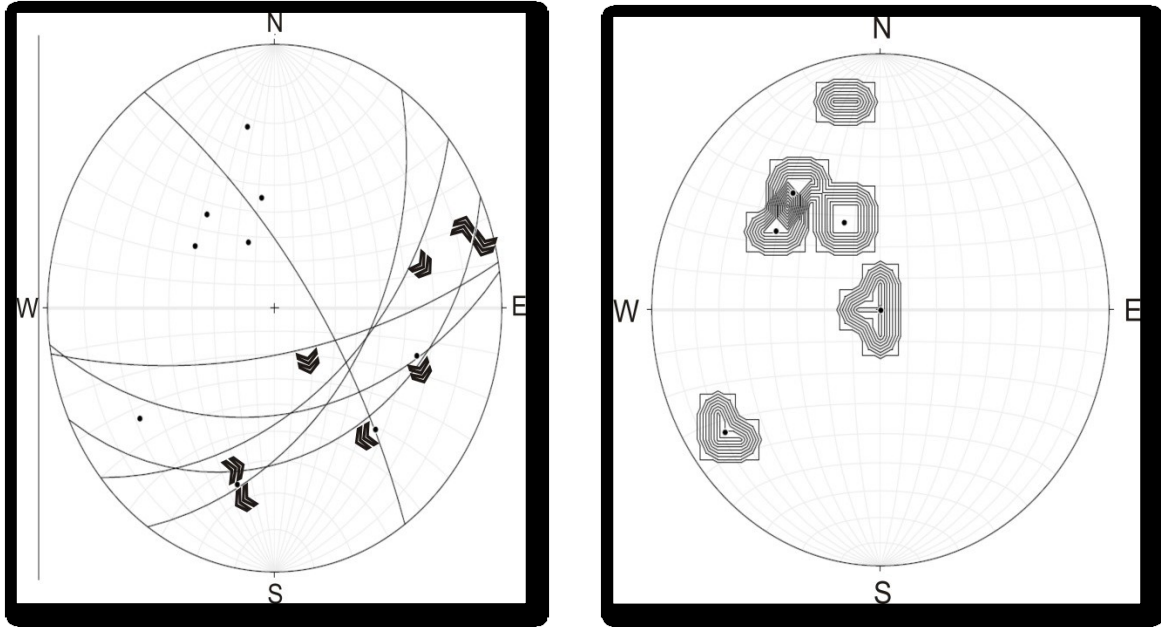


Figura 3.20. Proyección estereográfica de las fallas de la zona sur.

En la figura 3.21 se muestra la falla lateral derecha con una dirección de 34° al NE, con una inclinación de 46° al SE y un pitch de 30° , ubicada en el arroyo Papala, al SW de Tres Caminos, esta falla se encuentra en un conglomerado de cuarzo.



Figura 3.21. Falla lateral derecha, en un conglomerado, ubicado sobre el río Papala al SW de Tres Caminos.

3.7. CONTACTO ENTRE EL CONGLOMERADO CUALAC Y EL GRUPO TECOCOYUNCA.

Se localizó un afloramiento de un anticlinal formado por un conglomerado de cuarzo con clastos subredondeado a subangulosos de 0.5 cm a 15 cm con presencia de arenas entre la estratificación, la estratificación es de 50 cm a 2 m con dirección NE 70° con 27° al SE, este conglomerado pertenece al Conglomerado Cualac, sobre este conglomerado se encuentra una secuencia clástica de lutitas y areniscas con rellenos de canal pertenecientes al Grupo Tecocoyunca con dirección de NE 70° con 27° al SE, las lutitas presentan fósiles de helechos encontrados por la Doctora Patricia Velasco, en la figura 3.22 se observa el afloramiento del anticlinal ubicado en las coordenadas UTM 14Q X= 516,837, Y= 1,980,015 y Z= 1637 msm, al noroeste de la zona de estudio.

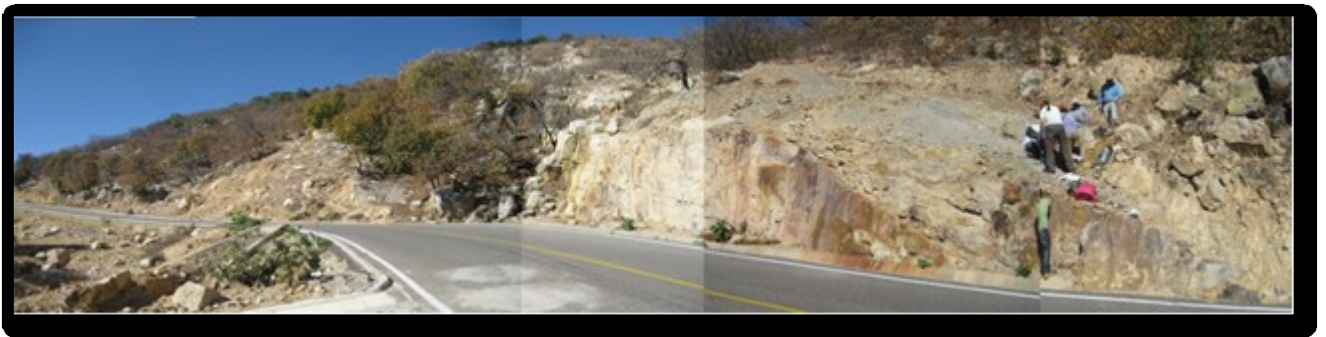


Figura 3.22. Anticlinal donde se muestra el contacto del Conglomerado Cualac (parte inferior) y el Grupo Tecocoyunca (parte superior).

En el flanco SE del anticlinal se recolectaron los datos estructurales y fósiles de helechos, como se puede ver en la figura 3.23.



Figura 3.23. Flanco con dirección SW 70° y con inclinación de 27° al NW.

Se encontró una falla de desplazamiento lateral derecha con dirección NE 70° y se inclina al SE 27°, la falla se encuentra en la parte frontal del flanco SE del anticlinal, en la figura 3.24 se observan las estrías de la falla sobre el Conglomerado Cualac.



Figura 3.24. Estrías de falla lateral derecha, con dirección NW 24° con 74° de inclinación, ubicada en la parte frontal del anticlinal sobre el Conglomerado Cualac.

La columna estratigráfica se encuentra afectada por fallas de desplazamiento laterales y por plegamientos formando anticlinales y sinclinales, en la figura 3.25 se observa el flanco de un anticlinal donde en la parte superior aflora el Grupo Tecocoyunca y en la parte inferior de forma discordante se encuentra el Complejo Acatlán, esta localidad es nombrada Tres Camino, ubicada al noroeste del poblado Tres caminos.

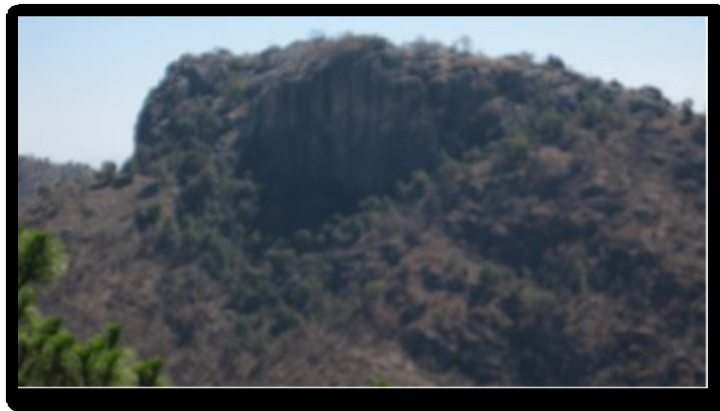


Figura 3.25. Localidad Tres Caminos, afectada por anticlinales y sinclinales de la orogenia Laramide.

La localidad de La Carretera se encuentra afectada por una falla lateral derecha con una orientación E-W y una inclinación de 87° , en la figura 3.26 se muestra la localidad de La Carretera, afectada por la falla lateral derecha.



Figura 3.26. Localidad La Carretera, afectada por una falla lateral derecha.

La localidad de La Barranca es afectada por plegamientos con orientación de SW 25° y una inclinación de 23° al NW aguas abajo y SE 17° con una inclinación de 25° al SW aguas arriba, en la figura 3.27 se muestra el flanco aguas arriba del pliegue.



Figura 3.27. Flanco aguas arriba de la localidad La Barranca.

3.8. MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

Los caminamientos fueron elaborados con el fin de abarcar la mayor extensión de terreno en zonas libre de vegetación, como son los ríos, cortes de carretera y zonas de fallas.

Los criterios para elaborar el mapa geológico de la zona de estudio son:

1. La zona de alrededor donde se midió la columna estratigráfica.
2. Los lugares donde se tomaron la mayor cantidad de datos geológicos y estructurales.

Los instrumentos de medición para coleccionar los datos y para la ubicación son:

- a) GPS.
- b) Brújula tipo Brunton.
- c) Carta topográfica E-14D21.

El programa utilizado para la realización del mapa geológico es nombrado Q-GIS (software libre), la metodología es la siguiente:

- I. Georreferenciar la carta topográfica E-14D21.
- II. Introducir los contactos, datos estructurales y simbología.

El mapa geológico se encuentra en el huso 14 Q en la carta topográfica de Ahuacontingo, las coordenadas de esta zona de estudio son, al SW $X=521933$ $Y=1940932$, al SE $X=530491$ $Y=1940932$, al NW $X=521933$ $Y=1949985$ y al NE $X=530491$ $Y=1949985$ y se complementó con recorridos hacia el poblado de Cualac ubicado en la carta topográfica de Tlapa de Comonfort, las coordenadas de esta zona de estudio complementaria son, al NW $X=535325$ $Y=1962839$ al NE $X=540148$ $Y=1962847$ al SE $X=540140$ $Y=1959140$ y al SW $X=535354$ $Y=1959132$, de igual forma se recorrió la zona de Olinalá, para complementar la información.

En la figura 3.28 se muestra el mapa geológico de la zona de estudio, donde en la parte central afloran rocas sedimentarias, y es en esta zona donde se midió la columna estratigráfica del lugar.

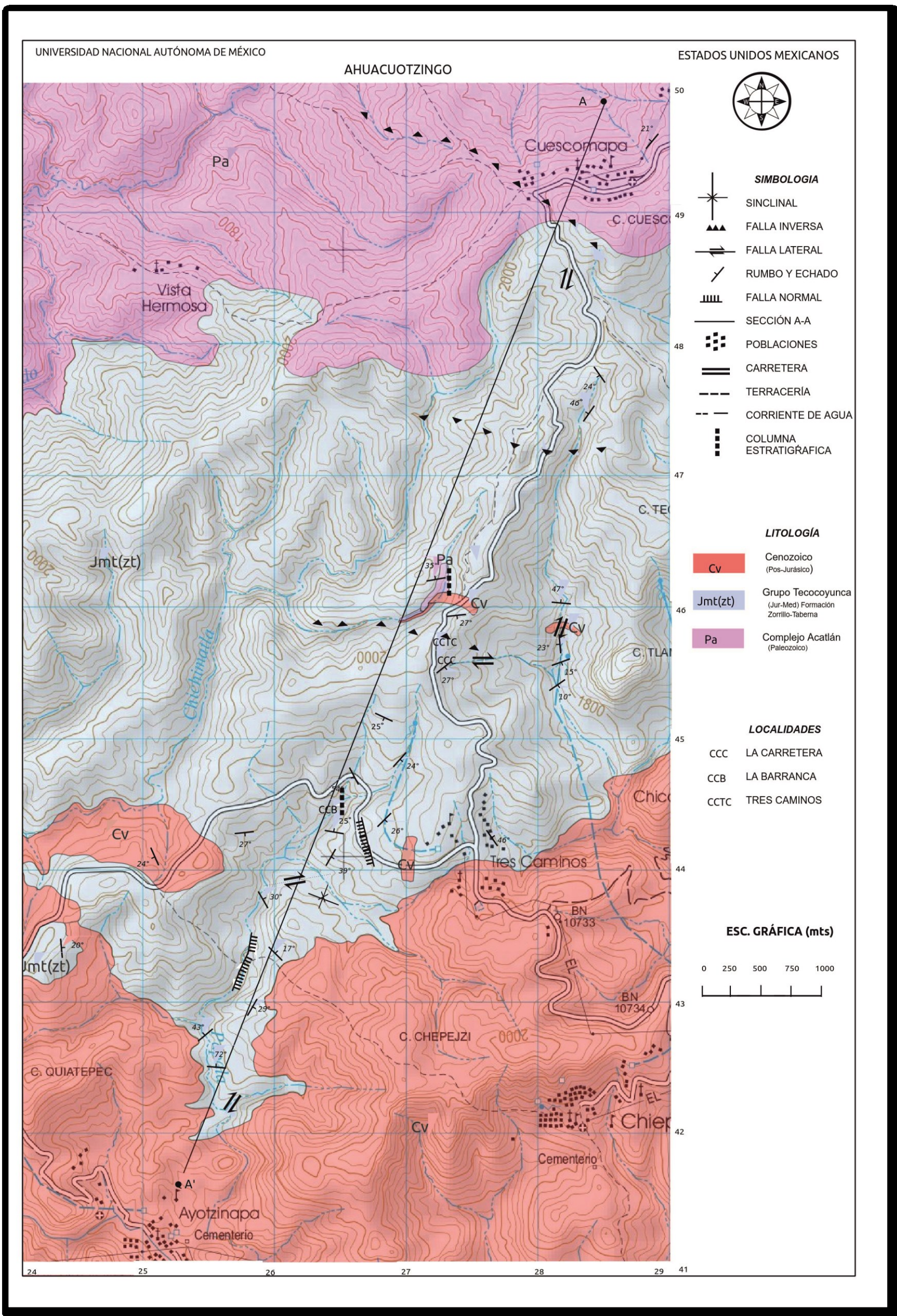


Figura 3.28. Mapa geológico de la zona de estudio.

La sección geológica fue orientada de tal forma que cortara la zona de la columna estratigráfica, y que se pudieran relacionar el mayor número de datos recolectados en campo.

La sección geológica tiene una orientación de NE 22 ° - SE 22 °, con las siguientes coordenadas UTM al suroeste (A) X: 525260, Y: 1941650 y al noroeste (A') X: 528570, Y: 1949800.

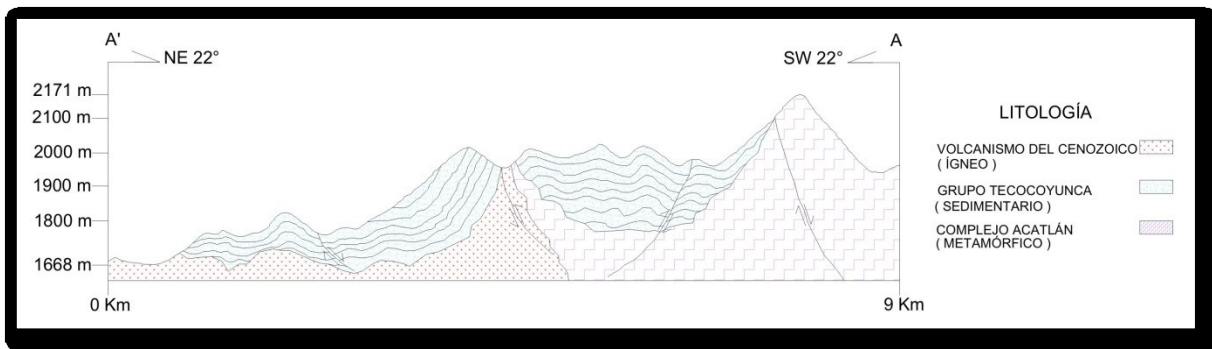


Figura 3.29. Sección geológica de la zona de estudio.

ESTRATIGRAFÍA LOCAL

CAPÍTULO 4

4.1. ESTRATIGRAFÍA LOCAL

La litología estudiada pertenece en su basamento a esquistos, filitas y meta areniscas del Complejo Acatlán, posteriormente se depositaron conglomerados, areniscas y lutitas con horizontes de carbón pertenecientes al Grupo Tecocoyunca, relacionada a la formación Zorrillo – Tabera este grupo se ve afectado por intrusivos de granitoide, riolita y andesita. La primera parte de la columna estratigráfica se midió en las localidades de La Carretera (CCC) al norte de Tres Caminos y la localidad de Tres Caminos (CCTC) con coordenadas UTM X=527262, Y=1945582, midiendo 253 m y la segunda parte de la columna se midió en la localidad de La Barranca (CCB) al oeste de Tres Caminos con coordenadas UTM X=526365, Y=1944437 midiendo 145 m, teniendo una columna parcial de 398 m. La estratigrafía se ve afectada por anticlinales, sinclinales y por fallas de desplazamiento lateral, descritas en el Capítulo 3. Por sus características físicas, litológicas y por su contenido fósil, la columna estratigráfica del Terreno Mixteco en la Carta Geológica Minera de Chilpancingo E14-8 propone esta secuencia clástica del Jurásico Medio en la zona de estudio. En la figura 4.1 se muestra la parte de la columna estratigráfica del Jurásico Medio del Terreno Mixteco. Para esta carta no hay registro del Jurásico Inferior.

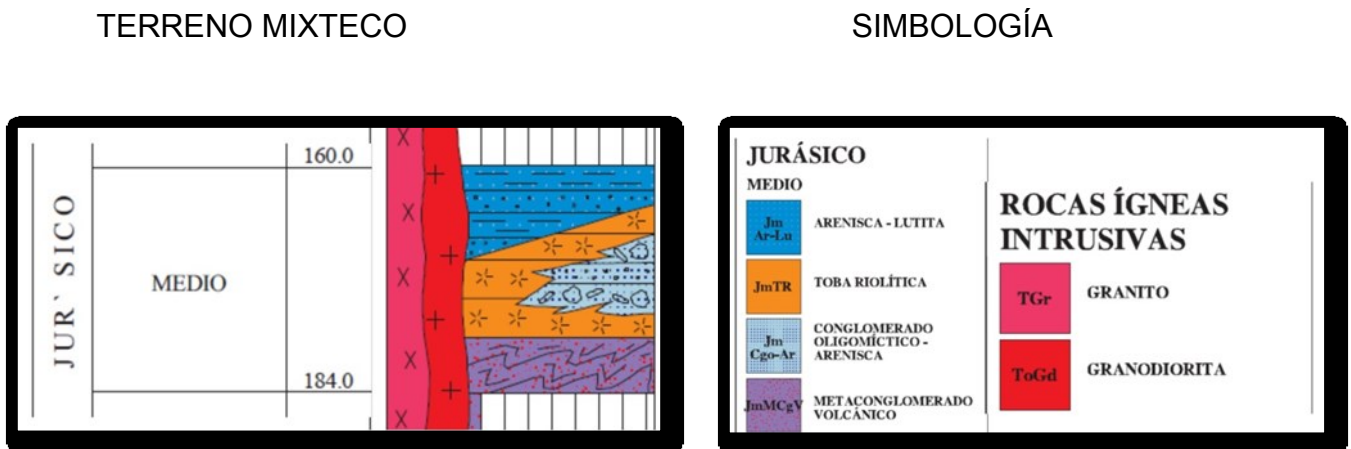


Figura 4.1. Columna estratigráfica del Jurásico Medio del Terreno Mixteco.
Tomado de la Carta Geológica Minera de Chilpancingo E14-8.

La unidad de areniscas conglomerática que se encuentra sobre el complejo metamórfico Acatlán (muestra HM-2) no contiene la dureza, producto del cementante de sílice que encontramos en la parte este del poblado de Cualac (muestra MHA-10) y se encuentra interestratificada con las unidades sedimentarias de areniscas y lutitas.

Los intrusivos que están interestratificados con los estratos de origen sedimentario fueron clasificados como diques de granitoide (muestra HM-5) y de andesita; en la parte oeste de la zona de estudio se encontró un derrame andesítico (muestra 1-AH) y en la parte sur de la zona se encontraron derrames riolíticos (muestra 8-AH). El vulcanismo que prevaleció en la zona en el Cenozoico, pudo haber dado origen a los diques que se encuentran en la columna estratigráfica local.

El Grupo Tecocoyunca es una secuencia de estratos que en la parte inferior es de origen continental con una edad del Bajociano–Calloviano Erben (1956). Se correlaciona con la Formación Zorrillo de edad Bajociano Temprano la cual está constituida por areniscas de grano medio a fina, limolitas con restos de plantas, lutitas carbonosas y mantos de carbón. Erben (1956) Alencástes (1963), Corona-Esquivel (1978), Díaz-Tapia y Hernández (1981), Sandoval (1986) reportan una flora fósil abundante para la Formación Zorrillo y para el Conglomerado Cualac Guzmán (1950), Erben (1966) mencionan la ausencia de fósiles, sin embargo Jiménez-Rentería y Rueda-Gaxiola (2002) registran la existencia de palinomorfos; para esta formación, en algunos niveles el Conglomerado Cualac se intercala con estratos delgados de limonita y arenisca de grano fino Corona-Esquivel, (1983). En la figura 4.2 se muestra la columna estratigráfica del Jurásico Medio-Inferior de la zona de estudio.

SISTEMA	SERIE	PISO	FORMACIÓN
JURÁSICO	SUPERIOR	TITONIANO	
		KIMERIDGIANO	
		OXFORDIANO	
	MEDIO	CALLOVIANO	GRUPO TECOCOYUNCA (LUTITAS CON HORIZONTES DE CARBÓN INTERCALADAS CON ARENISCAS DE GRANO FINO A GRUESO)
		BATONIANO	
		BAJOCIANO	
	INFERIOR	ALENIANO	CONGLOMERADO CUALAC (CONGLOMERADO DE CUARZO)
		TOARCIANO	
		PLIESBACHIANO	
		SINEMURIANO	
HETANGIANO			

Figura 4.2. Columna estratigráfica del Jurásico Medio-Inferior. Tomado de Jiménez Rentería y Rueda-Gaxiola (2002).

4.2. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

La columna estratigráfica es la ordenación vertical de las unidades litoestratigráficas presentes. La columna tiene como basamento al Complejo Acatlán de la edad del Paleozoico, aflorando esquisto, filitas y meta areniscas cubriendo a este Complejo de forma discordante se encuentra la secuencia de conglomerados, areniscas y lutitas con lentes de carbón pertenecientes al Grupo Tecocoyunca de edad Jurásico Medio, en la figura 4.3 se muestra la ordenación vertical de las unidades litoestratigráficas medidas en las localidades de Tres Caminos y de La Barranca.

La columna es afectada por intrusivos posiblemente de edad Cenozoica debido al vulcanismo que afecto la zona.

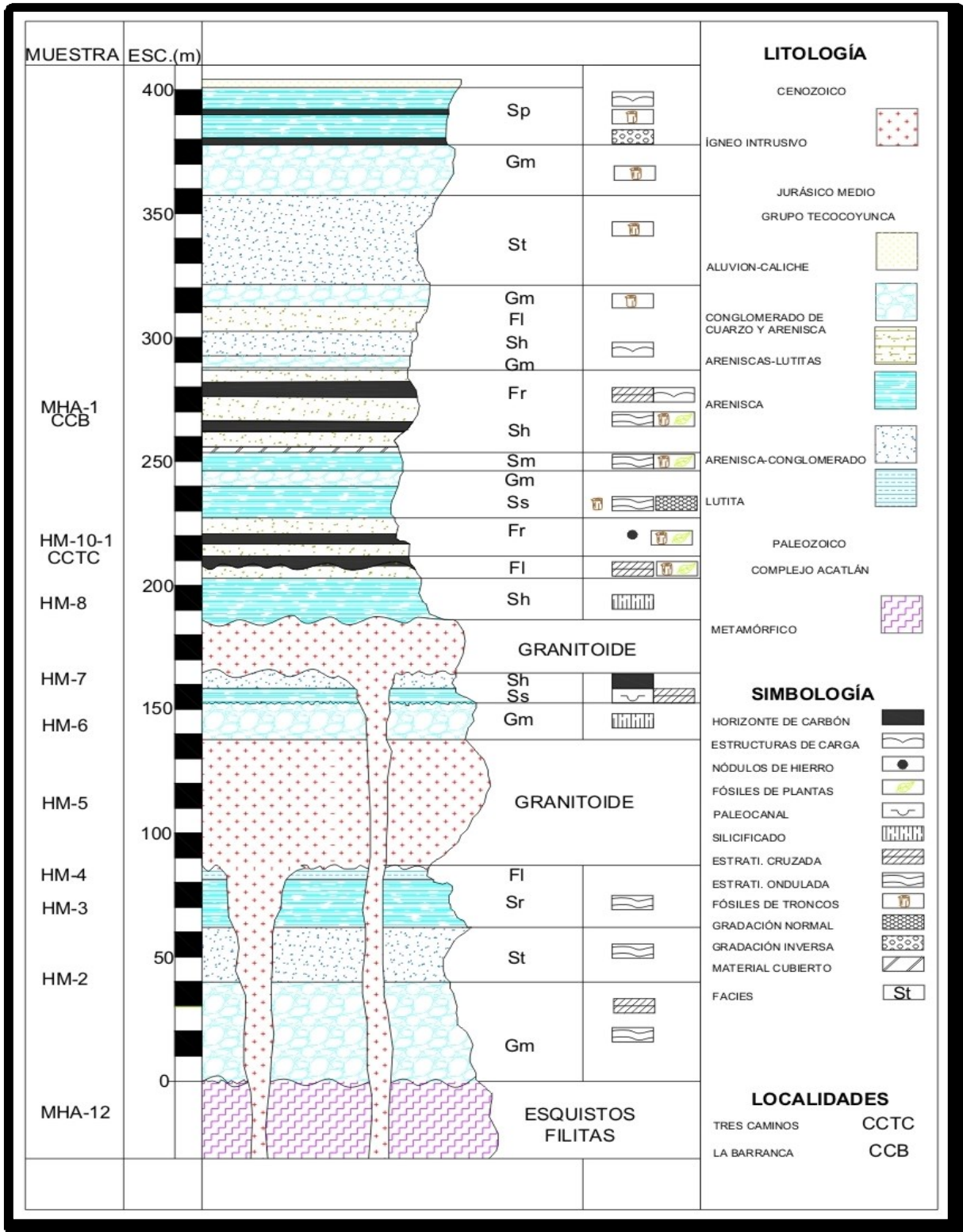


Figura 4.3. Columna estratigráfica local de la zona de estudio.

4.2.1. Estructuras Sedimentarias.

Se denominan estructuras sedimentarias a las formas preservadas tanto externas como internas, generadas por procesos sedimentarios o actividad biogénica contemporánea; incluyen aquellas creadas por procesos de sedimentación física, por procesos de deformación post-sedimentaria, por alteraciones producidas por actividades orgánicas y por procesos químicos. La clasificación utilizada para este estudio fue la de Miall (2000) basados en procesos físicos que las generan.

En la figura 4.4 se observan grietas de desecación, en la figura 4.5 se observa un paleocanal, en la figura 4.6 se observan concreciones de óxido de hierro, en la figura 4.7 se observa la estratificación con gradación normal y en la figura 4.8 se observa la estructura de carga, estas estructuras sedimentarias que se encuentran en la columna estratigráfica local perteneciente al Grupo Tecocoyunca, por las similitudes se puede relacionar con la formación Zorrillo - Taberna.



Figura 4.4. Fotografía de estructura formada por pérdida de fluido, formando grietas de desecación con óxido en las grietas. Se ubica en la localidad de Tres Caminos.



Figura 4.5. Fotografía de estructura formada por erosión hidrodinámica de estratos, formando la estructura de paleocanal. Se ubica en la localidad de Tres Caminos a la altura de 150 m de la columna estratigráfica local.



Figura 4.6. Fotografía de estructura diagenética, de concreciones de óxido de hierro desarrollado en areniscas. Ubicada en la localidad de Tres Caminos.



Figura 4.7. Fotografía de estructura, formada por moldeado hidrodinámico de estratos, transportados por gravedad de estratificación con gradación normal. Ubicada en la localidad de Tres Caminos.



Figura 4.8. Fotografía de estructura de carga de arenisca sobre lutitas. Se ubica en la base del cerro Tecocoyoco.

4.2.2. Delimitación de Unidades Litoestratigráficas.

Consiste en marcar los límites de los paquetes de rocas en función de su origen. Se identifican los límites de los estratos y se determinan las unidades litoestratigráficas.

Primera parte de la Columna de 253 m (Localidad Tres Caminos).

FACIES	LITOLOGÍA BASE	ESPESOR (m)
Gm	Conglomerado alterado, en la base presenta cuarzo blanco (lechoso) en abundancia de diámetro variado de 2 cm a 0.5 cm; hacia la parte superior va decreciendo en porcentaje de cuarzo. Presenta un intrusivo en la parte final de la Unidad, se clasifico como dique andesítico.	40 (0-40)
St	La Unidad presenta intercalaciones de arenisca conglomerática con espesores de 1 m a 30 cm.	21 (40-61)
Sr Fl	Arenisca conglomerática con presencia de galerías; hacia la cima de la unidad los estratos se hacen más delgados de 3 cm a 15 cm, al final de la Unidad hay una intercalación de lutitas y areniscas de grano fino con un espesor de los estratos que varían entre 20 cm a 60 cm.	24 (61-85)
Ígnea Intrusiva	Roca ígnea de color claro (félsico) se observan cuarzo, micas hexagonales y plagioclasas. Presenta fracturas rellenas de óxido de hierro. Muestra HM-5 clasificada como Granitoide.	55 (85-140)

Gm	Conglomerado con fragmentos de cuarzo blanco de un diámetro de 2 mm a 7 cm de forma redondeada, cementado por sílice, presenta horizontes de paleocanales. Muestra HM-6 clasificada como ortoconglomerado cuarcítico.	15 (140-155)
Ss Sh	Intercalación de areniscas finas, lutitas y conglomerados. Los estratos tiene un espesor de 20 cm a 3 cm, los fragmentos de cuarzo del conglomerado van de 2 cm a 5 cm. La Unidad presenta estratificación cruzada acuñándose los estratos. También presenta gradación normal, estructuras de carga y paleocanales. Muestra HM-7 se clasifico como un ortoconglomerado cuarcítico.	9 (155-164)
Ígnea Intrusiva	Cuerpo ígneo alterado interestratificado, en el contacto se encuentran unas areniscas alteradas por el mismo cuerpo ígneo andesítico.	20 (164-184)
Sh	Intercalación de areniscas de grano fino de color gris claro, el tamaño de los clastos va de 3 a 1 cm, al principio la estratificación es paralela, presenta fracturas rellenas de óxido de hierro, hacia la parte superior de la Unidad se incrementan las arcillas, la estratificación va de 8 a 1 cm. Ya al final de la Unidad hay una intercalación de areniscas con espesores que van desde 90 a 30 cm y lutitas con espesores de 30 a 10 cm. Muestra HM-8.	23 (184-207)
FI	Intercalación de lutitas y areniscas con estratificación ondulante, el espesor de los estratos de las areniscas va de 30 a 2 cm y las lutitas van de 7 a 1 cm. Las lutitas presentan la estratificación ondulante. Al final de la Unidad presenta un horizonte de carbón con presencia de fósiles, de espesor de 15 cm. Muestra 10 y 10-1.	9 (207-216)

Fr	Intercalaciones de areniscas y lutitas con estratificación paralela, las areniscas presentan horizontes de carbón de 1 a 3 cm. La estratificación va de 8 a 3 cm para las areniscas y de 2 a 3 cm para las lutitas. Las areniscas son finas de color gris claro. En la base de la Unidad hay un horizonte de nódulos de hierro de 30 cm. La Unidad presenta grietas rellenas de óxido de hierro.	7 (216-223)
Ss Gm	En la base de la Unidad son areniscas finas y conforme vamos subiendo va aumentando el tamaño de grano hasta llegar a ser areniscas de grano grueso. El tamaño de grano va de 0.5 a 3 cm. Al final de la Unidad la estratificación es ondulante de estratos de areniscas.	16 (223-239)
Sm	La Unidad tiene arenas de grano media a grano grueso llegando a formar conglomerados, al final de la Unidad las arenas son de grano fino, el tamaño de las arenas va 0.5 a 3 cm. La estratificación es paralela, presenta fracturas rellenas de óxido de hierro.	14 (239-253)
TOTAL 253 m.		

Segunda parte de la Columna de 145 m. (Localidad La Barranca).

FACIES	LITOLOGÍA BASE	ESPESOR (m)
Sh Fr	Intercalación de areniscas y lutitas con horizontes de carbón, en los cuales se encuentran fósiles bien preservados. Las areniscas son de color gris de grano fino con estratificación paralela y estructuras de carga, los estratos tiene un espesor de 7 m a 2 m. Las lutitas son de color gris a negro con estratificación paralela con espesores que van de 4 m a 1.5 cm. Los horizontes de carbón tienen un espesor de 30 cm a 5 cm. En el rango de los 19.5 m a 26 m se encuentran los fósiles (<i>Helechos Bennettiales</i> y <i>coníferas</i>) En la base de la Unidad presenta oxidación	31 (0-31)

Gm	Conglomerado de cuarzo con fragmentos de 2 cm a 0.5 cm.	1 (31-32)
Fl Sh	Intercalación de lutitas y areniscas. Las lutitas presentan estratificación paralela, el espesor de los estratos es de 3 m a 0.5 m y las areniscas son de grano fino en la base hay presencia de paleocanales y en la cima hay impresiones de troncos, este estrato es de 10 cm. Los estratos de las areniscas son de 10 cm a 1.5 m.	9.5 (32-41.5)
Gm	Conglomerado de cuarzo con intercalaciones de areniscas en toda la unidad, los espesores de los estratos de las areniscas van de 1 m a 0.5 m, el conglomerado presenta una matriz de arenisca de mediana a fina.	24 (41.5-65.5)
St	Intercalación de areniscas. En la base son areniscas de grano fino, a partir del metro 14.5 m y teniendo una extensión de 8.5 m hay presencia de impresiones de troncos y plantas esto en las areniscas de grano medio a grueso, en la parte superior de esta zona de troncos, las areniscas son más gruesas y van decreciendo de tamaño de grano intercalándose con areniscas de grano fino-medio a grueso en la cima de la unidad. El espesor de los estratos va de 25 cm a 1 m.	36 (65.5-101.5)
Gm	Intercalación de areniscas conglomeráticas y areniscas de grano medio, en la base los estratos son de 70 cm de espesor, sobre el metro 14 hay un estrato de 10 cm de espesor de arenas medias con presencia de impresiones de troncos, ya en la cima las arenas son menos gruesas con estructuras de carga y estratificación paralela.	20.5 (101.5-122)
Sp	Intercalaciones de areniscas de grano fino y medio. En la base de la Unidad hay un estrato de lutita de 0.5 m de espesor pasando a areniscas finas con estratificación paralela los estratos van de 7 m a 50 cm. Sobre el metro 11 hay un horizonte de lutita de 15 cm de espesor, ya al final de la Unidad hay arenas gruesas de 3 a 5 cm de espesor. TOTAL 145 m.	23 (122-145)

Se estudia la relación entre cada dos unidades superpuestas, deduciendo si existe o no continuidad en los procesos sedimentarios, los procesos sedimentarios que formaron las unidades son de tipo fluvial, en donde las partículas se transportan por mecanismo de carga en suspensión como son las arcillas y las arenas y por carga de fondo como son las gravas.

Los cambios en el tamaño de grano indica un cambio en la energía de transporte y por lo tanto en el medio de depósito, en la figura 4.9 se muestra la estratificación de la zona donde los procesos sedimentarios cambiaron depositando materiales finos a gruesos estos depósitos pertenecen al Grupo Tecocoyunca.



Figura 4.9. Afloramiento ubicado en el río Papala al oeste de Tres Caminos, mostrando la secuencia de las unidades.

4.3. LITOLOGÍA

La identificación de materiales es el objetivo más elemental, consiste en clasificar materiales presentes con relación a sus características litológicas, estructurales, texturales, su contenido fósil y propiedades geofísicas y geoquímicas, en esta parte se identifican las facies litológicas, para esta identificación se tomaron 59 muestras de mano para su análisis en gabinete.

4.3.1 Análisis Microscópico.

De las 59 muestras de mano se laminaron 23 muestras para su estudio petrográfico, obteniendo sus propiedades microscópicas y llevándolas a los diagramas correspondientes explicados en la descripción de las muestras de mano, corroborando y ajustando las descripciones macroscópicas.

A continuación se describen las muestras petrográficas que se obtuvieron de la columna estratigráfica local, pertenecientes al Grupo Tecocoyunca, al Complejo Acatlán, al Vulcanismo del Cenozoico y al Conglomerado Cualac.

Los fragmentos que tienen mayor abundancia en las rocas sedimentarias son de cuarzo, los cuales pertenecen principalmente al Complejo Acatlán y en menor proporción al Vulcanismo del Cenozoico.

En la figura 4.10 se observa el análisis de la muestra HM-5 la cual se encuentra interestratificada en la columna estratigráfica.

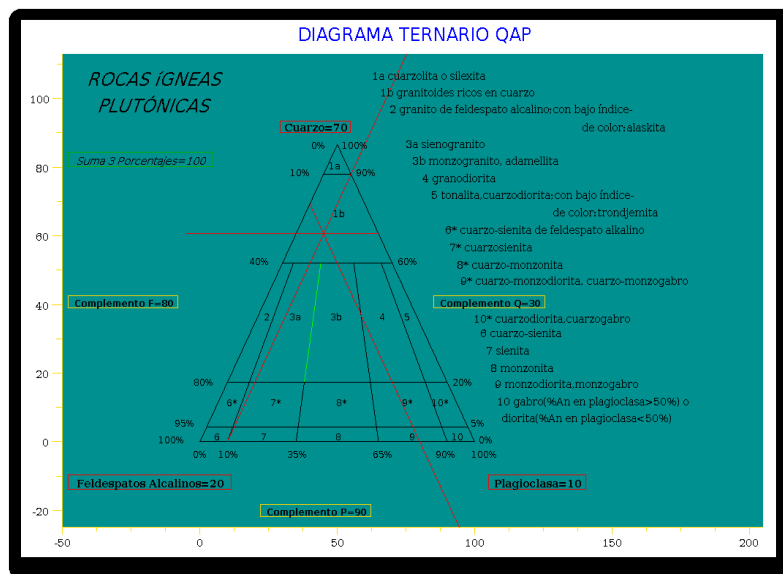


Figura 4.10. Muestra HM-5. Granitoides de cuarzo, triángulo de la clasificación de las rocas ígneas plutónicas de Streckeisen (1974).

HM-1 Meta arenisca (Fig. 4.11)

Muestra de color gris con puntos y líneas blancas, el tamaño de grano es de arena muy fina, la forma es discoidal, la redondez es angulosa baja esfericidad, el empaque es cerrado, la composición mineralógica es:

- 1.- Cuarzo 80%. Se presenta en vetillas y en forma clastosoportados, de origen detrítico, con matriz microcristalina.
- 2.- Feldespatos 15%.
- 3.- Mica 5% (mineral accesorio)

La matriz mayor al 15% de limo, se observan vetas rellenas de sílice, no se alcanza a ver los minerales con claridad, no efervece con HCl y es compacta y masiva.

HM-2 Grauvaca de cuarzo. (Fig. 4.12)

Muestra de color ocre con puntos blancos y grises, el tamaño de grano es de arena media, la forma es discoidal, la redondez es sub-angulosa baja esfericidad, el empaque es abierto, está mal clasificada, la composición mineralógica es:

- 1.- Cuarzo 60%. No presenta alteración.
- 2.- Feldespatos 40%.

De forma semi prismático, con ligera alteración, la matriz mayor al 15% de limo y arcilla, se observan vetas rellenas de color óxido, presenta alteraciones.

HM-3 Cuarzoarenita. (Fig. 4.13)

Muestra color gris con puntos blancos, el tamaño de grano es de arena media, la forma es discoidal, la redondez es sub-angulosa – baja esfericidad, el empaque es cerrado, con una clasificación moderada, la composición mineralógica es:

- 1.- Cuarzo 80%.
- 2.- Feldespatos 10%.
- 3.- Fragmentos de roca 10%.

La matriz mayor al 15%, esta soportado por granos, no efervece con HCl y es compacta y masiva.

HM-4 Subarcosa. (Fig. 4.14)

Muestra de color ocre claro, el tamaño de grano es de arena fina, la forma es esférica, la redondez es sub-redondeado, es de alta esfericidad, el empaque es cerrado, está bien clasificada, la fábrica es isotrópica, la composición mineralógica es:

- 1.- Cuarzo: 70%:
- 2.-Feldespatos 30%.

La matriz mayor al 15 % soportada por clastos, no efervece con HCl y es compacta y tiene grietas rellenas de óxido.

HM-5 Granitoide de Biotita. (Fig. 4.15)

Muestra color gris claro, la textura es fanerítica de grano medio a fino. Es de origen Intrusivo, los minerales observados son:

- 1.- Cuarzo 70%.
- 2.- Feldespatos 25%.
- 3.- Micas 5%.

Se presenta paralelo a la estratificación.

HM-6 Ortoconglomerado de cuarzo. (Fig. 4.16)

Muestra color gris con blanco el tamaño de grano es de cantos rodados-arena media, la forma es discoidal, la redondez es sub-redondeada, de alta esfericidad el empaque es cerrado, está mal clasificada, la composición mineralógica es:

- 1.-Cuarzo 80%.
- 2.- Fragmentos de roca 20%.

La matriz es menor al 15% de arena fina.

HM-7 Ortoconglomerado de cuarzo. (Fig. 4.17)

Muestra color gris con blanco (Óxido), el tamaño de grano es de guijarros-arena gruesa (1 cm - 0.5 cm), la forma es discoidal, la redondez es redondeada de baja esfericidad, el empaque es cerrado, está mal clasificada, la composición mineralógica es:

- 1.- Cuarzo 90%.
- 2.- Fragmentos de roca 10%.

La matriz es menor a 15%, está cementado por sílice.

HM-8 Cuarzoarenita. (Fig. 4.18)

Muestra color gris con rayas cafés el tamaño de grano es de arena muy fina, está bien clasificada, la composición mineralógica es:

- 1.- Cuarzo 95%.
- 2.- Feldespatos 50%.

La matriz es mayor al 15%, no efervesce con HCl y se observan grietas rellenas de óxido.

HM-9 Ortoconglomerado de cuarzo. (Fig. 4.19)

Muestra color café, el tamaño de grano es de cantos rodados- arena gruesa (32 mm a 5 mm), la forma es discoidal, es de baja esfericidad y clastos angulosos, el empaque es cerrado, está mal clasificada, la composición mineralógica es:

- 1.- Cuarzo 80%.
- 2.- Feldespatos 20%.

La matriz es menor al 15%, no efervesce con HCl y está mal consolidada.

HM-10 Grauvaca de cuarzo. (Fig. 4.20)

Muestra color gris claro, el tamaño de grano es de arena media arena fina, la forma de elipsoides, la redondez es de redondeados baja esfericidad, el empaque es cerrado, está muy bien clasificado, la composición mineralógica es:

- 1.- Cuarzo 80%.
- 2.- Feldespatos 20%.

Esta compacta masiva, se presenta bien consolidada, por su dureza puede estar silicificada.

HM-11 Cuarzoarenita. (Fig. 4.21)

Muestra color gris con puntos blancos, el tamaño de grano es de arena media, la forma es discoidal, la redondez es sub-angulosa baja esfericidad, el empaque es cerrado, la clasificación es bien clasificada, la composición mineralógica es:

- 1.- Cuarzo 80%.
- 2.- Feldespatos 10%.
- 3.- Fragmentos de roca. 10%.

La matriz menor al 15%, está soportado por granos, no efervesce con HCl y es compacta y masiva.

HM-12 Filita. (Fig. 4.22)

Muestra color gris oscuro con estructura foliada, el grado de metamorfismo es medio bajo, es de clase química Pelítica.

MHA-1 Cuarzoarenita. (Fig. 4.23)

Muestra color café claro, el tamaño de grano es de guijas arena fino, la forma es elipsoidal, la redondez es angulosa baja esfericidad, el empaque es cerrado, la matriz es menor al 15%, el cementante es de sílice.

MHA-10 (CUALAC) Ortoconglomerado (Fig. 4.24).

Muestra color gris claro (Fragmentos blancos, negros y transparentes), el tamaño de grano es de cantos rodados arena media, la redondez es muy angulosos baja esfericidad, el empaque es cerrado, (está mal clasificadas), la composición mineralógica es de:

- 1.- Cuarzo: 80%.
- 2.- Feldespatos: 20%.

8-AH (CHIEPETEPEC) Riolita. (Fig. 4.25).

Muestra color marrón rojizo, con textura afanítica, la estructura es compacta masiva, es de origen volcánico, los minerales son:

- 1.- Cuarzo 40%.
- 2.- Feldespatos 40%.
- 3.- Micas 20%.

MH-10-1 (CARBÓN)

Muestra color café a negro, de origen lacustre, no se observan las propiedades petrográficas debido a que se comporta como un material opaco. (Fig. 4.26).

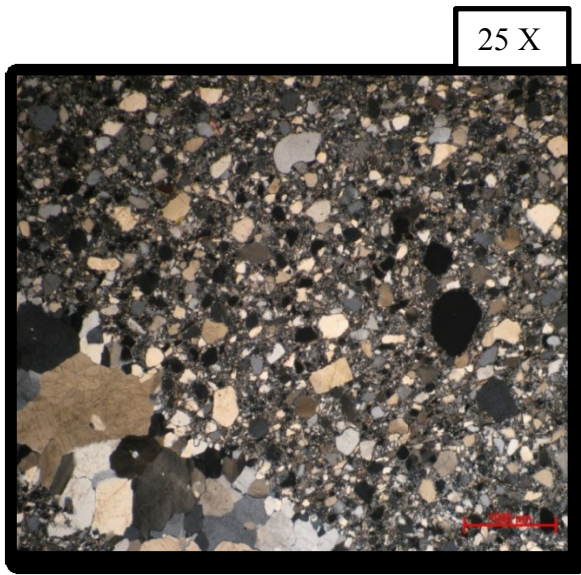


Figura 4.11. Muestra HM-1. Presenta cuarzo en 90% con vetillas de cuarzo, la matriz es menor a 15% y los clastos son sub angulosos. Se ubica en la cañada Chichimantla.

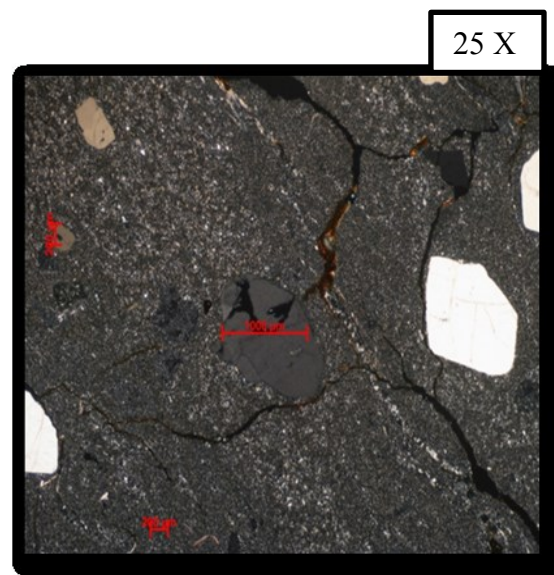


Figura 4.12. Muestra HM-2 La matriz en mayor a 15% los clastos son sub angulosos, presenta cuarzo 70% y feldspatos 30%. Se ubica en la localidad de La Carretera (CCC).



Figura 4.13. Muestra HM-3. Presenta cuarzo 80%, feldspatos 10% y micas 10%, la matriz es menor a 15% algunos cuarzos presentan extinción ondulante. Se ubica en la localidad de La Carretera (CCC).

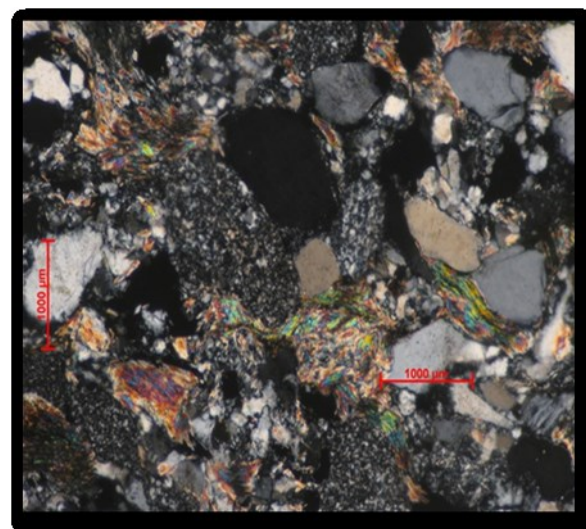


Figura 4.14. Muestra HM-4. Presenta cuarzo 80%, feldspato 15% y micas 15%, la matriz es menor a 15%. Se ubica en la localidad de La Carretera (CCC).

25 X



Figura 4.15. Muestra HM-5. Presenta cuarzo 20%, plagioclasas 40%, feldespato 20% y micas 20%. Se ubica en la localidad de La Carretera (CCC).

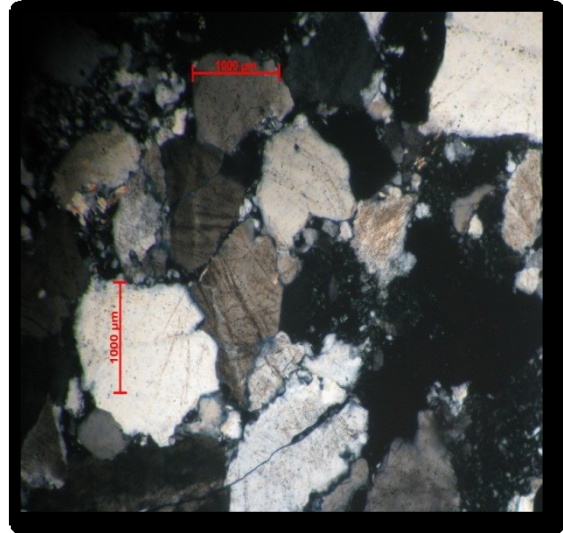


Figura 4.16. Muestra HM-6. Presenta cuarzo 80% con matriz menor a 15%, los clastos tienen una forma sub redondeada. Se ubica en la localidad de La Carretera (CCC).

5 X

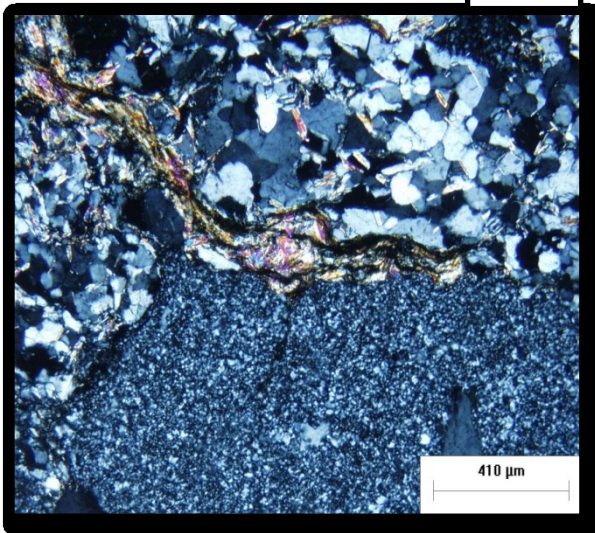


Figura 4.17. Muestra HM-7. Presenta cuarzo policristalino, monocristalino y microcristalino y fragmentos de esquisto (color ocre), presenta muscovita.

10 X/NX

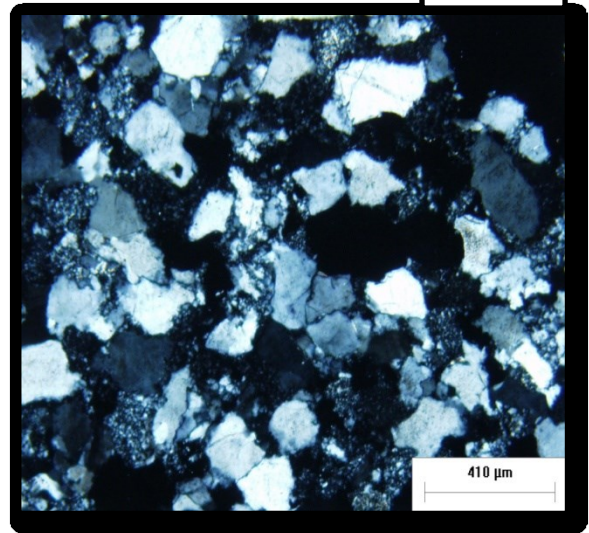


Figura 4.18. Muestra HM-8. Presenta 95 % de cuarzo y 5% de feldespatos.

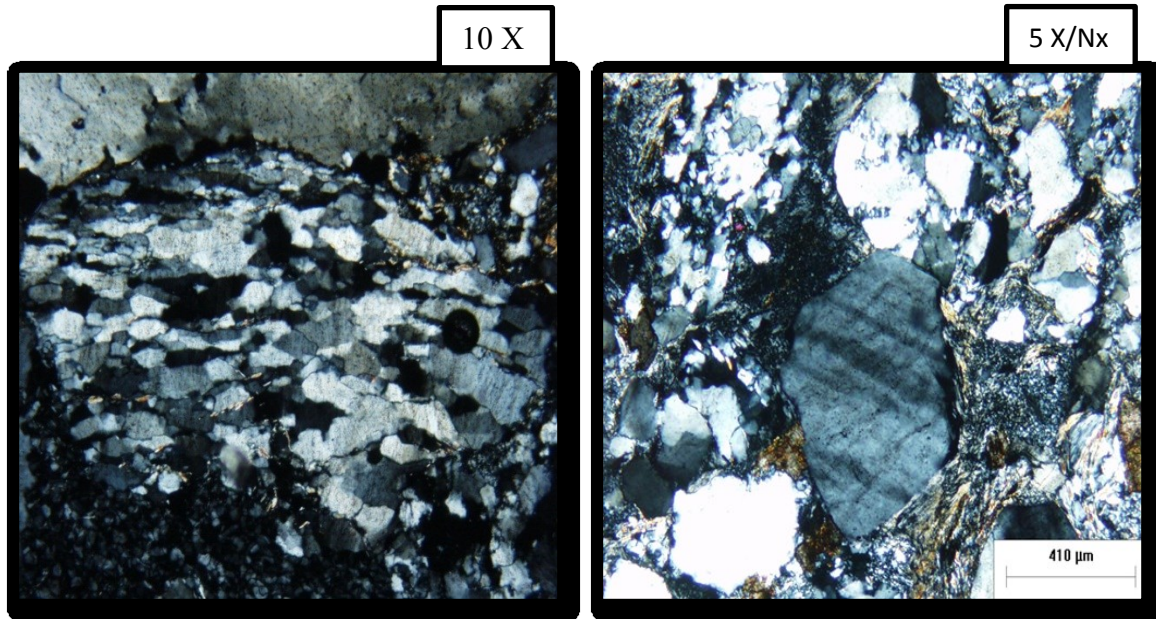


Figura 4.19. Muestra HM-9. Presenta cuarzo con extinción ondulante y un grado de metamorfismo.

Figura 4.20. Muestra HM-10. Presenta feldespato 20 % y cuarzo 80 % policristalino y microcristalino, en algunas zonas se observan micas alteradas de color marrón y presenta zircons en muy poca proporción. El feldespato presenta maclas polisintéticas.

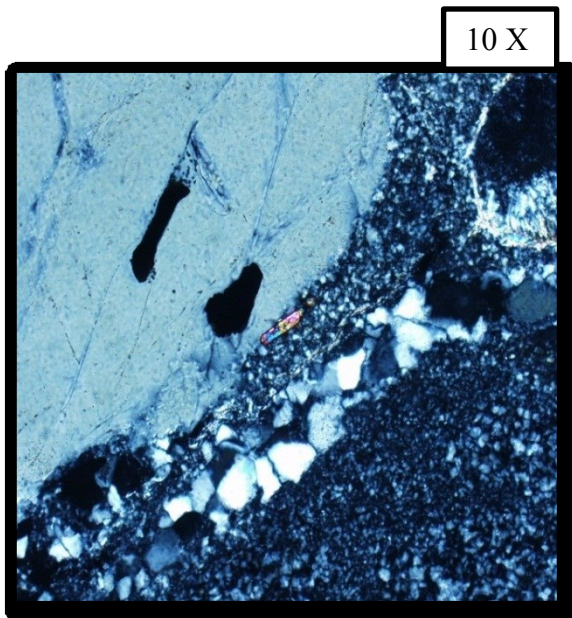


Figura 4.21. Muestra HM-11 Se observa matriz de cuarzo criptocristalino, con vetillas de cuarzo, presenta cuarzo 40%, feldespato en 10% y fragmentos de roca en 50%, en el centro de la fotografía se observa un zircón.

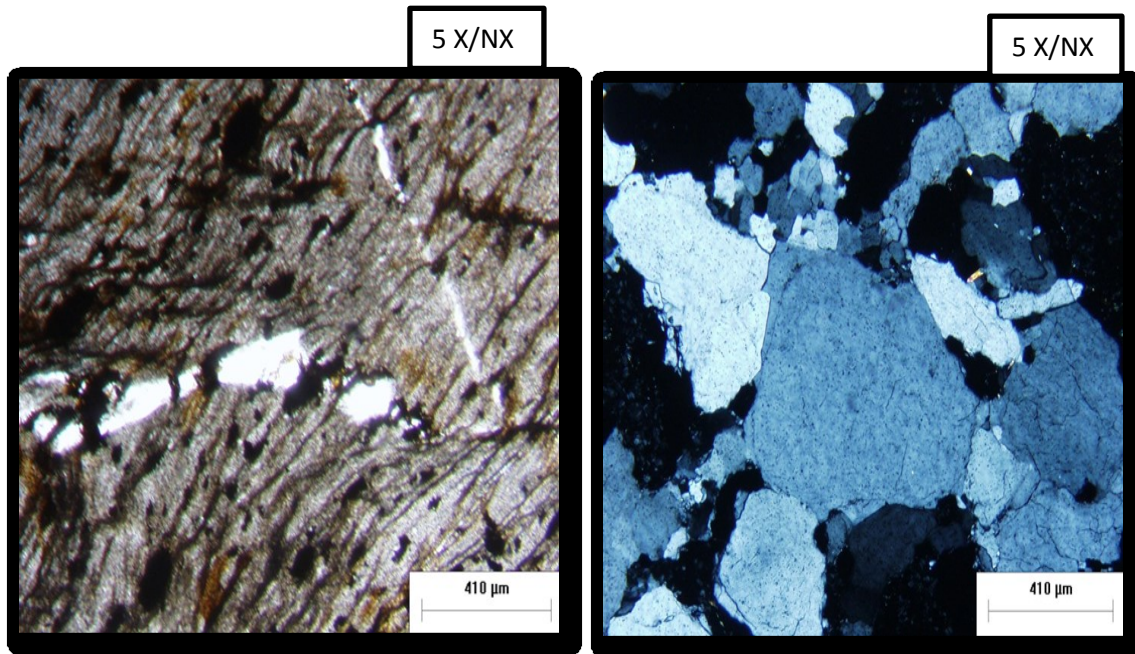


Figura 4.22. Muestra HM-12 (Complejo Acatlán). Esta roca está constituida por cristales con un tamaño de grano tan pequeño que hacen difícil su identificación, presenta una estructura foliada, con bandeamiento de color marrón, de gris a blanco y algunas intercalaciones de óxido de hierro, la mayor parte está compuesta por cuarzo muy fino. Presenta propiedades anisotrópicas con textura lepidoblastica, en algunas zonas se observa cuarzo microcristalino y vetas de cuarzo. Se nombró Filita.

Figura 4.23. Muestra MHA-1. Presenta cuarzo policristalino en 90% y 10% de feldespato, en algunas secciones se presenta el cuarzo fragmentado producto del metamorfismo y en menor cantidad fragmentos de esquistos. Los bordes del cuarzo en algunas partes se presentan en forma onduladas.



5 X/NX

Figura 4.24. Muestra MHA-10 (Conglomerado Cualac) Presenta un 80% de cuarzo abundando más el policristalino y monocristalino, en menor proporción el microcristalino, algunos son bordes irregulares y otros bien definidos, 10 % de feldspatos y 10 % de fragmento de roca como esquistos, micas y anfíbol. Presenta feldspatos con maclas de tipo enrejado.

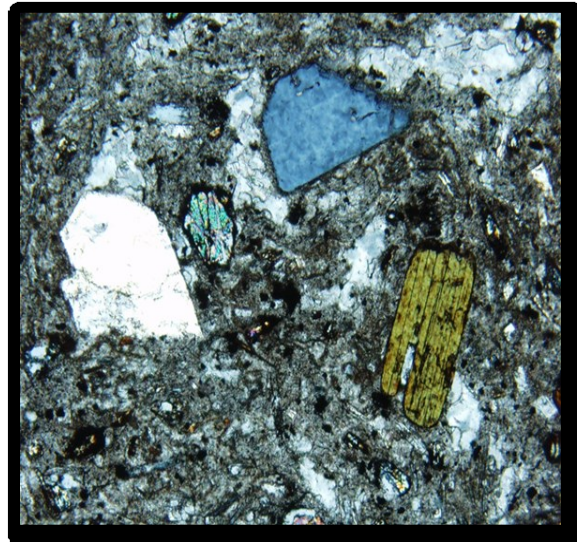


Figura. 4.25. Muestra 8-AH (Poblado Chiepetepec) Presenta un porcentaje de 15 % de cuarzo, 15 % de feldspatos alcalino y 70 % de plagioclasas, los cristales con colores pleocroísmo son de anfíboles tipo hornblenda, también se observan cristales de piroxeno color pardo. Está formada en parte por microcristales de plagioclasa, presenta textura porfídica y fabrica inequigranular. Contiene plagioclasa con maclas polisintéticas. De acuerdo a sus porcentajes recibe el nombre de andesita.

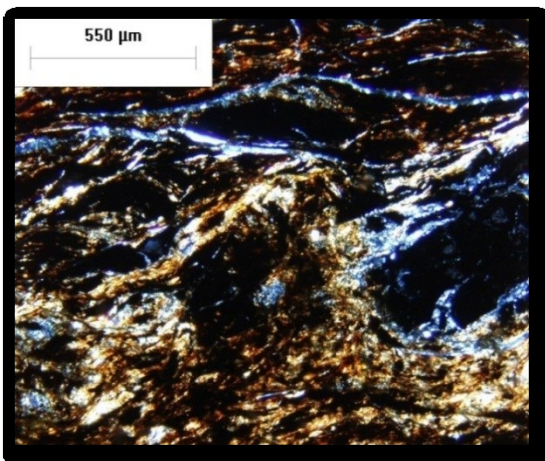


Figura. 4.26. Muestra MH-10-1. (Carbón) no presenta propiedades ópticas.

4.3.2. Descripción de las Muestras Macroscópicas.

Para las rocas sedimentarias se utilizó la clasificación del tamaño de la partícula, apoyado en la escala de Wentworth (1922) y la clasificación de Dott (1964) la cual se basa en el porcentaje de matriz (material detrítico de tamaño < 30 micras) y en la naturaleza de los clastos, los cuales pueden pertenecer a cualquiera de los siguientes tres tipos: cuarzo (Q), feldespatos (Fs) y fragmentos de roca (Fr).

A partir del porcentaje de matriz se establecen dos tipos básicos: Grauvacas, si la matriz representa más del 15% del volumen; arenitas si la matriz representa menos del 15% del total.

A su vez las arenitas se dividen en cuarzoarenitas, litoarenitas y arcosas, en función de los porcentajes de cuarzo (Q), feldespato (Fr) y fragmentos de roca (Fr) que contienen. Para establecer esta clasificación se utilizó un diagrama triangular de arenitas (Dott 1964 y Pettijohn et al., 1972).

Para la clasificación de los conglomerados se utilizó la propuesta por Murray, J. W., (1981), apoyado en Pettijohn (1975) que se basa en el porcentaje de la matriz y la propuesta por Limarino et al., (1996) basado en la fábrica, tipo de matriz y composición de los clastos; para las rocas ígneas se toma la clasificación de Sabine (1978) y Streckeisen (1979); para las rocas intrusivas se tomó la clasificación de Streckeisen (1974), tomada en consideración en el porcentaje de cuarzo, feldespato alcalino y plagioclasas.

Para las Tobas se tomó la clasificación de Pettijohn, Potter y Siever (1972) basados en el porcentaje de los fragmentos líticos, fenocristales y vidrio.

Las rocas metamórficas se clasificaron en base a su textura y composición mineralógica.

Para la descripción macroscópica se tomaron 59 muestras de mano de las cuales 10 son cuarzoarenitas, 8 metamórficas, 8 ortoconglomerados de cuarzo, 3 grauvacas, 3 subarcosas, 1 granitoide, 1 carbón, 1 cuarzo lechoso, 9 riolitas, 6 tobas y 6 andesitas; en la figura 4.27 se muestra un listado de las muestras.

No.	CLAVE	NOMBRE	No.	CLAVE	NOMBRE
1	HM1	Meta-arenisca	31	9-AH-A	Riolita
2	HM2	Grauvaca de cuarzo	32	9AH-B	Riolita
3	HM3	Cuarzoarenita	33	9-AH-D	Riolita
4	HM4	Subarcosa	34	10AH	Caolín
5	HM5	Granitoide	35	11AH	Riolita
6	HM6	Ortoconglomerado de cuarzo	36	12-AH	Riolita
7	HM7	Ortoconglomerado de cuarzo	37	13-AH	Toba lítica
8	HM8	Cuarzoarenita	38	14-AH	Riolita
9	HM9	Ortoconglomerado de cuarzo	39	15-AH	Toba lítica
10	HM10	Grauvaca de cuarzo	40	16-AH	Toba lítica
11	HM10-1	Carbón	41	G	Ortoconglomerado de cuarzo
12	HM11	Cuarzoarenita	42	P	Subarcosa
13	HM12	Filita	43	Q	Ortoconglomerado de cuarzo
14	MHA1	Cuarzoarenita	44	K	Andesita
15	MHA2	Grauvaca de cuarzo	45	B1	Riolita
16	MHA-3	Ortoconglomerado de cuarzo	46	M	Cuarzoarenita
17	MHA-6	Subarcosa	47	QZ	Cuarzo-lechoso
18	MHA-9	Ortoconglomerado de cuarzo	48	N	Andesita
19	MHA-10	Ortoconglomerado de cuarzo	49	J	Andesita alterada
20	MHA-11	Cuarzoarenita	50	H	Andesita
21	MHA-12	Esquisto	51	O	Toba lítica
22	1-AH	Riolita	52	E	Cuarzoarenita
23	2-AH	Cuarzoarenita	53	F	Andesita
24	3-AH	Cuarcita	54	D1	Cuarzoarenita
25	4-AH	Filita	55	I	Toba lítica
26	5-AH	Cuarzoarenita	56	R	Andesita
27	6-AH	Caolín	57	OL	Lutita
28	7-AH	Filita	58	OL2	Caliza Wackestone
29	8-AH	Riolita	59	OL3	Dolomita
30	9-AH	Toba lítica			

Figura 4.27. Tipo de rocas que se identificaron en el área de estudio, las primeras 14 muestras se encuentran en la columna estratigráfica local.

4.4. CONTENIDO FOSILÍFERO

En 1988 Silva-Pineda y González-Gallardo estudian y clasifican tres especies de plantas para el área de Cualac. Después de realizar una revisión de las localidades registradas para el Jurásico Inferior y Medio del Estado de Oaxaca (Terreno Mixteco) y de los listados paleoflorísticos correspondientes, se inició la colecta de material fósil. Se identificaron hojas y pinas, cuantificando ejemplares completos e incompletos; La Barranca (CCB), 17°35'10.8"N y 98°45'5.50 W y con coordenadas UTM X=526365, Y=1944437.

La Carretera (CCC) localizada en 17° 35'48N y 98°44'35"W y sus coordenadas UTM son X=527262, Y=1945582. Tres caminos (CCTC) en las coordenadas 17°35'54"N y 98°44'35.9"W y sus coordenadas UTM son X=527235, Y=1945766. La columna estratigráfica completa mide 398 m. El material fósil se identificó, tomando como base los ejemplares clasificados por Silva-Pineda y depositados en el Instituto de Geología de la UNAM (IGM); también se tomaron como referencia los trabajos de Delevoryas (1991); Person y Delevoryas (1982) y Delevoryas y Gould (1971), además de bibliografía especializada, para los nuevos géneros y especies. Las especies identificadas en el material colectado fueron agrupadas en cinco categorías de acuerdo con su abundancia total, siguiendo la escala geométrica en agrupamientos de tamaño por tres Luna et al, 2010:

- R (rara: especies con 1 ejemplar).
- E (escasa: de 2 a 4).
- F (frecuente: de 5 a 13).
- C (común: 14 a 40).
- A (abundante con 41 o más).

Los ejemplares se encuentran resguardados en la colección de paleontología de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza bajo los acrónimos CFZCc 1-463. Martínez y Velasco (2012), presentan un análisis de la diversidad y riqueza de las especies identificadas en las tres localidades arriba mencionadas. En la figura 4.28 se muestra la localidad de La Barranca (CCB), en donde se midió la segunda parte de la columna estratigráfica local.



Figura4.28. Fotografía de la Barranca (localidad CCB) ubicada al oeste del poblado Tres Caminos.

En la figura 4.29 se hace un listado de las especies encontradas en las localidades de la zona, Tres Caminos, La Barranca y La Carretera, en donde el número “0” indica la ausencia de esa especie en la localidad y el número “1” indica presencia de la especie de fósil en esa localidad, la localidad con mayor número de especies de fósiles encontradas es La Carretera con 31 especies, la suma de todas las especies encontradas en las tres localidades es de 34, cifra que es bastante buena, logrando así uno de los objetivos de este trabajo.

Especies	Localidades		
	3 Caminos	Barranca	Carretera
<i>Baiera</i>	0	0	1
<i>Brachyphyllum</i> sp.	1	0	0
<i>Equisetum</i> sp.	1	1	0
Helecho 1	0	1	1
Helecho 2	1	1	1
Helecho 3	0	1	0
Helecho 4	0	1	0
Helecho 5	1	0	1
Helecho 6	0	0	1
Helecho 7	0	0	1
Helecho 8	0	0	1
<i>Mexiglosa varia</i>	0	0	1
Morfotipo 1	1	0	0
Morfotipo 2	0	1	0
<i>Otozamites morfo 1</i>	0	1	1
<i>Otozamites hespera</i>	1	1	1
<i>Otozamites obtusus</i>	0	0	1
<i>Otozamites mandeslohi</i>	0	0	1
<i>Pelourdea</i>	0	1	1
<i>Ptilophyllum</i> sp.	0	1	1
<i>Ptilophyllum pulcherrium</i>	0	1	1
<i>Ptilophyllum cutchense</i>	1	0	1
<i>Ptilophyllum acutifolium</i>	1	1	1
<i>Pterophyllum</i> sp.	0	1	1
<i>Pterophyllum nathorsti</i>	0	1	1
<i>Pterophyllum munsteri</i>	0	0	1
<i>Sphenobaiera</i> sp.	0	1	1
<i>Williamsonia</i> sp.	0	1	1
<i>Williamsonia nezahualcoyotlii</i>	1	1	1
<i>Williamsonia tlazeolti</i>	0	0	1
<i>Williamsonia nathorstii</i>	0	0	1
<i>Zamites oaxacensis</i>	1	1	1
<i>Zamites lucerensis</i>	1	1	1
<i>Zamites fenionis</i>	0	1	1
<i>Zamites tribulosus</i>	0	1	1
<i>Zamites</i> sp.	0	0	1
<i>Zamites diquiyui</i>	0	1	0
<i>Zamites morfotipo 1</i>	0	1	1
Total	11	23	31

Figura 4.29. Listado donde se muestra las especies en las distintas localidades de la zona.

Se encontraron impresiones de tronco en los estratos de arenisca de grano fino, como se muestra en la figura 4.30. Ubicado en la localidad de La Barranca.



Figura 4.30. Fotografía que muestra la impresión de una corteza de tronco en una arenisca, ubicado en La Barranca al NW del río Papala, localidad (CCB).

4.4.1. Introducción de la coordenada tiempo.

Gracias al contenido fósil, se fijan las edades de los estratos, y se determinan las unidades bioestratigráficas y cronoestratigrafías. El registro fósil de plantas de una zona está relacionado con el clima en donde se distribuyen, de la misma forma que las plantas actuales se relacionan con el clima donde se desarrollan.

En México el registro fósil perteneciente al Jurásico es principalmente de Gimnospermas.

El estudio previo de la zona fue realizado por los investigadores Silva-Pineda y Gonzales-Gallardo (1988) registraron tres especies para el área de Cualac, *Bennettitales*, *Cycadales* y Helechos de la familia *Osmundaceae*.

Los resultados obtenidos por la Dra. Patricia Velasco de León:

- *Coníferas* 2 géneros.
- *Sphenobaiera Florin Bennettiales*, hojas 18 especies, conos 4.
- *Mexglosa* varía de posición, *Delevoryas* y *Pearson*.
- *Ginkgoales–lsp*, *helechos* 10 especies, *Equisetales* 1 especie.

Estos fósiles pertenecen al Jurásico Medio (Patricia Velasco 2012), en la figura 4.31 se observa una lutita carbonosa con impresiones de hojas pertenecientes al Grupo Tecocoyunca del Jurásico Medio.



Figura 4.31. Fotografía que muestra una lutita carbonosa con impresiones de hojas de Bennettiales, ubicado en la localidad de La Barranca.

4.5. LITOFACIES

Miall (1977) propone 15 facies estándar características de los depósitos fluviales, establece un principio genético para cada uno de los tipos de facies, utiliza un código de letras para nombrarlas, las letras mayúsculas corresponden al tamaño predominante (G=gravas, S=arenas y F=finos) y las minúsculas representan la textura o estructura sedimentaria predominante de cada litofacies.

En la figura 4.32 se muestra las 15 facies de Miall para depósitos fluviales (1977)

Código de facies	Litofacies	Estructuras sedimentarias
Gms	Gravas masivas con textura no granosostenida.	Ninguna
Gm	Gravas masivas o algo estratificadas.	Estratificación horizontal, imbricación.
Gt	Gravas estratificadas.	Estratificación cruzada.
Gp	Gravas estratificadas.	Estratificación cruzada planar.
St	Areniscas, a veces con cantos.	Estratificación cruzada.
Sp	Areniscas, a veces con cantos.	Estratificación cruzada planar.
Sr	Areniscas.	Ripples de diversos tamaños.
Sh	Areniscas.	Laminación horizontal.
Se	Niveles erosivos con cantos de cuarzo.	A veces estratificación cruzada poco marcada.
Ss	Arenisca, a veces con cantos.	Estratificación cruzada, sensiblemente paralela a nivel basal erosivo.
Fl	Limos, arcillas.	Laminación paralela o ripples.
Fm	Limos, arcillas.	Masivos.
Fr	Limos, arcillas.	Raíces y restos vegetales.
P	Carbonatos.	Caracteres edáficos.
B	Limos, arcillas a veces areniscas.	Bioturbación.

Figura 4.32. Facies de Miall (1977) para depósitos fluviales.

La acción de los ríos tiene como resultado la acumulación de material, en distintos ambientes tales como, fluviales estacional, planicies de inundación y abanicos fluviales.

Según Arche (1992), los depósitos aluviales entrelazados se acumulan en tres ambientes principales: ríos entrelazados, abanicos aluviales y llanuras aluviales. De acuerdo en el modelo de Miall (1985), el desarrollo de los depósitos de la zona de estudio se encuentra dentro de los sistemas de ríos meándrico, con modelos de depósito tipo Donjek dominado por facies St, Sr, Sh, Fl, y Fr para la primera parte de la columna y para la segunda parte se tienen el modelo de depósito tipo Scott dominado por facies Gm. (1978). Ver Figura 4.33.

En la columna estratigráfica se tienen facies Gm, St, Sr, Sh, Fl, y Fr, de 0 a 200 m donde predominan las facies de gravas y arenas y de 200 a 290 m predominan facies de arenas a finos y para el final de la columna predominan las gravas y arenas.

La interpretación genética de las unidades se basa en el principio del uniformitarismo y consiste en deducir, a partir de los procesos sedimentarios actuales, las condiciones sedimentarias del área estudiada, desde el inicio del depósito de los materiales más antiguos, hasta los más jóvenes.

Las condiciones sedimentarias del área estudiada que prevalecieron implican un clima subtropical húmedo con lluvias con gran intensidad y eventos de depósito de baja intensidad, formando planicies y llanuras de inundación. Los procesos sedimentarios actuales son fluviales con aporte de sedimentos finos a gruesos depositados en los márgenes de los ríos y planicies de inundación pero la topografía cambia totalmente en la actualidad por el tectonismo que sufrió la zona provocado por la orogenia Laramide.

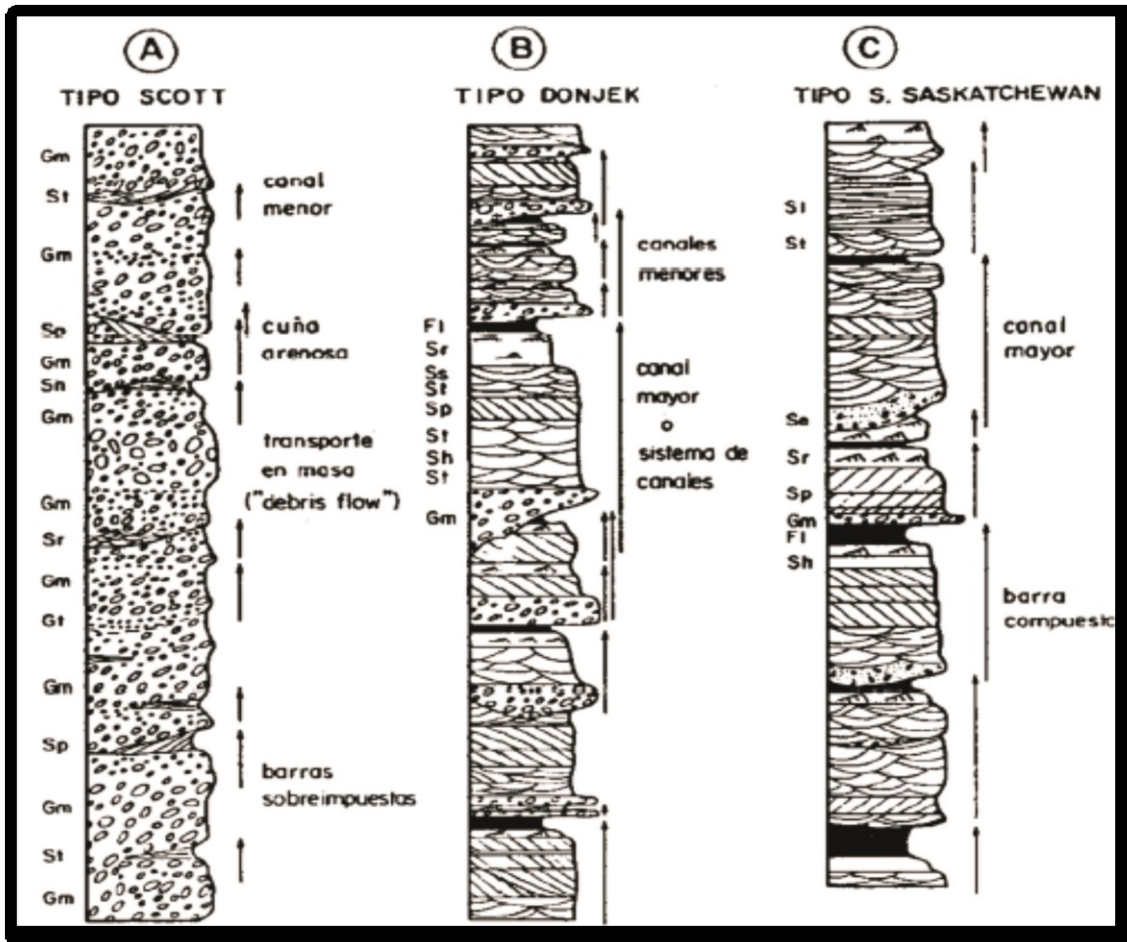


Figura 4.33. Columnas estratigráficas TIPO de los diferentes sistemas fluviales (tomando de Arche, 1992).

Las principales características litológicas de las litofacies que se presentan en la zona se muestran en las figuras siguientes, en la figura 4.34 en donde se observa un conglomerado de cuarzo afectado por una falla de desplazamiento, en la figura 4.35 se ve el flanco de un anticlinal que afecta a la columna local, en la figura 4.36 la estratificación horizontal de una arenisca, en la figura 4.37 se ven los clastos de cuarzo en un conglomerado, en la figura 4.38 se observa la estratificación de areniscas con lutitas, en la figura 4.39 se observa un horizonte de carbón entre estratos de areniscas, en la figura 4.40 se observa una cuarzoarenita de grano medio, en la figura 4.41 se observa un estrato grueso de una arenisca de grano fino.



Figura 4.34. Muestra Q. El tamaño de grano es de 4 cm a 2 mm, con forma sub angulosos, con cuarzo en un 90%. Se ubica en el arroyo Papala.



Figura 4.35. Muestra HM-7. El tamaño de la partícula es de arenas gruesas y guijarros, son sub redondeados, es de mala clasificación con un 90% de cuarzo y con una matriz menor a 15%. Se ubica en la localidad de La Carretera (CCC).



Figura 4.36. Muestra HM-8. Es de color gris a café de arena muy fina, la matriz es mayor a 15%. Se ubica en la localidad de La Carretera (CCC).



Figura 4.37. Muestra HM-9. Es de color café con blanco, el tamaño de los clastos es de cantos rodados hasta arenas gruesas, los clastos son sub angulosos y está mal consolidada. Se ubica en la localidad de La Carretera (CCC).



Figura 4.38. Muestra HM-10. Es de color gris claro, el tamaño de la partícula es de gránulos hasta arenas finas, los clastos son subredondeados, está bien clasificada. Se ubica en la base del cerro Tecocoyoco.



Figura 4.39. Muestra HM-10-1. Es de color negro se disgrega con facilidad. Se ubica en la localidad de Tres caminos.



Figura 4.40. Muestra HM-11. Tamaño de grano de arena media, empaque cerrado, cuarzo 80% matriz menor al 15%. Se ubica en el arroyo al norte de Tres Caminos.



Figura 4.41. Muestra MHA-6. Tamaño de grano de arenas finas, con matriz menor a 15%. Se ubica al norte de Cuescomapa.

4.6. BIOFACIES

Las biofacies de una unidad estratigráfica que corresponde al conjunto de condiciones que caracterizan al ambiente de depósito en el momento de la sedimentación. El ambiente de depósito, para los fósiles encontrados en la zona es variado desde fluvial estacional con climas subtropicales húmedos a tropicales, hasta de planicies de inundación y abanicos fluviales.

Las Facies donde se presentan las Biofacies son de la tipo Fl, Sh y Fr, a partir del nivel 207 m, como se observa en la columna estratigráfica en la figura 4.3.

Las tres localidades estudiadas presentan biofacies diferentes que evidencian cambios en el ambiente. Las localidades de esta formación comparten las especies de *Cycadeoidales*; *Otozamites hespera* y *Williamsonia Netzahualcoyotlii* (consideradas como abundantes y de amplia distribución), *Williamsonia sp*, *Zamites lucerenis Wieland* y la conífera *Pelourdea sp*:

- 1) CCTC. Con ocho especies: Predominan la arenisca gruesa, nódulos de hierro y estratificación cruzada lo que permite proponer un ambiente fluvial estacional, esta localidad se caracteriza por el género *Brachyphyllum*, el cual es considerado termófilo y relacionado con climas subtropicales húmedos en Europa y Asia (Vakhrameev, 1987) o cálidos Van Konijnenburg-Van Citter (2008) *Otozamites hesperapudo* se caracteriza por haber sido una planta adaptada a un amplio rango de ambiente.
- 2) CCB. Con diez especies: Se caracteriza por presentar estratos de lutita carbonosa intercalados con carbón bituminoso de espesor de hasta 7 m, en donde se colectó *Ptilophyllum acutifolium* Morris y *Zamites Oaxacensis Wieland* ambas son especies comunes. Las especies características de esta unidad son *Baiera sp* y *Zamites diquiyui, Wieland* (rara).
- 3) CCC. Con catorce especies: Se sitúa a los 246 m, y presenta mayor diversidad (14 especies); los estratos de esta localidad corresponden a arenisca de grano fino intercalados con lutita. Son características de esta localidad ocho especies, seis del género *Otozamites*, dos de *Pterophyllum* y una *Pelourdea Seward*; Ahs en su trabajo sobre *P. poleonsis* (1978), propone que era una planta pequeña, probablemente herbácea que vivió cerca a planicies de inundación y que sus tallos quedaron in situ. En esta localidad, la diversidad es mayor y la abundancia disminuye, siete especies son raras la energía en el ambiente fue de baja intensidad, el depósito ocurrió en abanicos fluviales en cuyo entorno y época de máxima precipitación se formaron llanuras de inundación, con variaciones locales por topografía

4.7. AMBIENTE SEDIMENTARIO

Es el objetivo final, y muchas veces ideal. Una vez cubiertos los otros objetivos, se pueden llegar a conocer la geología y la génesis de los procesos sedimentarios de una cuenca de depósito, la localización espacial y temporal de las distintas unidades estratigráficas y las relaciones entre ellas. Este conocimiento es la base de la Geología Histórica.

Los sistemas Paleozoicos mexicanos han sido mencionados como el producto final de una colisión entre Laurentia, Báltica y Gondwana originando el súper continente 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 orogénia. Sobreyaciendo a estos sistemas Paleozoicos se encuentran las secuencias sedimentarias del Paleozoico Tardío (Flores de Dios et al., 2002); (Talavera-Mendoza et al., 2005) sobreyaciendo a estas secuencias Paleozoicas se encuentran las rocas volcánicas y sedimentarias del Mesozoico y Cenozoico.

Los canales en los sistemas meándrico son rellenados con arena y grava, formando depósitos lenticulares, limitados por depósitos areno-arcillosos. Por otra parte en las planicies de inundación, los depósitos característicos los constituyen materiales limo-arcillosos laminados, incluyendo depósitos finos de pantanos con alto contenido de materia orgánica (Smith 1980). Las cuencas de graben son los sitios que mejor mantienen estas condiciones (Nadon 1994).

El estudio de las facies, la litología, las estructuras sedimentarias, el contenido fósil y las discontinuidades nos aportan información para identificar el ambiente sedimentario de la zona de estudio el cual pertenece a un ambiente sedimentario continental con depósitos fluviales tipo meándrico, con llanuras de inundación, y abanicos aluviales y depósitos de talud (material grueso tipo conglomerado). En la litología de la columna se encuentran cuarzoarenitas, ortoconglomerados de cuarzo y con menor cantidad de grauvacas y arcosas con horizontes de lutitas carbonosas y carbón, los clastos de la columna son sub angulosos a sub redondeados dominados por cuarzo dando un aspecto de madurez textural media.

El conglomerado localizado cerca del poblado de Cualac es de tipo ortoconglomerado de cuarzo y se encuentra silicificado (roca dura), esto es probablemente por la cercanía de la zona de origen de sus componentes, este conglomerado no presenta interestratificación de lutitas con carbón y areniscas. En la figura 4.42 se muestra la representación diagramática de un relleno de cuenca, la cual pertenece a la zona de estudio.

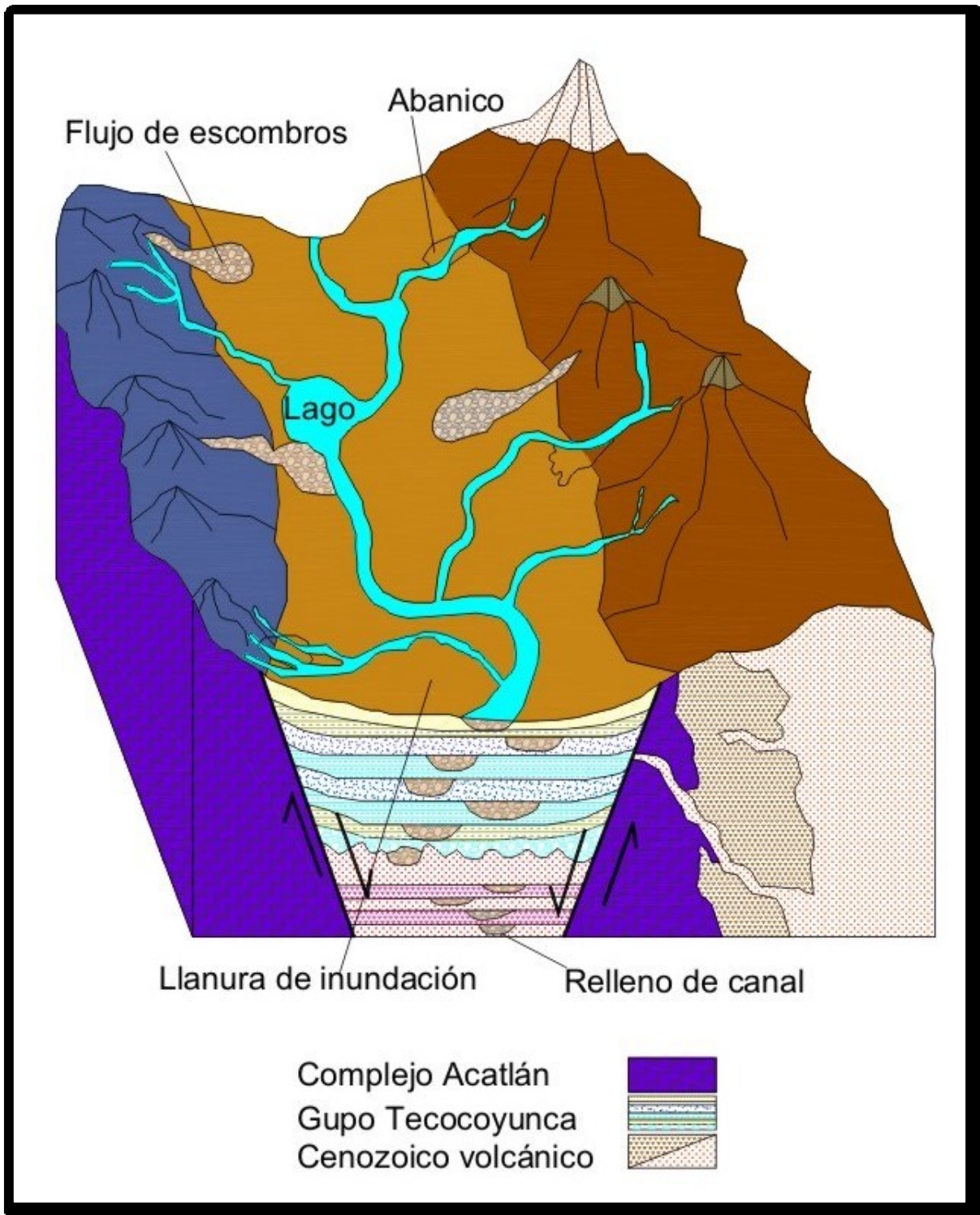


Figura 4.42. Modelo de reconstrucción paleoambiental del Jurásico-Medio-Inferior en los alrededores del poblado Tres Caminos. Al noreste del estado de Guerrero.

EVOLUCIÓN GEOLÓGICA

CAPÍTULO 5

5.1. GENERALIDADES

La región ha sido interpretada como un mosaico de Terrenos Tectonoestratigráficos, que fueron acrecionados en diferentes episodios de la evolución tectónica. La zona de estudio pertenece al terreno Tectonoestratigráfico Mixteco. El límite entre el Terreno Oaxaca y el Terreno Mixteco ha sido interpretado como tectónico (Ortega, 1981). Al suroeste del Terreno Mixteco se encuentra en contacto con el Complejo Xolapa, este Complejo por sus características lo identifican como la raíz montañosa de un antiguo arco magmático (Halpern et. al., 1974).

Las rocas más antiguas del estado de Guerrero pertenecen a la era Precámbrica de tipo metamórficas con una edad aproximada de más de 600 millones de años, esta era se ve representada al sureste de Guerrero ocupando el 16.28%.

La Era del Paleozoico (375 millones de años), cubre 1.18% de la superficie estatal, sus rocas son de origen metamórfico e ígnea intrusiva, se localizan al noreste del estado cerca del límite estatal con Puebla.

La Era del Mesozoico cubre la mayor parte del estado; de sus periodos el más extenso es el Cretácico (135 millones de años aproximadamente) con 31.1%, le sigue el Jurásico (180 millones de años) con 9.77%, el Triásico (225 millones de años) con 0.90% y el Triásico-Jurásico (200 millones de años) con 0.30%; las principales rocas de estos periodos son de origen sedimentario (21.73%), ubicados al centro y norte del estado, metamórficos (11.27%) al centro y sur e ígneas intrusivas (7.86%), extrusivas (1.21%) al oeste-suroeste.

El principal desarrollo geográfico de la Era Mesozoica fue la fragmentación de Pangea, un proceso de rifting que comenzó en la región de Tetis, siguiendo la vieja sutura hercínica. El Tetis avanzó formando un estrecho y profundo brazo oceánico que separó Europa de África. El rift se propagó hacia el norte y finalmente hacia el sur comenzando a separar Sudamérica y África. Finalmente Pangea dio lugar al supercontinente septentrional de Laurasia y al supercontinente meridional de Gondwana; el Golfo de México se abrió en el nuevo rift entre Norteamérica y lo que ahora es la península de Yucatán de México. En la figura 5.1 se observa la distribución de los continentes durante Jurásico Temprano.

La era Cenozoico queda representado en mayor proporción al noroeste, con rocas ígneas extrusivas, y hacia el noreste con rocas sedimentarias; los suelos del periodo Cuaternario, se ubican a lo largo de la costa central de la entidad; cabe señalar que los suelos de este periodo como las rocas ígneas del anterior son los más jóvenes y pertenecen a la era del Cenozoico (aproximadamente 63 millones de años) con 40.47% de ocupación territorial.

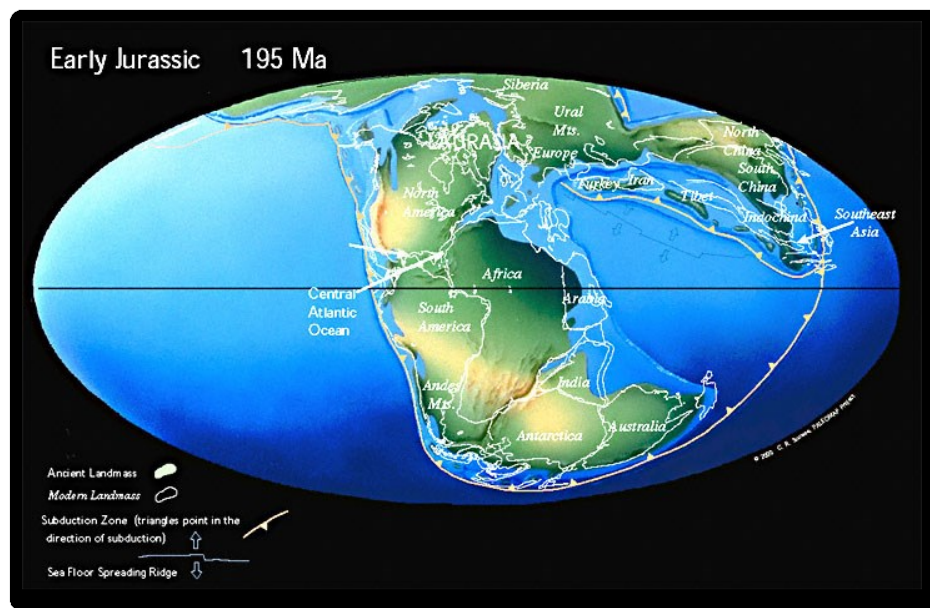


Figura 5.1. Distribución de los continentes durante el Jurásico Temprano.

5.2 PALEOZOICO

El Complejo Acatlán de acuerdo a Ortega-Gutiérrez (1981), refleja la evolución de una margen continental tipo Atlántico, la cual estuvo limitada por un océano pre-Atlántico de edad Cámbrico-Ordovícico, estas pertenecientes al ciclo orogénico de Wilson; la actividad tectónica de este tiempo provocó el engrosamiento de la corteza y diferentes grados de metamorfismo, asociadas al cierre de una cuenca oceánica. Según Guzmán (1950), Pertenece al Paleozoico mientras que otros como Ordoñez y Shmitter (1957-1960) y Frías (1962) lo atribuyen al Precámbrico. Frías lo atribuye a los procesos orogénicos del Precámbrico Tardío. Consiste en varios tipos de gneises (con biotita y sillimanita, graníticos y dioríticos), los colores van de casi blanco a gris oscuro.

Según Cserna et al., (1980) el complejo Acatlán de edad Cámbrico-Ordovícico fue metamorfoseado por última vez en el Devónico. Posteriormente en el Misisípico y Pensilvánico la región se levantó y se erosionó exponiendo niveles que según la petrología de las rocas se formaron a unos 20 km bajo la superficie. Su litología pre-metamórfica corresponde a sedimentos de tipo sinclinal.

5.3. MESOZOICO

Los depósitos marinos dieron origen a La Formación Los Arcos, que se ubica a 2.5 km, al SE de Olinalá; es una secuencia clástica con calizas grises que presentan amonitas del Pérmico, limitado por el complejo Acatlán como base y la ignimbrita las Lluvias como cima, esto según Corona-Esquivel (1981).

La litología comprende de un paquete de más de 600 m de espesor dividido en 7 unidades que reflejan ambientes de depósito diferentes y que permitieron el depósito de sedimentos detríticos y calcáreos, según Corona-Esquivel (1985).

El levantamiento epirogénico y el vulcanismo formó La ignimbrita Las Lluvias corresponde al Triásico según Corona-Esquivel (1981), es de composición acida que cubre en discordancia a la formación Los Arcos y que está cubierta a su vez por el Conglomerado Cualac del Jurásico Medio-Inferior.

Durante el Triásico Tardío - Jurásico Temprano tuvo lugar el desarrollo de un vulcanismo félsico continental en México.

Las transgresiones marinas del Jurásico Inferior-Medio permitió la formación del Conglomerado Cualac y Grupo Tecocoyunca. El espesor del conglomerado Cualac se podría explicar relacionándolo con la acumulación de los sedimentos en una cuenca en hundimiento durante largo tiempo, a la cual llegaban ríos torrenciales que transportaron gran cantidad de guijarros pero además los escasos depósitos de arenas o depósitos más finos sugieren la presencia de corrientes marinas u oleaje de alta energía, que impidieron el depósito de tales sedimentos finos, según Corona-Esquivel (1981).

En el Jurásico Medio-Inferior el Grupo Tecocoyunca se forma en un ambiente tectónico epicontinental, el cual probablemente se prolongó durante el Cretácico Temprano. A Principios del Cretácico la Transgresión de los mares del Thethys el cual era un océano de la era Mesozoica que existió entre los continentes de Gondwana y Laurasia, La mayor invasión de los mares del Thethys fue en el Albiano - Cenomaniano.

A finales del Cretácico la región estaba emergida, y la Orogenia Hidalguense (Laramide), produjo erosión, fracturamiento y vulcanismo andesítico. La Orogenia Laramide fue un proceso de formación de montañas (orogénesis) que se produjo en el oeste de Norteamérica y que comenzó en el Cretácico Superior hace unos 70 a 80 millones de años atrás y terminó hace 20 a 55 millones de años, afectando a la secuencial del Paleozoico-Mesozoico. (Complejo Acatlán. y Formación Balsas). Esta deformación se manifiesta como plegamiento y cabalgamiento en la corteza superior con dirección de transporte predominante hacia el este-noreste, así como desplazamientos transcurrentes asociados.

La Orogenia Laramide, fue ocasionada por el choque y subducción de la placa Farallón por debajo de la placa Norteamericana; esta subducción aunada a un aumento de la velocidad con la que se movían las placas y a un bajo ángulo de subducción en la placa Farallón; crea diferentes episodios compresionales dando origen a distintas deformaciones y fallamientos inversos que afectaron a unidades pre-Cenozoicas.

5.4. CENOZOICO

La Era Cenozoica, Cenozoico o Era Terciaria, se inició hace unos $65,5 \pm 0,3$ millones de años y se extiende hasta la actualidad, geológicamente, el Cenozoico es la época en que los continentes se trasladaron a sus posiciones actuales. A principios del Cenozoico, la zona de estudio se encontraba emergida y sujeta a un rápido proceso de erosión y fracturamiento. La formación Balsas representa estos depósitos post-orogénico que se acumularon en espesores muy variables durante el Cenozoico Temprano, cubriendo discordantemente a las secuencias clásticas y vulcanosedimentarias.

Posteriormente, las últimas etapas del tectonismo causaron el fracturamiento y alabeo de grandes bloques de la Formación Balsas, que fue seguido por actividad volcánica andesítica, denominado vulcanismo del Cenozoico. En la figura 5.2, se distinguen los rasgos tectónicos principales.

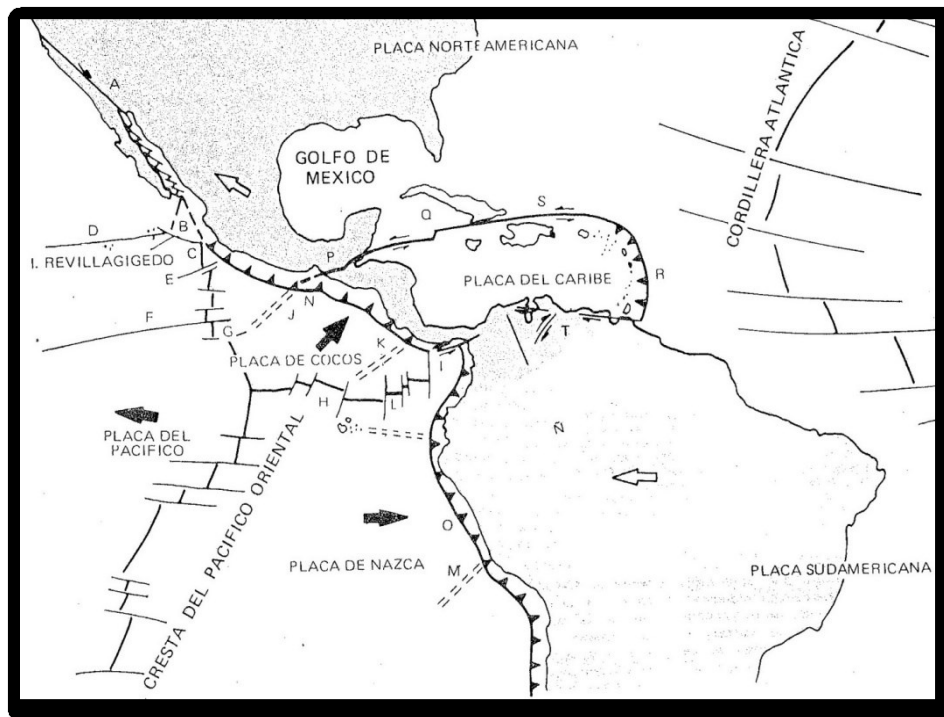


Figura 5.2. Rasgos tectónicos (tomada de Demant, 1978).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO 6

6.1. CONCLUSIONES

- La columna estratigráfica local de la zona de estudio, está constituida por rocas del Paleozoico (Complejo Acatlán); del Jurásico Medio (Grupo Tecocoyunca) y rocas volcánicas del Cenozoico.
- El Grupo Tecocoyunca se depositó en un ambiente fluvial-continental de ríos entrelazados, según lo indican la litología, las diferentes estructuras sedimentarias (rellenos de canal, gradación, estratificación cruzada, estratos irregulares, etc.) y la presencia de fósiles continentales.
- Por el contenido fósil encontrado, se interpreta un ambiente cálido y húmedo, por la presencia de carbón y por el contenido fósil compuesto de *Brachyphyllum* (ramas); el cual representa temperaturas termófilas en localidades de Europa. Además se determinaron fósiles de *Bennettitales*, *Zamites Oaxacensis*, *Otozamites lucerensis*, *Williamsonia Tlazoltéotl Wieland*.
- El Grupo Tecocoyunca representa la acumulación de un sistema fluvial de acuerdo en el modelo de Miall (1985), el desarrollo de los depósitos de la zona de estudio se encuentra dentro de los sistemas de ríos meándrico, con modelos de depósito tipo Donjek dominado por facies St, Sr, Sh, Fl, y Fr para la primera parte de la columna y para la segunda parte se tienen el modelo de depósito tipo Scott dominado por facies Gm. Las secuencias finas pertenecen a depósitos de llanuras de inundación y lagos formados por obstrucciones ocasionadas por flujos de escombros lo que originó lagos de reducidas dimensiones, en los que se acumuló abundante materia orgánica, que posteriormente dieron lugar a delgados horizontes de carbón.
- El contacto inferior del Grupo Tecocoyunca, es discordante con el Complejo Acatlán.
- La fuente principal de los sedimentos que conforman el Grupo Tecocoyunca proviene de las rocas del Complejo Acatlán y en menor proporción de rocas volcánicas, como lo muestra el estudio petrográfico en las láminas delgadas, en la que se pudo observar que dominan los clastos de cuarzo metamórfico, con cantidades variables de feldespatos, cuarzo de origen ígneo.

- La edad del Grupo Tecocoyunca, que se propone tomado en consideración su posición estratigráfica y el gran contenido de plantas fósiles, corresponde al Jurásico Medio.
- El Conglomerado Cualac no aflora en la zona donde se midió la columna estratigráfica local, ya que el conglomerado medido no presenta las características petrográficas, estratigráficas y litológicas del Conglomerado Cualac.

6.2. RECOMENDACIONES

- Analizar fotografías aéreas, realizar trabajo de campo y elaborar un mapa geológico en el entorno de la zona de estudio, extendiéndose para conocer la extensión total del Grupo Tecocoyunca.
- Realizar búsqueda de material fosilífero en otras localidades en la misma zona, lo que proporcionará una edad más precisa.
- Realizar un estudio económico de las concreciones de óxido de hierro y de carbón, para ver su potencial y su posible explotación.
- Realizar un estudio geohidrológico del Grupo Tecocoyunca, ya que es la unidad que puede contener los acuíferos más importantes de la región.
- Medir más columnas estratigráficas de la región para correlacionar y complementar la información.

APÉNDICE

FIGURA	DESCRIPCIÓN
1.1.	Estratificación de lutitas y areniscas donde se encontraron fósiles de plantas. Ubicada en el río Papala, aproximadamente a 1.5 Km al oeste de Tres Caminos.
1.2.	Estratificación cruzada. Ubicada al oeste de Tres Caminos.
1.3.	Ubicación en el Estado de Guerrero y vías de comunicación en la zona de estudio.
1.4.	Ubicación de la zona de estudio al sureste de la carta topográfica de Ahuacotzingo, con clave E-14D21.
1.5.	Provincias fisiográficas de Sierras y Valles de Guerrero, se localizan en la parte central del estado. La zona de estudio se ubica al noreste.
1.6.	Panorámica de la zona de estudio, donde se muestra en la parte alta del cerro un bloque de conglomerados y al fondo material ígneo. Esta zona se localiza en la parte noroeste del poblado de Ayotzinapa, Guerrero.
1.7.	Región hidrológica Balsas.
1.8.	Arroyo Papala.
2.1.	Columna estratigráfica regional (Modificada de Corona Esquivel, de la Carta Geológica Minera, Chilpancingo E14-8, Jiménez Rentería, Luis Antonio Flores de Dios y Blanca Estela Buitron).
2.2.	Esquisto Pelítico del Complejo Acatlán, aflorando en un arroyo al oeste del cerro Tecocoyoco, al noreste del poblado Tres Caminos.

2.3.	La zona de estudio se encuentra ubicada al sur de la localidad tipo (Puebla) del Complejo Acatlán (modificado de Sánchez-Zavala, 2005).
2.4.	En la esquina superior derecha se muestran las rocas metasedimentarias y en la parte central de la fotografía el esquistos del Complejo Acatlán.
2.5.	Afloramiento de lutitas con fósiles ubicado en poblado de Olinalá, perteneciente a la formación Olinalá marino.
2.6.	Afloramiento de caliza arrecifal tipo wackestone ubicado en poblado de Olinalá, perteneciente a la formación Olinalá marino.
2.7.	Afloramiento de dolomita ubicado en poblado de Olinalá perteneciente a la formación Olinalá marino.
2.8.	Conglomerado de fragmentos de cuarzo, ubicado al sureste de Cualac, Guerrero.
2.9.	Toma de datos en conglomerado de fragmentos de cuarzo, ubicado al sureste de Cualac, Guerrero.
2.10.	Afloramiento ubicado en la localidad de La Barranca, perteneciente a la Formación Tecocoyunca.
2.11.	Afloramiento ubicado en los alrededores de Olinalá, perteneciente a la Ignimbrita Las Lluvias.
2.12.	Contacto entre material rojo (toba del Cenozoico) parte superior y metamórfico (Complejo Acatlán del Paleozoico) parte inferior, ubicado al oeste del poblado de Cualac, Guerrero.
2.13.	Riolita ubicada al noreste del poblado de Cualac, Guerrero se correlaciona con el volcanismo Cenozoico del área de estudio

3.1.	Representación del Jurásico Medio en México. A. Secuencias estratigráficas del Jurásico que cubren a los Complejos Acatlán y Oaxaqueño en el sur de México. B. Reconstrucción paleogeográfica modificada de Centeno-García y Keppie (1999).
3.2.	Planos de foliación con rumbos de NE a NW y su inclinación es de 31° y 72°.
3.3.	Complejo metamórfico (esquisto) con foliación de rumbo NE 28° con 31° de inclinación se encuentra en contacto con la secuencia clástica (areniscas y lutitas) con una inclinación sub-vertical, aflorando en un drenaje al noreste del poblado Tres Caminos.
3.4.	Planos de foliación de la secuencia clástica, provocando por metamorfismo dinámico.
3.5.	Estratificación de meta areniscas de grano fino, en la que se pueden distinguir sus rasgos originales, este afloramiento se ubica al oeste del poblado Tres Caminos.
3.6.	Estratificación de rocas sedimentarias de grano medio (arenisca) y fino (lutita con horizontes de carbón), ubicada en las márgenes del Río Papala, en las proximidades de Tres Caminos.
3.7.	Proyección de los planos de estratificación con sus respectivos polos (izquierda) y la densidad de los polos (derecha).
3.8.	Estratificación de rocas sedimentarias del Grupo Tecocoyunca en contacto con las rocas metamórficas del Complejo Acatlán, ubicada en las márgenes del Río Papala.
3.9.	Planos de estratificación con sus polos. Su inclinación varía de 39° a 30°, con un rumbo preferencial hacia el NW.
3.10.	Estratificación en areniscas silicificadas con vetas de cuarzo, ubicada al NE de Cuescomapa con rumbo de SW 77° y un echado de 39° al NW, las vetas son paralelas a la estratificación.

3.11.	Conglomerado con rumbo de 20° al NE y echado de 16° al SE, ubicado al NW de Ayotzinapa, Guerrero.
3.12.	Planos de estratificación con polos a la izquierda y concentración de polos a la derecha.
3.13.	Conglomerado con un rumbo de 75° al SW y un echado de 53° al NW, ubicado al este del poblado de Cualac.
3.14.	Intrusivo riolítico en contacto con roca sedimentaria que sufrió un metamorfismo de contacto; la imagen se muestra el contacto del intrusivo con la secuencia clástica, este afloramiento se encuentra al SW del poblado Tres Caminos.
3.15.	Proyección estereográfica de las fallas de la zona norte.
3.16.	Falla lateral derecha con estrías horizontales en arenisca, ubicada al oeste del cerro Cuatepec.
3.17.	Falla inversa en un conglomerado, ubicado en el cerro Cuescomapa.
3.18.	Flancos: 240°/34° y 60°/21° de un pliegue en lutitas, ubicado al norte de Tres Caminos.
3.19.	Flancos: 280°/29° y 05°/65° de micropliegues formados en una roca metamórfica, ubicada al norte de Tres Caminos.
3.20.	Proyección estereográfica de las fallas de la zona sur.
3.21.	Falla lateral derecha en un conglomerado, ubicado sobre el río Papala al SW de Tres Caminos.
3.22.	Anticlinal donde se muestra el contacto del Conglomerado Cualac (parte inferior) y el Grupo Tecocoyunca (parte superior).
3.23.	Flanco con dirección SW 70° y con inclinación de 27° al NW.

3.24.	Estrías de falla lateral derecha, con dirección NW 24° con 74° de inclinación, ubicada en la parte frontal del anticlinal sobre el Conglomerado Cualac.
3.25.	Localidad Tres Caminos, afectada por anticlinales y sinclinales de la orogenia Laramide.
3.26.	Localidad La Carretera, afectada por una falla lateral derecha.
3.27.	Flanco aguas arriba de la localidad La Barranca.
3.28.	Mapa geológico de la zona de estudio.
3.29.	Sección geológica de la zona de estudio.
4.1.	Columna estratigráfica del Jurásico medio del Terreno Mixteco. Tomado de la Carta Geológica Minera de Chilpancingo E14-8.
4.2.	Columna estratigráfica del Jurásico Medio-Inferior. Tomado de Jiménez Rentarías y Rueda-Gaxiola (2002).
4.3.	Columna estratigráfica local de la zona de estudio.
4.4.	Fotografía de estructura formada por pérdida de fluido, formando grietas de desecación con óxido en las grietas. Se ubica en la localidad de Tres Caminos.
4.5.	Fotografía de estructura formada por erosión hidrodinámica de estratos, formando la estructura de paleocanal. Se ubica en la localidad de Tres Caminos a la altura de 150 m de la columna estratigráfica local.
4.6.	Fotografía de estructura diagenéticas, de concreciones de óxido de hierro desarrollado en areniscas. Ubicada en la localidad de Tres Caminos.

4.7.	Fotografía de estructura formada por moldeado hidrodinámico de estratos, por gravedad de estratificación con gradación normal. Ubicada en la localidad de Tres Caminos.
4.8.	Fotografía de estructura de carga de arenisca sobre lutitas. Se ubica en la base del cerro Tecocoyoco.
4.9.	Afloramiento ubicado en el río Papala al oeste de Tres Caminos, mostrando la secuencia de las unidades.
4.10.	Muestra HM-5. Granitoide de cuarzo, triángulo de la clasificación de las rocas ígneas plutónicas de Streckeisen (1974).
4.11.	Muestra HM-1. A 25x de aumento. Presenta cuarzo en 90% con vetillas de cuarzo, la matriz es menor a 15% y los clastos son subangulosos. Se ubica en la cañada Chichimantla.
4.12.	Muestra HM-2. A 25x de aumento. La matriz es mayor a 15% los clastos son subangulosos, presenta cuarzo 70% y feldespatos 30%. Se ubica en la localidad de La Carretera (CCC).
4.13.	Muestra HM-3. Presenta cuarzo 80%, feldespatos 10% y micas 10%, la matriz es menor a 15% algunos cuarzos presentan extinción ondulante. Se ubica en la localidad de La Carretera (CCC).
4.14.	Muestra HM-4. Presenta cuarzo 80%, feldespato 15% y micas 15%, la matriz es menor a 15%. Se ubica en la localidad de La Carretera (CCC).
4.15.	Muestra HM-5. Con un aumento de 25x. Presenta cuarzo 20%, plagioclasas 40%, feldespato 20% y micas 20%. Se ubica en la localidad de La Carretera (CCC).
4.16.	Muestra HM-6. Presenta cuarzo 80% con matriz menor a 15%, los clastos tienen una forma sub redondeada. Se ubica en la localidad de La Carretera (CCC).

4.17.	Muestra HM-7. Presenta cuarzo policristalino, monocristalino y microcristalino y fragmentos de esquisto (color ocre), tomada a 5x de aumento, presenta muscovita.
4.18.	Muestra HM-8. Presenta 95% de cuarzo y 5% de feldespatos, fotografía tomada a 10x de aumento con Nx.
4.19.	Muestra HM-9. Tomada con aumento de 10x., presenta cuarzo con extinción ondulante y un grado de metamorfismo.
4.20.	Muestra HM-10. Presenta feldespato 20% y cuarzo 80% policristalino y microcristalino, en algunas zonas se observan micas alteradas de color marrón y presenta zircones en muy poca proporción. El feldespato presenta maclas polisintéticas. Foto tomada a 5x y NX.
4.21.	Muestra HM-11 tomada con aumento de 10x. Se observa matriz de cuarzo criptocristalino, con vetillas de cuarzo, presenta cuarzo 40%, feldespato en 10% y fragmentos de roca en 50%, en el centro de la fotografía se observa un zircón.
4.22.	Muestra HM-12 (Complejo Acatlán). Esta roca está constituida por cristales con un tamaño de grano tan pequeño que hacen difícil su identificación, presenta una estructura foliada, con bandeamiento de color marrón, de gris a blanco y algunas intercalaciones de óxido de hierro, la mayor parte está compuesta por cuarzo muy fino. Presenta propiedades anisotrópicas con textura lepidoblastica, en algunas zonas se observa cuarzo microcristalino y vetas de cuarzo. Se nombró Filita. Foto tomada a 5x con Nx.
4.23.	Muestra MHA-1. Presenta cuarzo policristalino en 90% y 10% de feldespato, en algunas secciones se presenta el cuarzo fragmentado producto del metamorfismo y en menor cantidad fragmentos de esquisto. Foto tomada a 5x y en Nx. Los bordes del cuarzo en algunas partes se presentan en forma onduladas.
4.24.	Muestra MHA-10 (Conglomerado Cualac). Presenta un 80% de cuarzo abundando más el policristalino y monocristalino, en menor proporción el microcristalino, algunos son bordes irregulares y otros bien definidos, 10% de feldespatos y 10% de fragmento de roca como esquistos, micas, anfíbol. Presenta feldespatos con maclas de tipo enrejado.

4.25.	Muestra 8-AH (Poblado Chiepetepec). Presenta un porcentaje de 15% de cuarzo, 15% de feldespato alcalino y 70% de plagioclasas, los cristales con colores pleocroicos son de anfíboles tipo hornblenda, también se observan cristales de piroxeno color pardo. Está formada en parte por microcristales de plagioclasa, presenta textura porfídica y fábrica inequigranular. Contiene plagioclasa con maclas polisintéticas. De acuerdo a sus porcentajes recibe el nombre de andesita.
4.26.	Muestra MH-10-1. (Carbón) no presenta propiedades ópticas.
4.27.	Tipo de rocas que se identificaron en el área de estudio, las primeras 14 muestras se encuentran en la columna estratigráfica local.
4.28.	Fotografía de la Barranca (localidad CCB) ubicada al oeste del poblado Tres Caminos.
4.29.	Listado donde se muestra las especies en las distintas localidades de la zona.
4.30.	Fotografía que muestra la impresión de una corteza de tronco en una arenisca, ubicado en La Barranca al NW del río Papala, localidad (CCB).
4.31.	Fotografía que muestra una lutita carbonosa con impresiones de hojas, ubicado en la localidad de La Barranca.
4.32.	Facies de Miall (1977) para depósitos fluviales.
4.33.	Columnas estratigráficas de los diferentes sistemas fluviales (tomando de Arche, 1992).
4.34.	Muestra Q. El tamaño de grano es de 4 cm a 2 mm, con forma sub angulosos, con cuarzo en un 90%. Se ubica en el arroyo Papala.
4.35.	Muestra HM-7. El tamaño de la partícula es de arenas gruesas y guijarros, son sub redondeados, es de mala clasificación con un 90% de cuarzo y con una matriz menor a 15%. Se ubica en la localidad de La Carretera (CCC).

4.36.	Muestra HM-8. Es de color gris a café de arena muy fina, la matriz es mayor a 15%. Se ubica en la localidad de La Carretera (CCC).
4.37.	Muestra HM-9. Es de color café con blanco, el tamaño de los clastos es de cantos rodados hasta arenas gruesas, los clastos son sub angulosos y está mal consolidada. Se ubica en la localidad de La Carretera (CCC).
4.38.	Muestra HM-10. Es de color gris claro, el tamaño de la partícula es de gránulos hasta arenas finas, los clastos son sub redondeados, está bien clasificada. Se ubica en la base del cerro Tecocoyoco.
4.39.	Muestra HM-10-1. Es de color negro se disgrega con facilidad. Se ubica en la localidad de La Carretera.
4.40.	Muestra HM-11. Tamaño de grano de arena media, empaque cerrado, cuarzo 80% matriz menor al 15%. Se ubica en el arroyo al norte de Tres Caminos.
4.41.	Muestra MHA-6. Tamaño de grano de arenas finas, con matriz menor a 15%. Se ubica al norte de Cuescomapa.
4.42.	Modelo de reconstrucción paleoambiental del Jurásico-medio-inferior en los alrededores del poblado Tres Caminos. Al noreste del estado de Guerrero.
5.1.	Distribución de los continentes durante el Jurásico temprano.
5.2.	Rasgos tectónicos (tomada de Demant, 1978)

REFERENCIAS

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- A Silva Pineda, S González Gallardo, et al. 1988. "Algunas *Bennettitales* (*Cycadophyta*) y coniferales (*Coniferophyta*) del Jurásico Medio del área de Cualac, Guerrero". Inst. de Geología. Revista, vol. 7, num. 2, p. 244-248.
- Alfredo Santana M. D. Doctor en Ciencias de la Tierra. "Influencia de la Falla de Basamento no Expuesta en la Deformación Cenozoica: la Falla de Caltepec en la Región de Tamazulapam, en el Sur de México", Universidad Nacional Autónoma de México, TESIS. pp. 33-36.
- Arche, A., 1992. "Sedimentología vol. I", Consejo Superior de Investigaciones Científicas Madrid. pp. 103.
- Alencaster, G., 1963, "Pelecípodos del Jurásico Medio del Noroeste de Oaxaca y Noroeste de Guerrero". Paleontología Mexicana, Instituto de Geología, (5), 42 p.
- Carlos, O. Dumbar y John, Rodgers. "Principios de Estratigrafía", Cuarta Edición, 1979. pp. 169,197,241.
- Centeno-García, E., Keppie, D. J., 1999. "Latest Paleozoic-early Mesozoic structures in the central Oaxaca Terrane of southern Mexico: deformation near a triple junction: Tectonophysics". Vol. 301, p. 231-242.
- Einsele, G., 2000. "Sedimentology Basins: Evolution Facies and Sediment Budget". Springer. pp. 792.
- Erben, H.K., 1956., "El Jurásico Medio y el Caloviano de México". En XX Congreso Geológico Internacional, México, D.F., Monografía, 140 p.
- Flores de Dios, A., Buitrón, B.E., 1982. "Revisión y aportes a la estratigrafía de la Montaña de Guerrero" Universidad Autónoma de Guerrero, Serie Técnico Científica, (12), 1-28.
- Fries, Carl, Jr., y Rincón-Orta, Cesar, 1965. "Nuevas aportaciones geocronológicas y técnicas empleadas en el Laboratorio de Geocronología: UNAM". Inst. de Geología, v 73. p 57-133.

- 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.
- Fritz, J. Werre Keeman, Graciela Estrada., 1999. "Monografía Geológica Minera del Estado de Guerrero", 1999. Consejo de Recursos Minerales, pp. 1,9,15,27-32,49-51,70.
- Gilberto Silva Romo, Claudia C. Mendoza., 2011. "Manual para el Trabajo Geológico de Campo", UNAM. FI. pp. 372.
- Inmaculada Corrales Zarauza, Juan Rossell Sanuy, Luis M Sanchez de la Torre., "Estratigrafía", Editorial Rueda, 1977. pp. 47,48,106,189,444-445.
- Jiménez-Rentería, J., Rueda-Gaxiola, 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)"., Tercera Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, Puerto Vallarta, Jalisco, México: GEOS, Unión Geofísica Mexicana, Resúmenes y Programa, p. 166.
- Juan Antonia Vera Torres. "Estratigrafía Principios y Métodos". Editorial Rueda, 1994. pp. 45,51-56,133-154, 178.
- J. Ramírez, Espinoza. "La Acreción de los Terrenos Mixteco y Oaxaca Durante el Cretácico Inferior. Sierra Madre del Sur d México", Universidad Autónoma de Guerrero, 1986. pp. 1-12.
- J. Corona Esquivel, (1981). "La Estratigrafía de la Región de Olinalá-Tecocoyunca; al Noreste del Estado de Guerrero". Inst. Geología Revista. vol. 5, núm. 1, pp. 17-24.
- López Ramos, E., 1983. "Geología de México". Tomo III. 3^{era} Edición. pp. 72-106.
- Mackenzie, W. S. y Adams, A.E., 1977. "Atlas en color de rocas y minerales en lámina delgada". MASSON S.A. 1994. pp. 215.
- Mackenzie, W. S. y Guilford, C., 1996. "Atlas de Petrografía, Minerales formadores de Roca en lámina delgada". MASSON S.A. 1996. pp. 98.

- Mackenzie, W. S. Donaldson, C.H. y Guilford, C., 1996. "Atlas de Rocas Ígneas y sus Texturas". MASSON S.A. 1996. pp. 149.
- Mackenzie, W. S. y Guilford, C. Yardley, B.W.D., 1996. "Atlas de Rocas Metamórficas y sus Texturas". MASSON S.A. 1997. pp. 120.
- Mackenzie, W. S. y Guilford, C. Adams, A.E., 1997. "Atlas de Rocas Sedimentarias". MASSON S.A. 1997. pp. 106.
- Miall, A. D., 1977. "A review of the braided river depositional environment", Earth Science. Rev. 13. pp. 1-62.
- Milan Valdez Saul., 1997. "Factores Geológicos e Hidrológicos y Prevención de Daños por Inundación en la Montaña de Guerrero". pp. 14-25.
- Morán Zenteno D.J., (1978). "Geología de la Republica Mexicana". Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Información (INEGI).
- Ordoñez, Ezequiel, 1906. "Las rocas Arcaicas de México: Mem". Soc. Cient. Antonio Alzate (Mexico), Vol. 22, pp. 331.
- Ortega Gutiérrez, F., 1978. "Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca Baja, Estado de Puebla y Oaxaca". Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. Revista, Vol. 2, No. 2. pp. 112-131.
- Ortega-Gutiérrez, F., 1981. "Metamorphic belts of southern México and their tectonic significance" Geofísica Internacional, v. 20, No. 3, pp. 177-202.
- Ortega-Gutiérrez F., 1981. "La evolución tectónica pre Misisipica de sur de México". Universidad Nacional Autónoma de México, instituto de geología, Rev. Vol. 5. No. 2, pp.140-157.
- Rodríguez-Torres, R., 1970. "Geología metamórfica del área de Acatlán, Estado de Puebla" México, D.F. Soc. Geol. Mexicana, Libro-guía de la excursión México-Oaxaca, pp. 51-54.
- Sánchez Zavala J.L., 2010. "La Orogenia Mixteca del Devónico del Complejo Acatlán, sur de México". Simposio regional sobre el sur de México pp. 321.
- Talavera Mendoza, O., 2005. "U–Pb geochronology of the Acatlán Complex and implications for the Paleozoic paleogeography and tectonic evolution of southern Mexico". Earth and Planetary Science Letters. pp. 235, 682–699.

- Werre Keeman, Fritz J. y Estrada Rodarte, Graciela. (1999). Monografía geológico-minera del Estado de Guerrero 1999. México, Hidalgo. Consejo de Recursos Minerales, Coordinación General de Minería, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 262. Monografías Geológico-Mineras, publicación M-19e.

CARTAS TOPOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS

- Carta topográfica 1:50,000 del INEGI, Ahuacuotzingo (E-14D21).
- Carta topográfica 1:50,000 del INEGI, Tlapa de Comonfort (E-14D22).
- Carta Geológica Minera de Chilpancingo 1:25000 E14-8

REFERENCIAS ELECTRONICAS

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).1989, 2010.
<http://www.inegi.org.mx>.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM)., Léxico Estratigráfico de México.
<http://www.sgm.gob.mx>.
- <http://pt.wikipedia.org>
- <http://guerrero.gob.mx/articulos/orografia/>
- Google Maps
<https://maps.google.com.mx/>
- Google Earth
earth.google.es/