

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## FACULTAD DE INGENIERÍA

“ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO DE LA SECUENCIA JURÁSICA DE LA REGIÓN DE  
SANTO DOMINGO TIANGUISTENGO, OAXACA – SANTA CRUZ NUEVO,  
PUEBLA.”



### TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTA:

***MIGUEL ANGEL CRUZ CRUZ***

DIRECTOR DE TESIS: **ING. JAVIER ARELLANO GIL**

*México D. F., Marzo de 2012*

Gracias al proyecto CONACYT - 103773

PAPIIT - INJ06010-3



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

### A mi familia

Principalmente a mi padre, **Rafael** por su sacrificio, apoyo y por ser el pilar de nuestra familia, a mi madre **Concepción** por su comprensión y apoyo incondicional, a mis hermanos **Adrián y Liliana** por su amistad y apoyo incondicional.

A mis sinodales: **Dr. Eduardo Aguayo, M.C. Emiliano Campos** y en especial a el **Ing. José Luis Arcos** y a la **Doctora Patricia Velasco de León**, por todo su apoyo y tiempo durante este importante proceso.

A mi director de tesis, **Ing. Javier Arellano Gil**.

Por su apoyo, tiempo, paciencia, comprensión, apoyo y dedicación a realizar este trabajo.

Gracias al proyecto CONACYT - 103773 y al programa PAPIIT - INJ06010-3, por la oportunidad de trabajar en el programa de investigación, “Distribución de gimnospermas en el Jurásico de la región norte del terreno Mixteco y Reconstrucción Paleoecológica” y por el apoyo de recursos y personal académico.

A la **Facultad de Ingeniería de la UNAM**

Por la oportunidad de ser parte de la máxima casa de estudios.

A los profesores **Leovigildo Cepeda Dávila (q.e.p.d.)**, **Rolando de la Llata Romero**, **Alfredo Victoria Morales**, **Antonio Hernández Espriú**, **Luis Arturo Tapia** y **José Luis Sánchez Zavala**, por sus sabios consejos y amistad.

A mis amigos de vida, **Julio**, **Toño**, **Omar**, **Gamaliel**, **Juan** y **Gibran**, por su desinteresada amistad.

A mis amigos en la Facultad. **Carlos, Diana, Paco, Mónica Rodríguez, Marcelo, Mónica Pérez, David, Nancy, Javier Villegas, Daniel, Mildred, Claudia, Marlene, Paquito, Rosa, Alejandro, Arturo, Mitre, Emmanuel, Ricardo, Pale, Alonso, Martin**, con gran aprecio y gratitud hacia su amistad.

A mi amigo y primo **Fernando**, compañero en tantas vivencias.

A todo aquel que haya tenido una incidencia positiva en mi vida.

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

A todos **MUCHAS GRACIAS**.

**Índice**

	Pág.
Agradecimientos	i
Resumen	1
Abstract	3
Capítulo 1. GENERALIDADES	5
1.1 Objetivo	6
1.2 Método de trabajo	6
1.2.1 Recopilación análisis y síntesis bibliográfica del área de estudio y de zonas geológicas cercanas.	7
1.2.2 Material fotogeológico y cartográfico.	7
1.2.3 Visitas a campo para verificar litologías, contactos, pliegues fallas fracturas.	7
1.2.4 Medición de la columna estratigráfica completa y descripción de detalle.	8
1.2.5 Recolección y ubicación de fósiles.	8
1.2.6 Análisis de un total de 28 láminas delgadas y 28 muestras de mano.	8
1.2.7 Interpretación y evolución geológica de la zona y la construcción de un modelo paleoambiental,	9
1.2.8 Interpretación de la información.	9
1.3 Trabajos previos.	10
1.4 Ubicación.	11
1.5 Vías de comunicación.	12

1.6 Orografía.	13
1.7 Hidrografía.	17
1.8 Clima, vegetación y fauna.	18
1.8.1 Clima.	18
1.8.2 Vegetación.	20
1.8.3 Fauna.	20
Capítulo 2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.	21
2.1 Paleozoico.	24
2.1.1 Complejo Acatlán.	24
2.1.2 Unidad Gabro Santo Domingo.	29
2.1.3 Tronco de Totoltepec.	29
2.1.4 Unidad Piedra Hueca.	31
2.2 Mesozoico.	36
2.2.1 Unidad Otlaltepec.	36
2.2.2 Unidad Magdalena.	38
2.2.3. Caliza Coyotepec.	39
2.3. Cenozoico.	42
2.3.1 Unidad Pozo Hondo.	42
2.3.2. Depósitos Clásticos del Neógeno.	43
2.3.3. Formación Agua de Luna.	43
2.3.4. Aluvión.	44
Capítulo 3. ESTRATIGRAFÍA LOCAL.	45

---

3. Estratigrafía local.	46
3.1 Columna estratigráfica.	46
3.2 Litología.	64
3.2.1 Análisis Microscópico.	64
3.3 Contenido Fosilífero.	83
3.4. Litofacies.	84
3.5. Biofacies.	87
3.6 Ambiente Sedimentario.	90
 Capítulo 4. EVOLUCIÓN GEOLÓGICA.	 93
4. Evolución Geológica.	94
4.1 Paleozoico.	94
4.2 Mesozoico.	95
4.3 Cenozoico.	98
 Capítulo 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	 100
5.1 Conclusiones.	101
5.2 Recomendaciones.	103
 Bibliografía.	 104

## Resumen

La secuencia sedimentaria perteneciente al Jurásico Medio de ambiente continental, que aflora en la región de Santo Domingo Tianguistengo, Oaxaca – Santa Cruz Nuevo, Puebla, situada en los límites de Puebla y Oaxaca, se encuentra representada por la Unidad Otlaltepec. Esta unidad se propone dividir en dos miembros, el Miembro Inferior y el Miembro Superior; la parte basal del Miembro Inferior se encuentra compuesta por un conglomerado basal polimíctico mal clasificado, formado por fragmentos de cuarzo lechoso, líticos de origen ígneo y sedimentario, inmersos en una matriz de arenas finas; el resto del miembro se encuentra dominado por una secuencia alternada de areniscas de grano fino, limolitas, lutitas y ocasionalmente horizontes conglomeráticos. Este miembro está regido por una ritmicidad media con estratos de arenisca que ocasionalmente superan un metro de espesor, mientras que los estratos de material fino, no son mayores a 20 cm; la característica más importante es la presencia de material fósil y la presencia de delgadas y discontinuas capas de carbón a lo largo de todo el miembro. Otra característica importante es la presencia de estructuras sedimentarias como flujo de escombros, estratificación cruzada, rellenos de canal y rizaduras; el miembro en su conjunto tiene un espesor total de 197 metros. El Miembro Superior tiene un espesor de 629.5 m, se compone por una secuencia terrígena rítmica cuya característica principal es el dominio de areniscas de grano grueso con espesores potentes del orden de 40 cm a 1.2 m de espesor, junto con la coloración rojiza que le da la presencia de óxidos de hierro; que funge como cementante y nódulos de hierro dentro de los estratos; el material fino esta compuesto por lutitas y limolitas que raramente superan los 30 cm de espesor, en esta secuencia se puede observar estructuras sedimentarias como estratificación cruzada, flujos de escombros, rellenos de canal y marcas de carga, además de una importante presencia de troncos y cortezas fósiles. Se presenta en horizontes de areniscas de estratos gruesos que corresponde con mayor energía, intercaladas con capas de limolitas y lutitas que corresponden a depósitos de llanuras de inundación.

Se analizaron un total de 28 láminas delgadas de muestras representativas recolectadas en el trabajo de campo, sobre el Cerro la Colorada y en la margen derecha del Río Acatlán, en las proximidades de Santo Domingo Tianguistengo y Santa Cruz Nuevo, Puebla. El análisis de dichas láminas que corresponden a las rocas del basamento cristalino y su cubierta dio como resultado, un esquisto de muscovita, perteneciente al Complejo Acatlán específicamente a la Formación Tecomate; una muestra clasificada como un gabro de hornblenda, perteneciente al Gabro Santo Domingo; una granodiorita de biotita y muscovita, perteneciente al Tronco de Totoltepec; una arcosa de grano medio a grueso perteneciente a la Unidad Piedra Hueca, una caliza wackestone dolomitizada perteneciente



a la Caliza Coyotepec; además de 9 láminas pertenecientes al Miembro Inferior de la Unidad Otlaltepec de las cuales una se clasificó como conglomerado (conglomerado basal), tres grauvacas, tres subarcosas, una litarenita y una arenita arcósica. Para el Miembro Superior de la Unidad Otlaltepec se analizaron un total de 14 láminas de las cuales 8 son litarenitas, 3 sublitarenitas, 2 gruvacas y una wacka arcósica.

La Unidad Otlaltepec se depositó en un ambiente netamente continental en donde los principales sedimentos provienen del Complejo Acatlán y de la Unidad Piedra Hueca; secundariamente lo aportes provienen del Gabro Santo Domingo y del Tronco de Totoltepec. De acuerdo con el modelo de Miall (1985), el desarrollo de los depósitos de la Unidad Otlaltepec se encuentran dentro de los sistemas de ríos trenzados (braided), principalmente, con desarrollos de secuencias tipo Saskatchewan y Donjek, con dominio de secuencias Saskatchewan para el Miembro Inferior y del tipo Donjek para el Miembro Superior. La paleoflora encontrada en la Unidad Otlaltepec son principalmente semillas de Bennettiales, ramas de *Brachyphyllum*, helechos del género *Todites*, conos de las especies *Williamsonia tlazolteotl* Wieland y cícadas, todas del Miembro Inferior. En el Miembro Superior los fósiles dominantes son las impresiones de madera, troncos y corteza fosilizados. La edad asignada al material fosilífero, de acuerdo a los diferentes especímenes colectados y a sus características, es del Jurásico Medio, desarrollados en un ambiente húmedo y cálido.

La sedimentación de esta unidad se llevó a cabo en un ambiente fluvial dentro de un graben de dirección NW-SE que conformó un valle donde acumulaba un río que en temporadas de lluvias se desbordaba. En una etapa inicial ocurrieron depósitos de alta energía en un abanico aluvial el cual depositó el conglomerado basal, dominado por facies Gm dando como resultado secuencias tipo Scott; este conglomerado basal, se originó en un ambiente proximal de abanicos aluviales húmedos. Posteriormente, para el Miembro Inferior se tiene un cambio a un ambiente de ríos braided con dominio de facies St, dando como resultado secuencias tipo Saskatchewan con barras laterales y longitudinales, los cuales aunados a los flujos de escombros que provocaron obstrucciones en la corriente y la formación de lagos de área reducida, en cuyo entorno se desarrolló abundante vegetación que posteriormente formó delgados horizontes de carbón; en donde la materia orgánica fue menos abundante se tiene la presencia de hojas y ramas. Consecuentemente para el Miembro Superior se tiene un aumento en la intensidad de la corriente y en el volumen del agua transportada ocasionada por una mayor precipitación pluvial; este miembro se encuentra dominado por facies Gm, Gt, principalmente por St, se encuentra relacionado con una génesis de barras las cuales al migrar, generan la estratificación cruzada que se puede visualizar a lo largo de la unidad.

## Abstract

The sedimentary sequence belonging to the Middle Jurassic continental environment that outcrops in the region of Santo Domingo Tianguistengo, Oaxaca - Santa Cruz Nuevo, Puebla, situated on the borders of Puebla and Oaxaca, is represented by the Unidad Otlaltepec. This unit has two members, the miembro inferior and miembro superior. The miembro inferior is composed of a basal conglomerate, which is a poorly sorted polymictic conglomerate, it consist of fragments of quartz of igneous and metamorphic rocks. The conglomerate has a fine sand matrix. Towards the top of the sequence there is a sedimentary column of alternating fine-grained sandstones, siltstones, shales and conglomeratic rock beds occasionally. This member is dominated by a middle rhythmicity sandstones strata that occasionally exceed a meter thick, while thin layers of shale not exceeding 20 cm, the most important feature is the presence of fossil material and the presence of thin and discontinuous carbon layers along the entire member. Another important feature is the presence of sedimentary structures such as debris flow, cross-bedding, ripple marks and channel fill facies, this member as a whole has a total thickness of 197 meters. The Miembro Superior has a thickness of 629.5 meters, consists of a rhythmic terrigenous sequence in which its main characteristic is the dominance of coarse-grained sandstones with a thickness of about 40 cm to 1.2 m thick. These rocks have a distinctive red color, because of the presence of iron oxides which constitutes their cement and nodules inside the strata. , the fine material composed of shales and siltstones that rarely exceed 30 cm in thickness, in this sequence it can be observed sedimentary structures like, crossbedding, debris flows, channel fills and load markings, and a significant presence of fossil wood logs. For this stratigraphic unit we interpreta fluvial environment specifically a flood plain.

We analyzed 28 thin sections of representative samples collected in the field, at the Cerro la Colorada and the right bank of Acatlan river in the vicinity of Santo Domingo Tianguistengo and Santa Cruz Nuevo, Puebla. The analysis to those thin sections that correspond to the crystalline basement rocks and cover, resulted in a muscovite schist of the Complex Acatlán specifically of Tecomate Formation, one sample classified as a hornblende gabbro, belonging to Gabro Santo Domingo, a granodiorite of biotite and muscovite, belonging to a Tronco de Totoltepec, a medium-grained arkose to coarse belonging to Unidad Piedra Hueca, a dolomitized wackestone limestone belonging to the Caliza Coyotepec, in addition to 9 thin sections belonging to the Miembro Inferior of Unidad Otlaltepec which was classified as a conglomerate (basal conglomerate), three graywacke rocks, three subarcoses, an arkosic sandstone and litharenite rocks. For the

Miembro Superior of the Unidad Otlaltepec we analyzed 14 thin sections of which 8 are litharenites, 3 sublitharenites, 2 graywackes and one wacke arkosic.

The Unidad Otlaltepec was deposited in a fully continental ambient, the sediments come from, Acatlán Complex and the Unidad Piedra Hueca, secondly the contributions come from Gabro Santo Domingo and the Tronco de Totoltepec. According to the model of Miall (1985), the development of deposits of Unidad Otlaltepec are located within the braided river systems, mainly with developments of Saskatchewan and Donjek, domain Saskatchewan sequences for Miembro Inferior and type Donjek for the Miembro Superior. The fossil record found in the Unidad Otlaltepec are, Bennettal seeds, branches of *Brachyphyllum*, *Todites* FERNS, species *Williamsonia* cones *Tlazolteotl* Wieland and cycads, for the miembro inferior. For miembro superior the record fossil are the impressions of wood, fossilized logs and bark fragments. The age assigned to the fossil material, according to the different specimens collected and their characteristics is a Middle Jurassic, developed in a humid and warm environment

The sedimentation of this unit took place in a fluvial ancient environment within a graben of NW-SE direction. The valley had a river that lead to important deposits of clastic material mainly in rainy seasons. In early stage high-energy deposits took place as an alluvial fan which deposited the basal conglomerate facies, Scott Gm type Secuencias (proximal alluvial fan). Subsequently, for the Miembro Inferior has a change to an environment with braided St facies domain, resulting in Saskatchewan like sequences with lateral and longitudinal bars, which coupled with debris flows that caused blocking in the flow and the formation of small lakes. The environment developed in which a lot of vegetation that subsequently formed thin coal horizons, where organic matter was less abundant there is the presence of leaves and branches. Consequently, for the Miembro Superior have increased the size of the current and the volume of water transported caused by increased rainfall, this member is dominated by facies Gm, Gt and mainly St, is related with the formation of rods, which they migrate, generate cross-stratification that can be displayed throughout the unit.

# Capítulo 1

# GENERALIDADES

ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO DE LA SECUENCIA JURÁSICA DE LA REGIÓN DE SANTO DOMINGO TIANGUISTENGO, OAXACA – SANTA CRUZ NUEVO, PUEBLA.

## 1.1 Objetivo.

El objetivo principal de este trabajo fue realizar el análisis estratigráfico de la secuencia del Jurásico Medio de la región Santo Domingo Tianguistengo, Oaxaca–Santa Cruz Nuevo, Puebla, para interpretar las facies, el ambiente sedimentario, la evolución geológica y las condiciones climáticas predominantes para ese tiempo.

Para el cumplimiento de los objetivos principales se trabajó también con los siguientes objetivos.

- a) Elaborar la cartografía geológica, principalmente de donde aflora la Unidad Otlaltepec.
- b) Medir y describir la columna estratigráfica representativa de la unidad Otlaltepec de la base a la cima.
- c) Estudiar y determinar los ejemplares de plantas y fósiles que contiene la Unidad estratigráfica Otlaltepec.
- d) Establecer las diferentes relaciones que pueden existir entre las facies, las estructuras sedimentarias y el ambiente de depósito en el área de estudio.
- e) Interpretar las condiciones climáticas que imperaban cuando se acumuló la unidad, tomando como base el registro fósil, las facies y las estructuras sedimentarias.
- f) Proponer un modelo de paleoambiental e interpretar la evolución geológica.

## 1.2 Método de trabajo.

Este trabajo se realizó en diferentes etapas, las cuales se presentan y describen a continuación:

- 1.2.1 Recopilación, análisis y síntesis bibliográfica del área de estudio y de zonas geológicas cercanas.
- 1.2.2 Interpretación del material fotogeológico y elaboración de la cartografía geológica previa.
- 1.2.3 Se realizaron cinco visitas a campo de las cuales una tuvo la finalidad de, verificar litologías, contactos, pliegues fallas fracturas.
- 1.2.4 Medición de la columna estratigráfica completa realizando una descripción de detalle.
- 1.2.5 Recolección de muestra de roca representativas y de fósiles en los distintos niveles estratigráficos.
- 1.2.6 Análisis de un total de 24 láminas delgadas con su correspondiente descripción e interpretación.

- 1.2.7 Interpretación y evolución geológica de la zona y la construcción de un modelo paleoambiental.
- 1.2.8 Elaboración del texto final con los resultados del trabajo.

### **1.2.1 Recopilación análisis y síntesis bibliográfica del área de estudio y de zonas geológicas cercanas.**

La recopilación bibliográfica fue lo primero en realizarse, consistió en analizar y sintetizar los diferentes estudios previos que se han hecho de la zona y de sus cercanías; los trabajos analizados incluyen artículos y tesis, se consultaron con la finalidad de tener un panorama general de las características geológicas que dominaban en el Jurásico Medio, así como una revisión de las diferentes unidades estratigráficas que afloran en el área de estudio.

### **1.2.2 Material fotogeológico y cartográfico.**

Se analizó e interpretó la superficie que cubren 4 fotografías aéreas a escala 1:50,000, identificando los diferentes rasgos geológicos, geomorfológicos y geohidrológicos; con base en este análisis se delimitaron y reconocieron, unidades litoestratigráficas, fallas, fracturas, pliegues y los contactos geológicos. Las claves de las fotografías aéreas son: 18A R-317 10-26, 18A R-317 11-26, 18A R-317 12-26 y 18A R-317 13-26.

Se encontraron 5 grupos de diferentes litologías, las cuales corresponden con: el basamento metamórfico, cuerpos intrusivos (gabro y granito), rocas clásticas, rocas carbonatadas y depósitos recientes.

Con las fotografías aéreas y el mapa topográfico E14B74, San Juan Ixcaquixtla, escala 1:50,000, se identificó y describió la red de drenaje fluvial.

Con base en el mapa topográfico, la fotogeología y el reconocimiento de campo, se delimitó la Unidad Otlaltepec y se eligió donde realizar la medición de la columna estratigráfica completa.

Se elaboró el mapa geológico, utilizando como base la carta topográfica, San Juan Ixcaquixtla escala 1:50,000, con clave E14B64, publicada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

### **1.2.3 Visitas a campo para verificar litologías, contactos, pliegues, fallas, fracturas.**

Se realizaron cinco visitas al campo de cuatro días cada una para verificar los contactos entre las diferentes unidades litoestratigráficas, las estructuras primarias y secundarias.

Además se pudieron cartografiar otras estructuras como, pliegues y fallas, que no fueron identificados anteriormente en el análisis fotogeológico.

Se realizó la descripción macroscópica de las diferentes litologías en afloramientos, describiéndose el tipo de litología, la composición mineralógica, el color al fresco e intemperismo, las estructuras sedimentarias presentes y el material fósil; se describieron los tipos de contactos entre las diferentes unidades que afloran en la zona, se recolectaron muestras de mano orientadas para su posterior análisis petrográfico y clasificación.

Se tomaron datos de rumbo y echado de los estratos de las unidades estratigráficas y de las estructuras geológicas secundarias.

#### **1.2.4 Medición de la columna estratigráfica completa y descripción de detalle.**

Se realizó la medición y descripción de detalle de la Unidad Estratigráfica Otlaltepec, considerando principalmente los aspectos litológicos, sedimentológicos y paleontológicos; tal medición se realizó de la base a la cima, sobre el Río Acatlán (figura 1.1) y el Cerro la Colorada (figura 1.2), identificando la base en el contacto con la Unidad Piedra Hueca y la cima en el núcleo de un pliegue sinclinal, ubicado al norte de la zona de estudio. La medición se realizó utilizando Báculo de Jacob, brújula Brunton y cinta métrica, ubicando a lo largo de la columna medida las diferentes estructuras sedimentarias, litologías, material fósil y características litológicas.

#### **1.2.5 Recolección y ubicación de fósiles.**

La recolección de fósiles se realizó durante el levantamiento de la columna estratigráfica, cuyo control estuvo a cargo de la Doctora María Patricia Velasco de León, investigadora de la FES Zaragoza y de estudiantes de la Carrera de Biología, quienes realizaron la recolección; los fósiles fueron ubicados en la columna estratigráfica para su posterior análisis y determinación en el laboratorio de Paleontología de la FES Zaragoza.

#### **1.2.6 Análisis de un total de 28 láminas delgadas y 28 muestras de mano.**

Para la clasificación de las rocas se elaboraron 28 láminas delgadas, posteriormente se utilizó para su estudio un microscopio petrográfico con cámara integrada perteneciente al laboratorio de paleomagnetismo del Instituto de Geofísica de la UNAM y otro de petrología de la División Ingeniería en Ciencias de la Tierra, de la Facultad de Ingeniería, UNAM.



Figura 1.1. Zona del Río Acatlán donde se realizó el inicio de la medición de la base de la columna estratigráfica, en las proximidades de Santa Cruz Nuevo, Puebla.



Figura 1.2. Lugar de medición de la segunda sección de la columna estratigráfica, sobre el Cerro la Colorada, en las proximidades de Santa Cruz Nuevo Puebla.

### **1.2.7 Interpretación y evolución geológica de la zona y la construcción de un modelo paleoambiental.**

Se realizó la interpretación de la información generada y recopilada, dando como resultado una interpretación paleoambiental, con su correspondiente evolución geológica; se realizó un modelo paleoambiental esquemático en tres dimensiones.

### **1.2.8 Interpretación de la información.**

La última etapa consistió en interpretar la información con la que se elaboró el texto, mapas y figuras definitivas, que conforman este trabajo de tesis.



### 1.3 Trabajos previos.

A lo largo de la zona de estudio se han realizado diversos trabajos, tanto de alcance local como regional; entre los de mayor importancia se destacan los siguientes:

Calderón (1956) “Estratigrafía del Mesozoico y tectónica del sur de Puebla: Presa Valsequillo, Sifón de Huexotitón y problemas hidrogeológicos de Puebla”, en este trabajo se realiza una descripción regional de la zona de Tehuacán a Petlalcingo, Puebla, se establecen las bases estratigráficas que se tomaron como base en posteriores estudios.

Fries (1962) “Rocas pre-cámbricas de edad grenvillianense de la parte central de Oaxaca en el sur de México”, realiza un estudio regional por primera vez para iniciar los estudios geocronológicos de las rocas metamórficas del suroeste de México.

Pérez et al. (1965) “Reconocimiento del área de Petlalcingo-Santa Cruz Municipio de Acatlán, Puebla”, realiza un estudio donde establece la estratigrafía del Jurásico Medio y Superior, definiendo tres formaciones nuevas, las cuales son; Tecomazuchitl, Chimeco y Mapache.

Alencaster y Buitron (1965) “Fauna del Jurásico Superior de la Región de Petlalcingo, Edo. de Puebla”, realizan por primera vez un estudio paleontológico de la región, dando a conocer la fauna del Jurásico Superior de la zona.

Fries et al. (1970) “Edad radiométrica ordovícica del Tronco de Totoltepec, Edo. de Puebla”, obtiene una edad del Ordovícico Tardío mediante el método Plomo-Alfa, para el cuerpo intrusivo, Tronco de Totoltepec.

Barceló-Duarte (1978) “Estratigrafía y Petrografía detallada del área de Tehuacán-San Juan Raya, Edo., de Puebla”, realiza estudios detallados de las unidades estratigráficas que afloran del área de San Juan Raya, Puebla.

Silva-Pineda (1978) “Paleo botánica del Jurásico Medio”, realiza un reporte del material fósil presente en la parte noreste de Oaxaca, noreste de Guerrero y la parte norte y sur de Puebla.

Silva-Pineda (1978) “Plantas del Jurásico Medio del Sur de Puebla y noreste de Oaxaca”, realiza la descripción de 10 especies de plantas fósiles, las cuales se asignan al Jurásico Medio.

Moran-Zenteno (1987), en su tesis de maestría, “Paleogeografía y Paleomagnetismo Pre-Cenozoico del Terreno Mixteco”, realizó estudios geológicos y paleomagnéticos, en las secuencias mesozoicas del Terreno Mixteco.

Ramos-Leal (1989) “Estratigrafía y evolución paleoambiental del área de San Juan Ixcaquixtla, Edo., de Puebla”, realiza una amplia descripción general de las unidades aflorantes en el área de San Juan Ixcaquixtla-Santa Cruz Nuevo, Puebla; además de proponer espesores a las unidades.

Ortega-Guerrero (1989) “Paleomagnetismo y geología de las unidades clásticas del Mesozoicos del área Totoltepec-Ixcaquixtla, estados de Puebla y Oaxaca”, realiza un estudio paleomagnético y geológico de las unidades Piedra Hueca y Otlaltepec, dando espesores estimados a ambas unidades estratigráficas.

Cantú-Chapa (1998) “Las transgresiones Jurásicas en México”, realiza una descripción de las diferentes etapas de las transgresiones que ocurrieron en México en el Jurásico Superior.

#### 1.4 Ubicación.

La zona de estudio comprende las comunidades de Santo Domingo Tianguistengo, Oaxaca, San Cruz Nuevo y Otlaltepec, Puebla, se encuentra entre los límites de Puebla y Oaxaca, al noroeste del estado de Oaxaca en la zona Mixteca, y en el sur de Puebla; se sitúa a aproximadamente a 50 kilómetros al sur-oeste de la ciudad de Tehuacán, Puebla (figura 1.4).

La localidad de Santo Domingo Tianguistengo, pertenece al municipio de Santiago Chazumba en el Estado de Oaxaca, mientras que la localidad de Santa Cruz Nuevo está situada en el Municipio de Totoltepec de Guerrero, en el estado de Puebla; ambas localidades se encuentran a una altura aproximada de 1580 metros sobre el nivel del mar.

Las coordenadas UTM del área de estudio son: en X de 620, 000 a 634, 000, y en Y de 2, 018, 300 a 2, 027, 380.

Las poblaciones colindantes con la zona de estudio en el Estado de Puebla son, Santa Catarina Tehuixtla y San Vicente Coyotepec al norte, Totoltepec de Guerrero al sur, San Pablo al oeste; el estado de Oaxaca, Santiago Chazumba al sureste y Cosoltepec al sur (figura 1.4). La zona de estudio se ubica en el sector sur de la carta topográfica 1:50, 000, San Juan Ixcaquixtla E14B74.

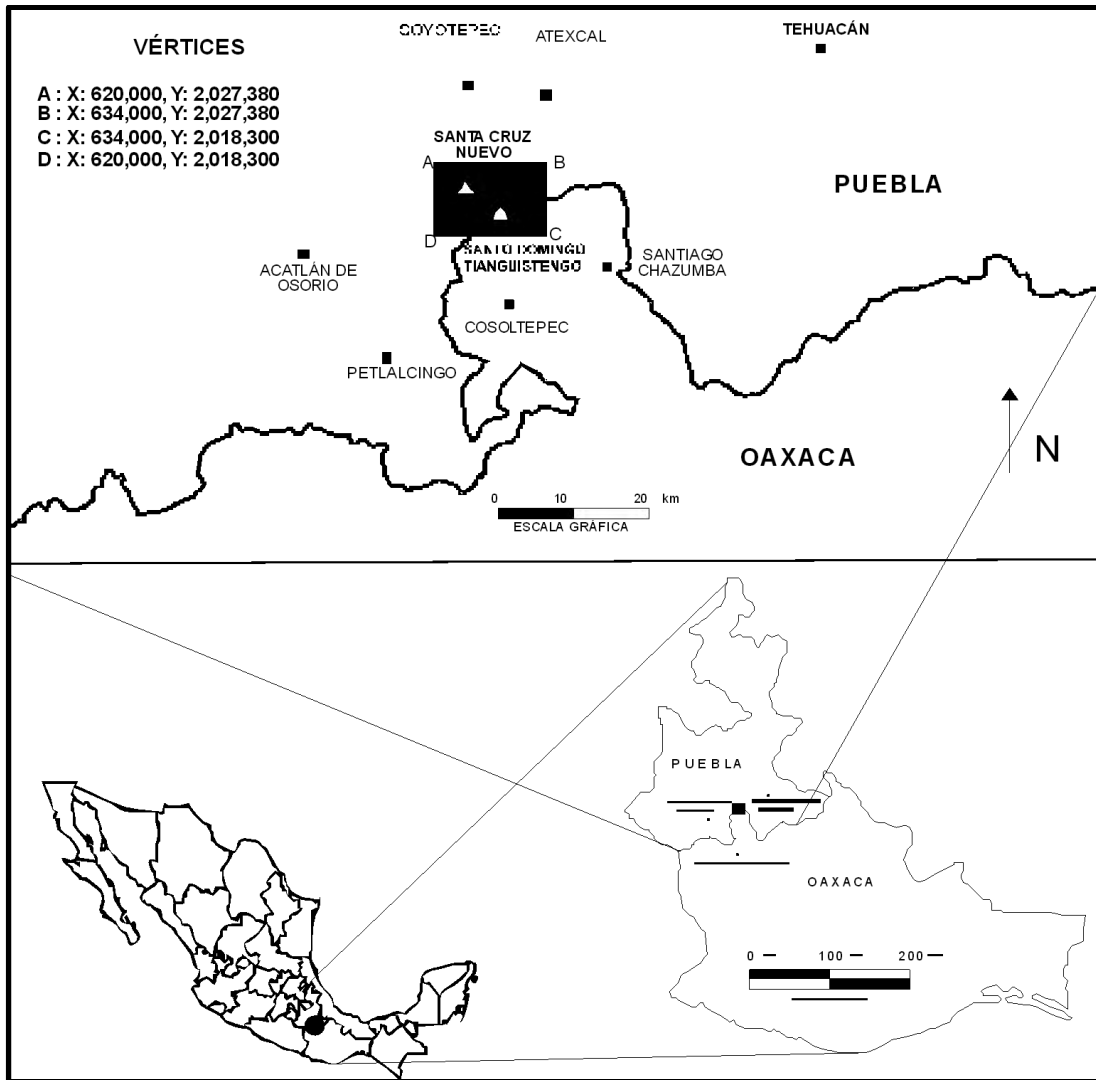


Figura 1.4. Localización de la zona de estudio.

### 1.5 Vías de comunicación.

Se puede arribar al poblado de Santo Domingo Tianguistengo, Oaxaca o Santa Cruz Nuevo, Puebla, por tres accesos diferentes (ver figura 1.5). La principal ruta de acceso es la carretera federal que une las ciudades de Tehuacán Puebla y Huajuapán, de León, Oaxaca, tomando la desviación que parte de Santiago Chazumba, por medio de la carretera estatal que llega a Santo Domingo Tianguistengo, Oaxaca. Otra ruta de acceso es por la carretera federal 150, tomando en Tehuacán, Puebla la desviación hacia San Bartolo Teontepec, de donde parte la carretera estatal que pasando por Nopala y Atexcal, Puebla; de esta población se continúa por terracería a Otlaltepec, Puebla y después Santo Domingo Tianguistengo, Oaxaca.

También se puede llegar por medio de la carretera federal México-Oaxaca (Panamericana) que une a la ciudad de México y Ciudad de Huajuapán de León, tomando la desviación en Acatlán, Puebla hacia Xayacatlán de Bravo, Totoltepec pasando por los poblados de San Jerónimo Xayacatlan, Toltepec de Guerrero, hasta Santa Cruz Nuevo, Puebla.

### 1.6 Orografía.

El área de estudio se encuentra en la parte norte de la provincia fisiográfica denominada Sierra Madre del Sur (figura 1.6), localizada al sur de México, se extiende aproximadamente 1200 km., desde el sur de Jalisco hasta el Istmo de Tehuantepec al oriente de Oaxaca. Esta provincia limita al norte con la del Eje Neovolcánico, al este con la Llanura Costera del Golfo Sur, las Sierras de Chiapas y la Llanura Costera Centroamericana del Pacífico, y al sur con el Océano Pacífico (INEGI 2010).

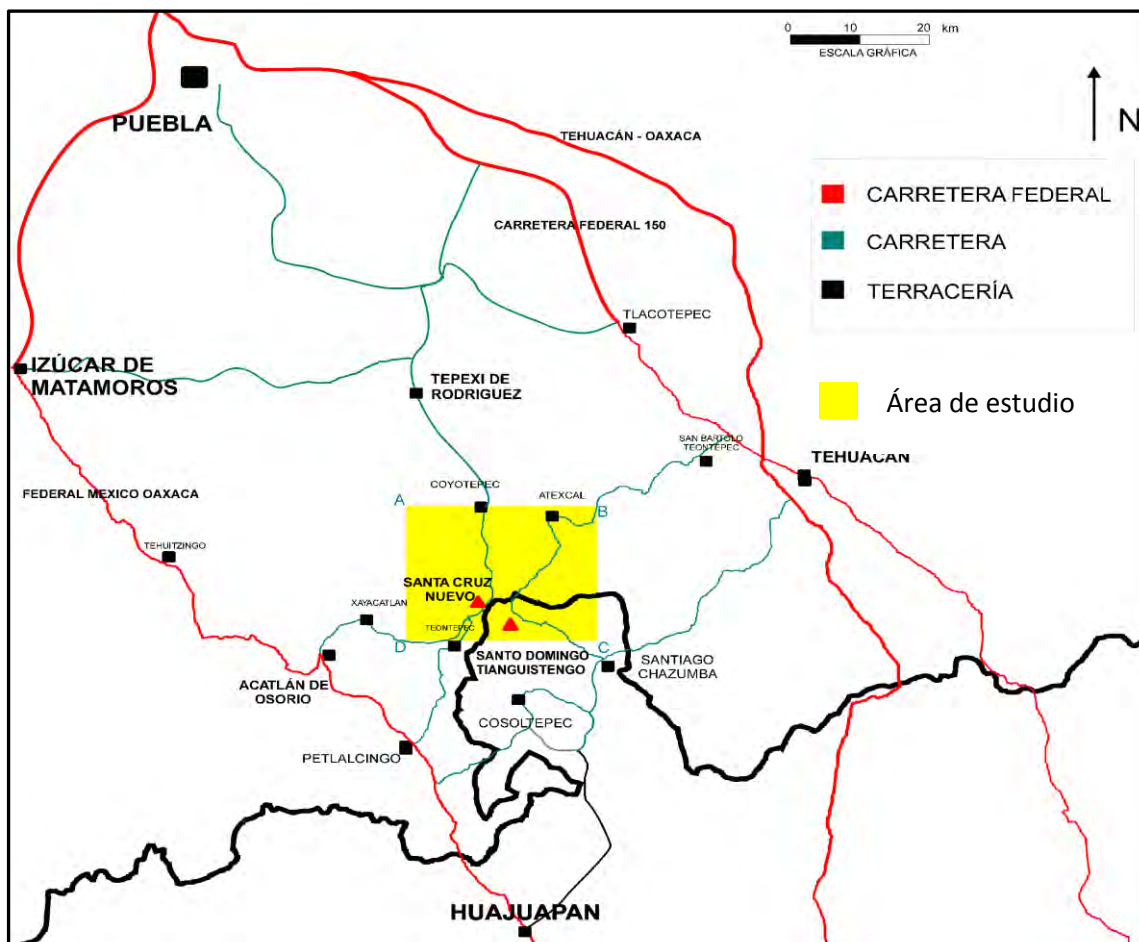


Figura 1.5. Mapa de acceso a la zona de estudio, en azul se tienen a las terracerías y en rojo a las carreteras pavimentadas.

Los poblados de Santo Domingo Tianguistengo-Santa Cruz Nuevo se sitúan en la región montañosa de la Sierra Mixteca, la cual está situada entre los estados de Puebla y Oaxaca en el sur-centro de México; también se le conoce con el nombre de nudo Mixteco o escudo Mixteco. La sierra presenta una morfología formada por montañas de pendientes suaves con amplios valles, con una orientación promedio NW-SE.

En la zona de estudio, esta región montañosa presenta una orografía formada por pequeñas sierras, lomeríos y pequeños valles. Las elevaciones de la zona estudiada oscilan entre los 1550 y 2000 msnm.

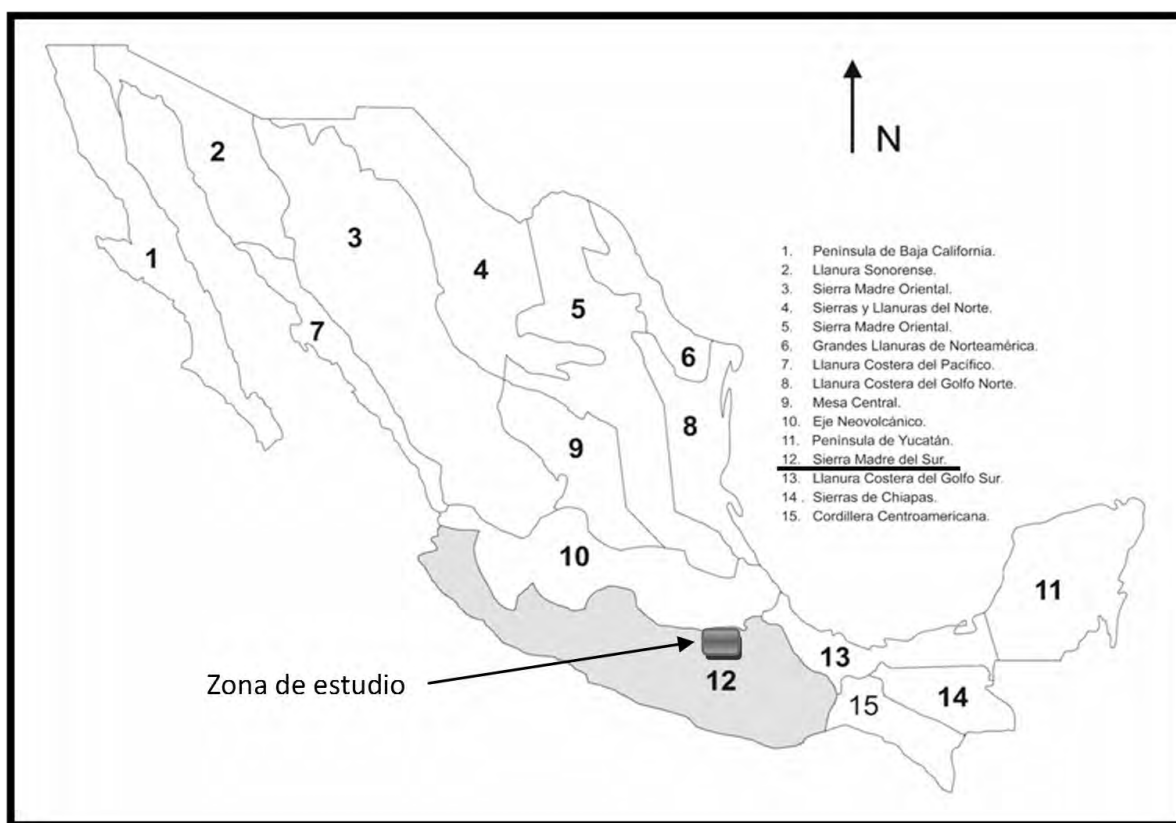


Figura 1.6 Provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur. (Modificado de INEGI 2011)

La zona dominada por rocas metamórficas, se compone de una topografía abrupta e irregular con varias elevaciones prominentes y lomeríos bajos de formas redondeadas, que fueron originadas por la erosión que ha actuado principalmente en los esquistos, las filitas y los gneises; ya que la mayoría de estas rocas son poco resistentes a la erosión. Así también ha sucedido con las rocas ígneas intrusivas, ya que dado el alto nivel de intemperismo y su textura granular, se hace fácilmente deleznable y sumando tiempo de exposición de estas rocas, constituyen las partes más bajas del relieve.

Por otra parte, la zona presenta rocas sedimentarias ubicadas en el norte y noroeste de la zona estudiada; esta zona está dominada por una extensa presencia de homoclinales con una inclinación predominante Noreste; el aspecto que presenta es de grandes cuevas y pendientes, bien definidas, como se puede observar en la Sierra de la Colorada compuesta por sedimentos terrígenos jurásicos, donde fue medida casi en su totalidad la columna estratigráfica; otra sierra que presenta mayor relieve con pendientes muy fuertes es la de Santa Rosa (Mariel-Lezama, 1955), compuesta por rocas carbonatadas del Cretácico.

Analizando el mapa topográfico de la zona, se pudo realizar la delimitación de cuatro zonas que contrastan por su relieve (ver figura 1.7), las cuales se describen a continuación.

**Zona I:** Esta zona se encuentra ampliamente distribuida en el norte del área de estudio, se encuentra dominada por las Unidades Piedra Hueca, Otlaltepec y Magdalena, principalmente. Está dominada por elevaciones que llegan a formar sierras alargadas con dirección noroeste, que se puede describir como una zona en etapa de madurez, con crestas y zonas de menor relieve que constituye un relieve escalonado.

**Zona II:** Las formas que componen esta zona se encuentran ligadas al complejo de rocas metamórficas, que la componen en su totalidad; esta zona se encuentra localizada en la parte sureste del área de estudio, que se distingue por un sistema de serranías de topografía abrupta de forma alargada por fuertes pendientes.

**Zona III:** Esta zona se encuentra situada en la parte sur y suroeste del área de estudio, está dominada principalmente por los cuerpos intrusivos, del Gabro Santo Domingo y Tronco de Totoltepec. Se caracteriza por presentar pequeñas llanuras y superficies con lomeríos bajos con una ligera ondulación; se puede distinguir fácilmente que es una zona en etapa madura.

**Zona IV:** Esta zona se encuentra distribuida principalmente en las cercanías del Río Acatlán y sus afluentes, por lo cual, se puede deducir que está dominada por aluviones y depósitos de talud que cubren principalmente a las unidades Piedra Hueca y Otlaltepec. Está compuesta por pequeños valles alargados y lomeríos redondeados de suave relieve.



## 1.7 Hidrografía.

La zona de estudio pertenece a la región hidrológica RH-18 del Río Balsas (INEGI 2010), es una de las más importantes del país (ver figura 1.8); se extiende desde el Estado de Michoacán y en una pequeña porción del Estado de Veracruz y donde está limitada por las elevaciones que circundan la cuenca, Oriental-Perote, entre las que destacan, la Caldera de los Humeros, el Volcán Pico de Orizaba, el Cofre de Perote y el Volcán Atlítzin o Sierra Negra. Hacia el sur de estas montañas, el parteaguas oriental de la región, se prolonga a lo largo de las serranías que constituyen el borde occidental de la cañada poblana-oaxaqueña. Al norte y al sur, la región se encuentra limitada por los parteaguas del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur, respectivamente (INEGI 2010).

De la vertiente del Pacífico del Río Acatlán constituye la principal fuente de drenaje de la zona de estudio, este río nace en San Martín Atexcal, Puebla siguiendo una dirección suroeste, pasando por las poblaciones de Tehuixtla, Santo Tomás Otlaltepec, Santo Domingo Tianguistengo y Totoltepec, Puebla. Este río pasa a formar parte del Río Atoyac en las inmediaciones de la población de Tehuiztzingo al oeste de la zona estudiada (Mariel-Lezama, 1955).

La principal corriente superficial y que divide los poblados de Santo Domingo Tianguistengo y Santa Cruz Nuevo, es el Río Acatlán (el cual es parte de las subcuenca Atoyac, del Balsas) que localmente corre en dirección suroeste.

En el municipio de San Francisco Resurgimiento, se unen los ríos Nopala y Magdalena para dar origen al Río Acatlán; este río nace en las vertiente occidental de la Sierra de Zapotitlán a más de 2000 msnm, en el estado de Puebla, después de internarse brevemente en el estado de Oaxaca, el Río Acatlán regresa a Puebla, a la altura del municipio de San Jerónimo Xayacatlán. Finalmente llega a desembocar en la corriente del río Mixteco, que forma parte de la cuenca del Río Balsas-Atoyac.

Localmente se trata de un río de tipo meandro intermitente, con varios afluentes sin nombres reportados, cuyo caudal dependen de las lluvias principalmente; la hidrografía se puede dividir usando la misma división hecha para el estudio orográfico previamente presentado (figura 1.7).

Zona I: Se desarrolla principalmente un sistema paralelo y en menor medida subparalelo, los cuales están dominados por las secuencias clásticas Piedra Hueca y Otlaltepec y en menor medida por la unidad clástica Magdalena y la Caliza Coyotepec.

Zona II: Se puede observar el desarrollo de un drenaje de tipo dendrítico, en el que sus direcciones de flujo son hacia afuera del cuerpo metamórfico.



Zona III: Esta zona la cual está dominada por rocas intrusivas, desarrolla un drenaje de tipo dendrítico y en menor medida un drenaje de tipo subparalelo.

Zona IV: En esta zona se presentan los ríos con mayor cantidad de afluentes, en esta zona domina el drenaje de tipo dendrítico que alcanza generar en conjunto un río de tipo meándrico.

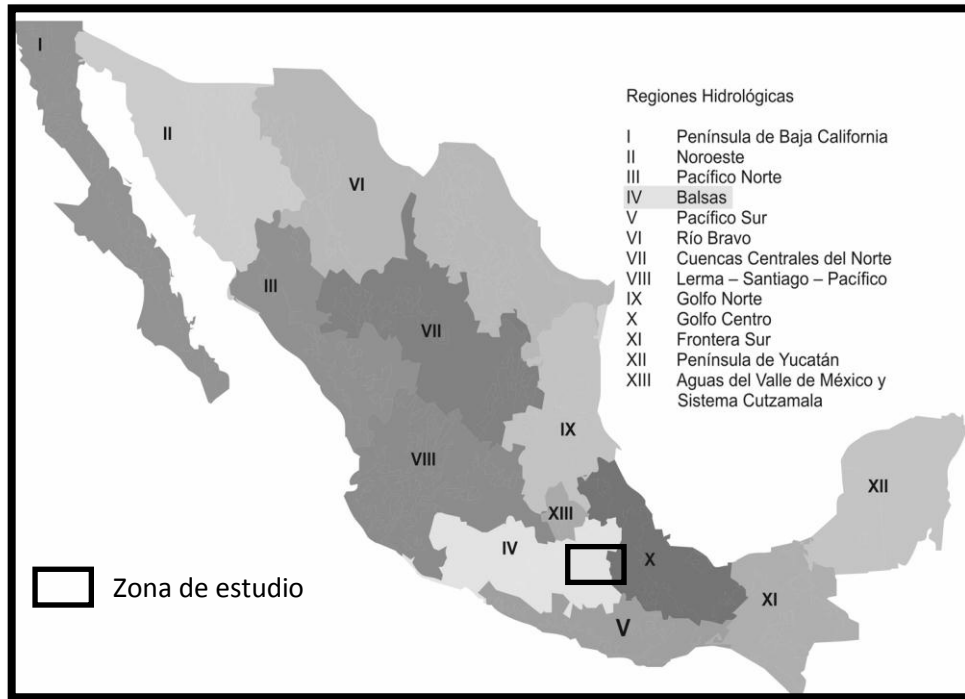


Figura 1.8. Regiones hidrológicas de la república mexicana, la región hidrológica balsas representada con el número IV y en color amarillo (tomado de CONAGUA, 2011).

### 1.8 Clima, vegetación y fauna.

#### 1.8.1 Clima.

La temperatura media anual es de 19.2 °C, siendo enero el mes más frío con 16.2 °C de temperatura media y ocasionalmente se presentan heladas que perjudican los cultivos en invierno; mayo es el mes más cálido con 28.9 °C (INEGI, 2010). Por tales motivos la zona de estudio se encuentra situada dentro del clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano según INEGI (2010) y García-Mendoza et al (2004), tal como se muestra en la figura 1.9.

La precipitación promedio anual va de 500 a 800 mm (figura 1.10), el mes de menor humedad es febrero con 2.5 mm de lluvia promedio y el mes más húmedo es junio, con 154.6 mm; presenta sequía de medio verano, pues en Junio se produce la más alta precipitación, en Julio desciende, en Agosto aumenta y alcanza un segundo máximo en

septiembre, durante esta temporada ocurren granizadas acompañadas de vientos fuertes que afectan los cultivos; la lluvia invernal representa 2.0% del total anual.

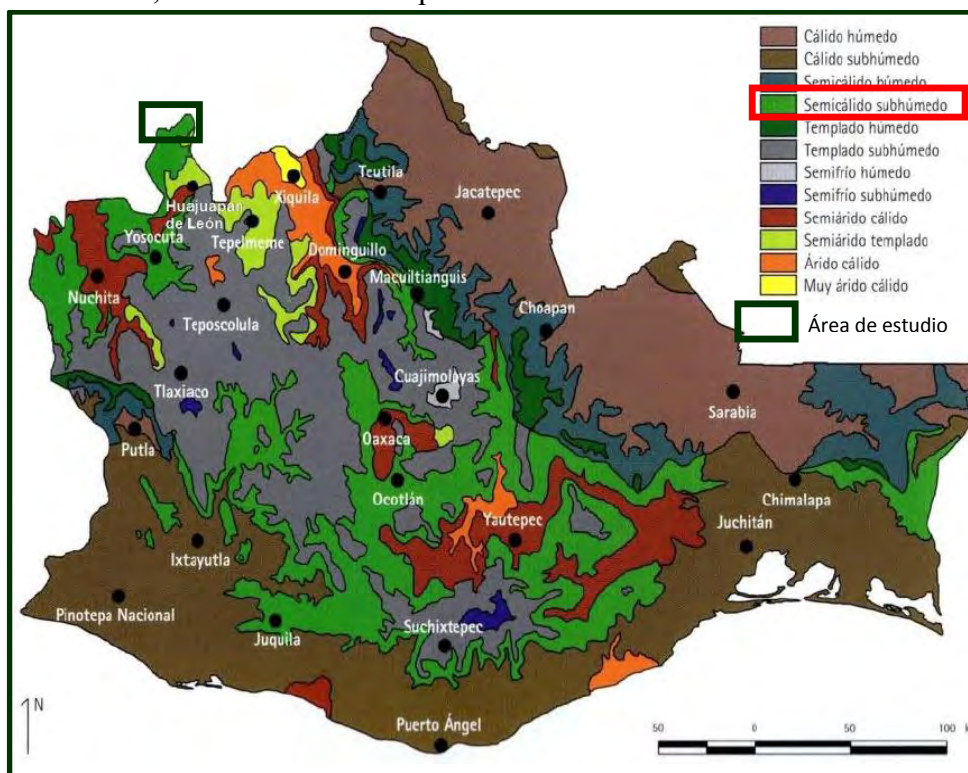


Figura 1.9. Climas del estado de Oaxaca, tomado de García-Mendoza et al, 2004.

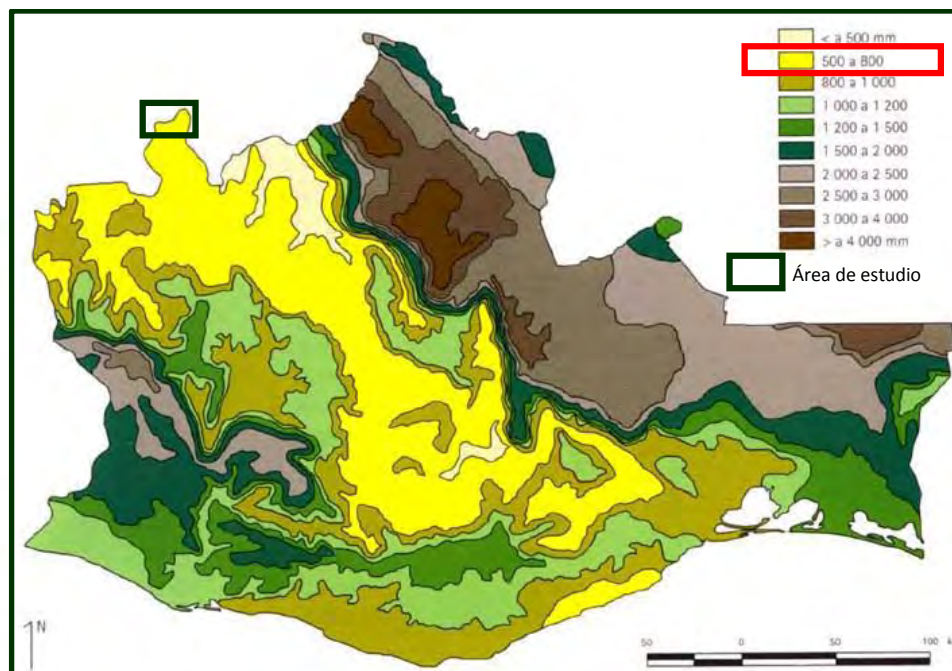


Figura 1.10. Precipitación media anual del estado de Oaxaca, tomado de García-Mendoza et al, 2004.

### 1.8.2 Vegetación.

La parte sur del Estado de Puebla y la parte norte de Oaxaca es una típica zona de las plantas desérticas de México, estas fueron estudiadas ampliamente a principios del siglo pasado por Ramírez e Isaac Ochoterena, quienes encuentran en la zona de *Xerófitas*, plantas propias de lugares de atmosfera muy seca y temperatura des de 25° a 30°. El terreno asume un aspecto huraño y bravío que le presentan las colinas erizadas de carácter salvajes, entre las que sobresalen como aislados gigantes los cardones de tamaño colosal (Mariel-Lezama, 1955).

El naturalista Manuel Villada, distingue seis familias principales de plantas, las cuales abundan en toda la mixteca, reconocidas en Tehuacan, Tepexi, Chiantla, Acatlan y Matamoros; estas familias son: *cactáceas*, *las leguminosas*, *las liliáceas*, *las amarilídeas*, *las euforbiáceas* y *las solanáceas*.

Las *Cactáceas*: sus principales tipos de forma son el columnar (órganos), el globoso (biznagas) y el de ramas comprimidas (nopales).

Las *Leguminosas* están representadas por varias especies: se distingue el Palo manteco (*Parkinsonia aculeata*), el Huizache (*Pithecolobium*), el Mezquite (*Prosopis juliflora*), y el Sotolin (*Nolina paviflora*). Las *Liliáceas*: Izote (*Yucca trucoleana*). Las *amarilídeas* están representadas por el *A. ixtli*, el *A. heteracantha* y el *A. variegata* o zábila. Las *Euforbiáceas* están representadas por dos plantas: la sangre de Drago (*Lathyrus spatulata*) y el *Pedilanthus aphyllus*. De las *Solanácea* hay dos especies dignas de mencionarse: la *Datura ferox* y el *Solanum comuti*, ambas venenosas.

### 1.8.3 Fauna.

En la región Mixteca podemos encontrar, gato montés, ardilla, ratón, liebres, conejos zorras, tlacuache, puma, onza (*Felis yaguarondi* y *Felis cyra*); además armadillo, coyote (*Canis latrans*) y cacomixtle (*Basoaris astuta*). Entre los reptiles hay muchas clases de culebras, camaleones, escorpión, iguana (INAFED, 2010, Mariel-Lezama, 1955).

## Capítulo 2

# MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO DE LA SECUENCIA JURÁSICA DE LA REGIÓN DE SANTO DOMINGO TIANGUISTENGO, OAXACA – SANTA CRUZ NUEVO, PUEBLA.

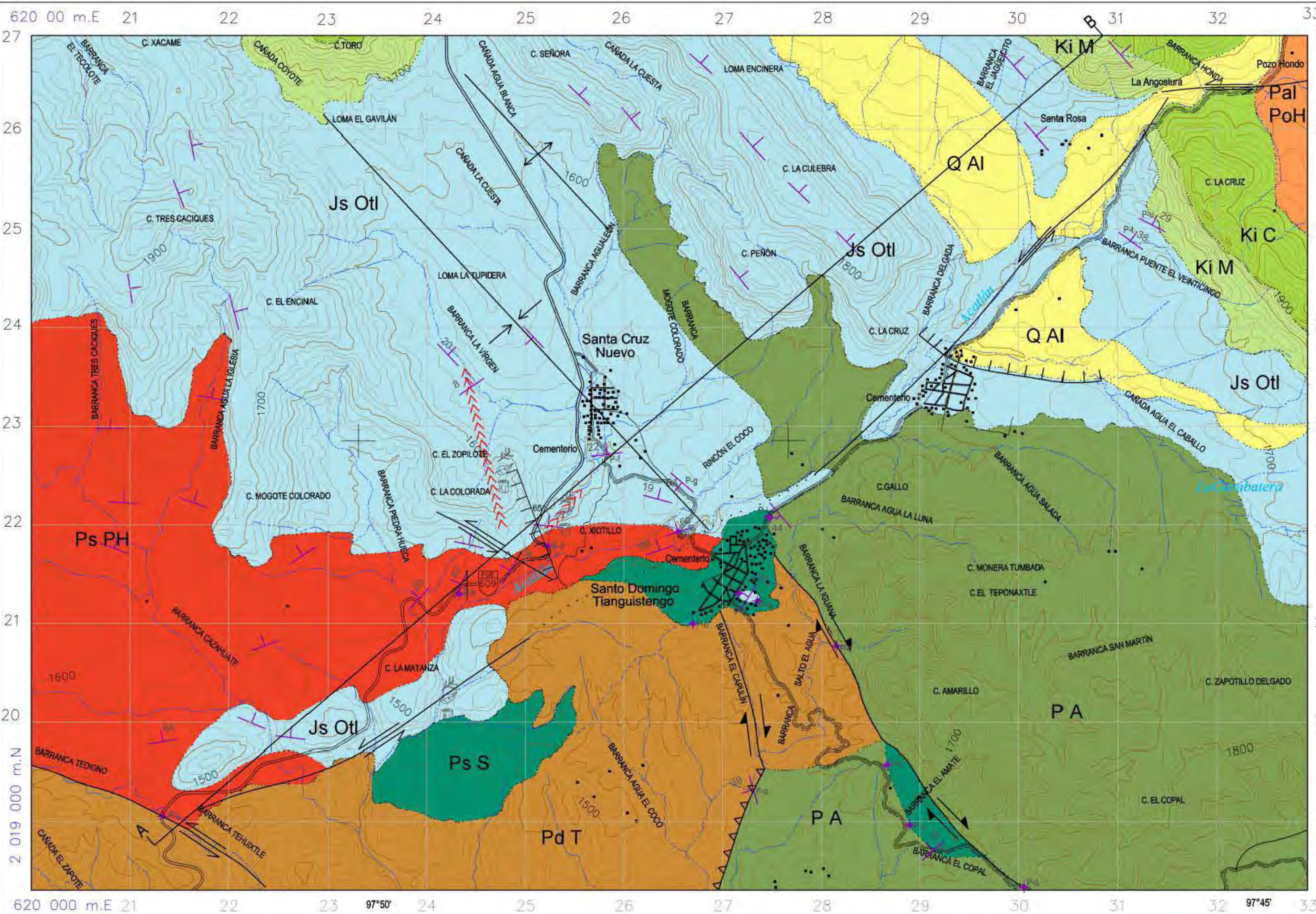
La estratigrafía de la zona estudiada es la típica del Terreno Mixteco, comprende unidades que van desde rocas metamórficas del Paleozoico Inferior (Complejo Acatlán) hasta rocas del reciente; la columna estratigráfica regional comprende rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, lo cual indica diversos cambios muy importantes en la historia geológica de la región, asociados estrechamente con la apertura del Golfo de México y a la disgregación de Pangea y posteriormente a procesos que originaron cambios en el nivel del mar que causaron transgresiones y regresiones (Cantú-Chapa, 1998). En este capítulo solo se presenta de manera general lo referente a la estratigrafía regional, se realiza un bosquejo general de la estratigrafía, presentando de manera resumida, las diferentes unidades que componen la estratigrafía, de la más antigua a la más joven.

Considerando que el principal objetivo de este estudio es realizar el análisis estratigráfico de la secuencia sedimentaria Otlaltepec del Jurásico Medio, en este capítulo se describe a esta unidad de manera general y resumida.

En la zona de estudio se tienen aflorando rocas con edades del Paleozoico al Reciente, cuya distribución se indica en el mapa geológico, así como una sección representativa (figura 2.1). De las unidades del basamento, como, Complejo Acatlán, el Tronco de Totoltepec y el Gabro Santo Domingo, así mismo la Unidad Piedra Hueca (Paleozoico Tardío?), se realiza una descripción general con la información disponible; se describen brevemente considerando las características identificadas en campo y con la información disponible principalmente en dos tesis, una de maestría de Beatriz Ortega Guerrero “Paleomagnetismo y geología de las unidades clásticas Mesozoicas del área Totoltepec-Ixcaquixtla, estados de Puebla y Oaxaca”, UNAM (1989) y la tesis de licenciatura de José Alfredo Ramos Leal “Estratigrafía y Evolución Paleoambiental del Área de San Juan Ixcaquixtla, Estado de Puebla”, UNAM (1989). Las unidades del Mesozoico-Cenozoico comprenden a la Unidad Magdalena (Aptiano-Albiano(?)), Caliza Coyotepec (Albiano-Cenomaniano), Unidad Pozo Hondo (Paleoceno), Depósitos Clásticos (Neógeno), Formación Agua de Luna (Neógeno) y Aluvión (Cuaternario); de estas unidades se realiza una breve descripción utilizando la información de trabajos anteriores y de observaciones realizadas en campo. La columna estratigráfica regional se ilustra esquemáticamente en la figura 2.

Las unidades sedimentarias mesozoicas que se describen fueron definidas informalmente con rango equivalente de Formación por Ortega Guerrero (1989), en su tesis de maestría; por lo tanto, para estas descripciones se utilizan los nombres signados por esta autora; propuso nombres tomados de rasgos geográficos de la zona de estudio. Solamente en la Formación Agua de Luna, la autora antes citada utiliza un nombre propuesto con anterioridad.

A continuación se realiza una descripción general de las unidades estratigráficas, que afloran en la zona de estudio.



### SIMBOLOGÍA GEOLÓGICA

- |   |  |
|---|--|
| <b>Q AI</b> Aluvión (Cuaternario)                       | CONTACTO GEOLÓGICO                             |
| <b>Pal PoH</b> Pozo Hondo (Paleógeno)                   | SITIO DE MEDICIÓN DE LA COLUMNA ESTRATIGRÁFICA |
| <b>Ki C</b> Caliza Coyotepec (Cretácico Inferior)       | RUMBO Y HECHADO MEDIDO                         |
| <b>Ki M</b> Unidad Magdalena (Cretácico Inferior)       | FALLA NORMAL                                   |
| <b>Js Otl</b> Unidad Otaltepec (Jurásico Superior)      | FALLA INVERSA                                  |
| <b>Ps PH</b> Unidad Piedra Hueca (Paleozoico Superior)  | FALLA LATERAL                                  |
| <b>Pd T</b> Tronco de Totoltepec (Paleozoico, Devónico) | LINEA DE SECCIÓN                               |
| <b>Ps S</b> Gabro Santo Domingo (Paleozoico Superior)   | ANTICLINAL                                     |
| <b>P A</b> Complejo Acatlán (Paleozoico)                | SINCLINAL                                      |
|   | FRACTURA                                       |
|   | PUNTO DE VERIFICACIÓN CON RUMBO Y HECHADO      |
|   | PUNTO DE VERIFICACIÓN                          |
|   | FOLIACIÓN                                      |
|   | LOCALIDAD FOSILÍFERA                           |

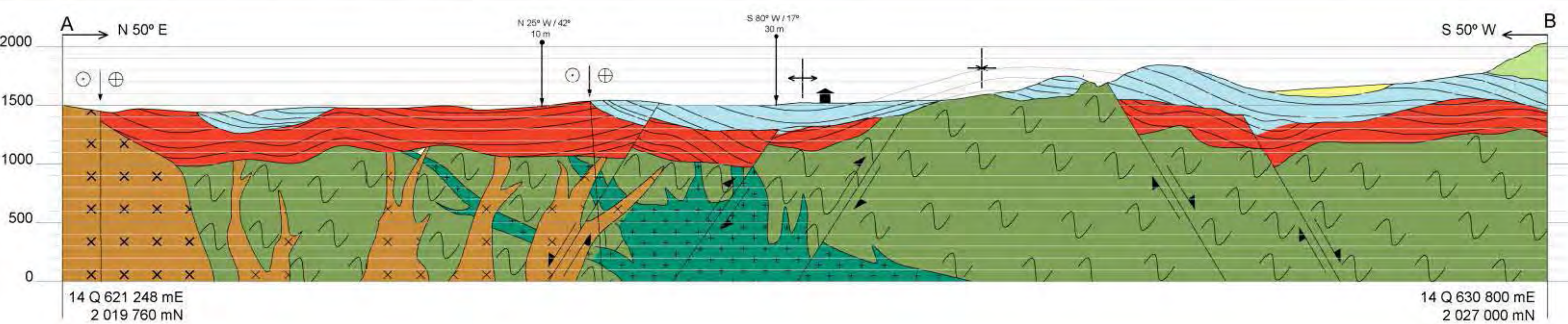
### SIMBOLOGÍA TOPOGRÁFICA

- |                        |   |
|------------------------|---|
| POBLADO                | ELIPSOIDE: GRS80  |
| CARRETERA ESTATAL      | PROYECCIÓN: UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR                    |
| TERRACERÍA             | DATUM HORIZONTAL: ITRF92  |
| CURVA DE NIVEL         | CUADRICULA: UTM A CADA 1000m                                    |
| CURVA DE NIVEL ACOTADA | FUENTE: Base Topográfica INEGI Carta San Juan Icaquixtla E14B74 |
| CORRIENTE INTERMITENTE | VARIACIÓN MAGNÉTICA ANUAL: 4'                                   |
|                        | DECLINACIÓN MAGNÉTICA 2010: 8° 35'                              |

### ESCALA GRÁFICA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 MAPA GEOLÓGICO  
 ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO DE LA SECUENCIA JURÁSICA DE LA REGIÓN DE SANTO DOMINGO TIANGUISTENGO, OAXACA - SANTA CRUZ NUEVO, PUEBLA.  
 MIGUEL ANGEL CRUZ CRUZ | 2012



## 2.1 Paleozoico.

En el área estudiada la Era Paleozoica está representada por el Complejo Acatlán, los cuerpos intrusivos pertenecientes al Tronco de Totoltepec y al Gabro Santo Domingo. Además se considera que la Unidad Piedra Hueca puede pertenecer al Paleozoico Superior.

### 2.1.1 Complejo Acatlán.

El nombre de complejo Acatlán fue utilizado formalmente por primera vez, por Ortega-Gutiérrez en 1978, para sustituir a lo que anteriormente se conocía con el nombre de Formación Acatlán, anteriormente definida por Carl Fries y Rincón-Orta en 1965. El primer intento por dividir estratigráficamente a estas rocas metamórficas lo realizó Ordóñez (1906), quien la definió como “Formación Acatlán”, más tarde en 1965 Fries y Rincón-Orta, lo nombraron formalmente. “Formación Acatlán”, sustituyendo el nombre de “Esquistos Acatlán” dado anteriormente por Salas en 1949. Rodríguez (1970) restringe aún más el nombre de Formación Acatlán, para referirse solo a una de las divisiones litológicas de Grupo Acateco, propuesto por el mismo autor.

Se denomina Complejo Acatlán, al grupo de rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias paleozoicas que han sido deformadas y metamorfozadas con distintas intensidades; este complejo aflora en el área de la Mixteca de los estados de Puebla, noroeste de Oaxaca y noreste de Guerrero, constituye las secuencias más antiguas del Terreno Mixteco. El área tipo que la define, se encuentra a lo largo de la carretera federal 190 entre los poblados de Petlalcingo y Chila de las Flores, en la provincia morfotectónica de la Sierra Madre del sur (Ortega-Gutiérrez, 1981). En la figura 2.3 se puede observar la ubicación del área de estudio dentro del Complejo Acatlán, así como la distribución de otros complejos y de las diferentes fallas regionales que los separan.

Este complejo ha sido dividido litoestratigráficamente en el Subgrupo Petlalcingo (Acatlán inferior), el cual esencialmente es de origen metasedimentario, este Subgrupo es sobreyacido por el Subgrupo Acateco (Acatlán superior) formado por rocas metasedimentarias y metavolcánicas; comprende también a la Formación Tecomate del

Devónico que cubre en discordancia a los 2 subgrupos (Ortega-Gutiérrez, et al., 1999).

Diversos estudios de este Complejo han permitido realizar diferentes fechamientos ampliamente distribuidos, lo cual refleja una compleja historia de deformación, actividad volcánica y sedimentación, las cuales han tenido cabida desde el Ordovícico hasta principios del Pérmico (Santa María – Díaz., 2009). En la tabla 2.1 se muestra la posición estratigráfica de las unidades que constituyen al Complejo Acatlán.

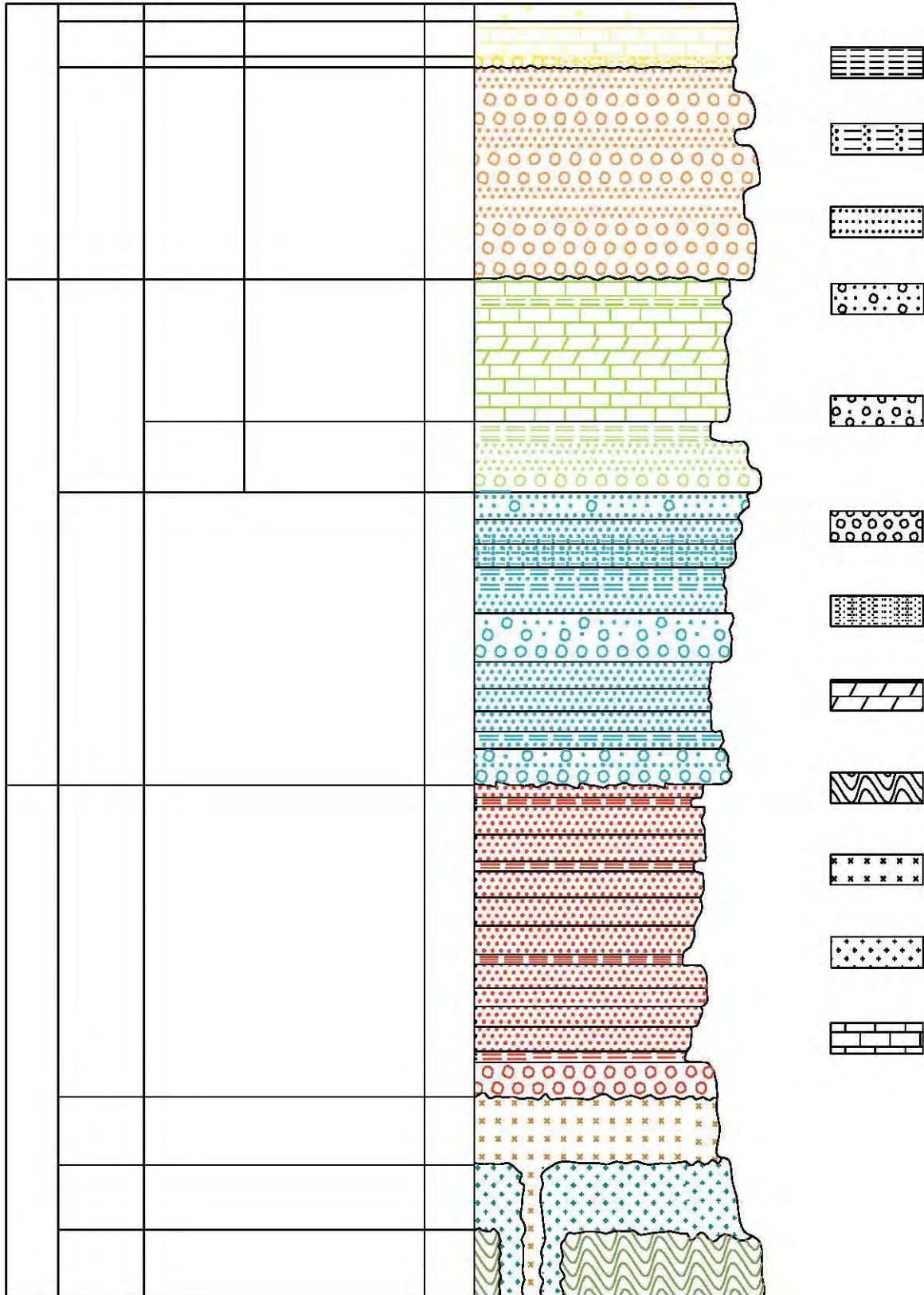


Figura 2.2. Columna estratigráfica regional, colores tomados de “Color Code according to the Commission for the Geological Map of the World (CGMW)”, Paris, France 2010. (modificado de Ortega-Guerrero, 1989).



Migmatita Magdalena: Es una migmatita anatexítica de composición tonalítico-diorítica; la parte anatexítica está formada por rocas de composición granítica a granodiorítica y el protolito estuvo compuesto probablemente por una sucesión de lutitas calcáreas, areniscas y dolomías. Esta unidad contiene remanentes de anfibolita, piroxenita, calsilicita, mármol e intervalos de gneis granítico. Anteriormente se pensaba que formaba parte de la parte basal del complejo Acatlán, recientemente se ha analizado dando edades de cristalización de 170 Ma, atribuyéndosela al Jurásico (Powell et al., 1999), lo cual de ser cierto podría ser a causa de un pulso térmico que, para esta parte de México, se asociaría con la apertura del Golfo de México. Más recientemente se ha establecido que pertenece al Pensilvánico Tardío - Pérmico Temprano con una edad de 204 Ma (Talavera-Mendoza et al 2005).



Figura 2.3. Ubicación general del Complejo Acatlán, mostrando la distribución de otros Complejos y de las diferentes fallas que los separan (Tomado de Sánchez-Zavala, 2005).

Formación Chazumba: compuesta de esquistos pelíticos principalmente de biotita, con alto contenido de cuarzo, los cuales presentan intercalaciones de bloques de composición metagabroica; los esquistos que se encuentran en la parte basal de esta formación, se presentan en bandas de esquisto feldespático de biotita y delgadas capas félsicas formadas por cuarzo, plagioclasa sódica, microclina y escasa biotita. Los esquistos micáceos (metapelitas) de esta formación ocurren a diferentes niveles estructurales y consisten principalmente de esquistos de muscovita-biotita-granate-cuarzo, con contenidos

ocasionales de estaurilita y sillimanita. La edad de esta formación fue establecida en el Pensilvánico Superior-Pérmico Temprano (Talavera-Mendoza et al., 2005).

<b>COMPLEJO ACATLÁN</b>	DIQUES SAN MIGUEL		
	TRONCO DE TOTOLTEPEC		
	GABRO SANTO DOMINGO		
	GRANITOIDES ESPERANZA		
	<b>SUBGRUPO ACATECO</b>	METASEDIMENTARIO	FORMACIÓN TECOMATE
		MAGMÁTICO	FORMACIÓN XAYACATLÁN
	<b>SUBGRUPO PETLALCINGO</b>	METASEDIMENTARIO	FORMACIÓN COSOLTEPEC
			FORMACIÓN CHAZUMBA
			MIGMATITA MAGDALENA

Tabla 2.1 Unidades litoestratigráficas del Complejo Acatlán (modificado de Ortega-Gutiérrez., 1978).

**Formación Cosoltepec:** Su litología está formada principalmente por secuencias alternadas y poli deformadas de filitas y cuarcitas con abundantes segregaciones de cuarzo metamórfico. La Formación Cosoltepec se ha fechado en 410 Ma (Devónico Temprano) la cual es la edad más confiable para esta formación (Talavera-Mendoza et al., 2005).

**Subgrupo Acateco (Acatlán superior):** la principal característica de este subgrupo es el metamorfismo de alta presión. Se encuentra compuesto por las siguientes unidades, en la base de la Formación Xayacatlán y en la cima la Formación Tecomate.

**Formación Xayacatlán:** está formada por esquistos de granate y mica blanca, rocas máficas y ultramáficas serpentinizadas, eclogitizadas y anfibolitizadas, metabasitas, esquistos pelíticos y metasedimentos y cuarcitas. Esta unidad ha sido interpretada como una ofiolita o metaofiolita desmembrada (Ortega-Gutiérrez, 1981); también contiene intercalaciones metasedimentarias e indicios de un metamorfismo retrogrado; la edad reportada para esta formación es del Ordovícico (Yáñez, et al., 1991).

**Formación Tecomate:** está constituida por esquistos verdes en facies de metabasitas, volcanoclásticos metamorfoseados, metagrauvas, metaarcosa, metaconglomerado, metacaliza localmente fosilífera, pelita, metapelitas, de débil a medianamente carbonosas. Con base en fragmentos de fósiles (*Cistoides*) encontrados, la edad del depósito considerada probablemente Devónico Medio-Tardío y en la presencia de clastos de los Granitoides Esperanza del Silúrico-Ordovícico (Yáñez et al., 1991). Estas unidades se

encuentran intrusionadas por un leucogranito del Ordovícico Temprano (Talavera-Mendoza et al., 2005).

En el área de estudio aflora la Formación Tecomate; la que aflora, localmente en las inmediaciones de Santo Domingo Tianguistengo se observa un esquisto verde de muscovita con una foliación en dirección S45E / 44°. Mientras que en la zona de la barrancas el Amate y Copal, se encuentra un esquisto verde de muscovita intercalado con grafito y filitas (figura 2.4).

Microscópicamente se pudo interpretar como un esquisto verde de muscovita y clorita, con contenido de cuarzo metamórfico en bandas (figura 2.5).



Figura 2.4. Afloramiento de esquisto verde de la Formación Tecomate con contenido de grafito y filitas, al sur de la Barranca el Amate.

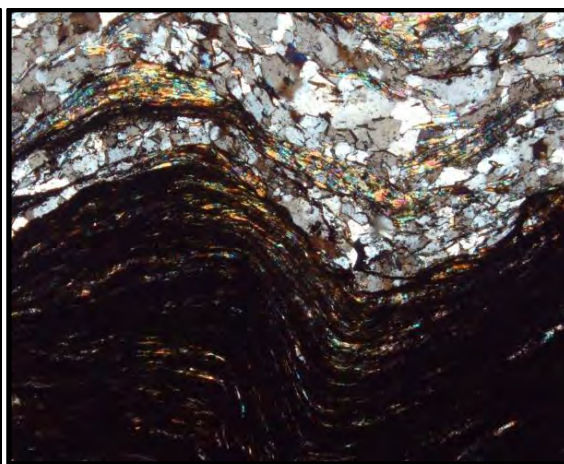


Figura 2.5. Fotografía microscópica donde se puede observar la foliación y esquistosidad, además de minerales de cuarzo y muscovita, al norte de la Barranca el Copal.

**Granitoides Esperanza:** esta unidad está compuesta por metagranito, augengneiss, paquetes extensos de migmatitas, esquistos y milonitas, cuyos protolitos fueron rocas de composición tonalítica a granítica y en menor medida anfibolitas. Estas unidades son producto de una deformación cataclástica cuyo producto es una secuencia de, protomilonita – milonita - ultramilonítica (Ortega-Gutiérrez., 1978), con restos de roca verde y sedimentos filoníticos; estos granitoides han sido interpretados como una fusión parcial de la corteza continental en el Ordovícico Medio – Silúrico Temprano. El contacto con el subgrupo Acateco es de aparente intrusión. La edad reportada para esta formación es del Ordovícico (Yañez, et al., 1991), otra edad publicada recientemente para esta misma es del Ordovícico Medio-Superior (Talavera-Mendoza., et al 2005).

Los contactos del Complejo Acatlán, son tectónicos, principalmente formados por fallas con los cuerpos intrusivos, Tronco de Totoltepec y Gabro Santo Domingo, como lo muestra el mapa geológico.

### 2.1.2 Unidad Gabro Santo Domingo

Se denomina Gabro Santo Domingo a un cuerpo intrusivo, en el que domina la composición gabroica; este cuerpo se encuentra situado en los alrededores de Santo Domingo Tianguistengo, Oaxaca. Así también se identifica una franja cortada por el Río Magdalena y por la Barranca Cazahuate (Ramos Leal., 1989), dentro del área de estudio.

Se trata de una serie de rocas ígneas intrusivas de composición básica a intermedia, gabrodiorita-granodiorita, en el cual domina la composición gabroica. En Santo Domingo Tianguistengo, la unidad es de carácter máfico, en donde se presenta un gabro de hornblenda; hacia el suroeste se vuelve menos máfica cambiando a granodiorita de hornblenda. En afloramientos en la Barranca Cazahuate se puede observar una aureola de metamorfismo en su contacto con el Tronco de Totoltepec; dicho metamorfismo se manifiesta como un gneis granítico ligeramente foliado (Ramos Leal., 1989), quien reporta las siguientes características en el gabro: cristales brechados y fracturados, con rellenos de clorita, calcita y sílice; también llegan a presentarse maclas deformadas, lo cual es el resultado de los sistemas de esfuerzos posteriores al emplazamiento.

Mediante el uso de los análisis químicos y utilizando el diagrama TAS para rocas plutónicas, la unidad se clasifica como gabro subalcalino y alcalino (Arcos-Hernández et al., 2008). Este cuerpo se encuentra intrusionado por el Tronco de Totoltepec (figuras 2.6 y 2.8) y se encuentra en contacto por una falla normal (Ramos Leal., 1989) con el Complejo Acatlán. Su contacto con el tronco de Totoltepec en algunas localidades es tectónico y se observa una aureola de metamorfismo de contacto.

Microscópicamente se pudo clasificar como un gabro de hornblenda, con calcita y minerales opacos (figura 2.7).

### 2.1.3 Tronco de Totoltepec.

Se denomina Tronco de Totoltepec a la unidad intrusiva, que en 1970 describió Fries y colaboradores refiriéndose a un cuerpo batolítico de composición granítica, el cual aflora principalmente en el poblado de Totoltepec de Guerrero. Este intrusivo es delimitado por el

Complejo Acatlán; en la porción norte está en contacto con el Gabro Santo Domingo y por las rocas sedimentarias del Mesozoico.



Figura 2.6. En la figura se puede observar la Unidad Gabro Santo Domingo (en color oscuro), siendo intrusionado por diques del granito del Tronco de Totoltepec, en la Barranca Tehuixtle.

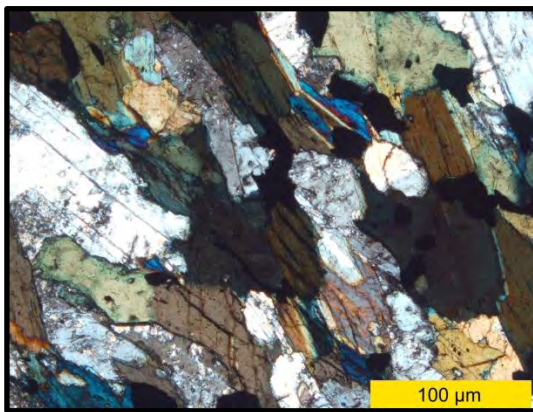


Figura 2.7. En la fotomicrografía se puede observar la plagioclasa (transparentes), hornblenda (coloreados y de alto relieve) y minerales opacos que componen el gabro, en la Barranca Tehuixtle.



Figura 2.8. En la imagen se puede observar al Gabro Santo Domingo (color oscuro) siendo intrusionado por el granito del Tronco Totoltepec, en el Rio Acatlán sobre la Barranca Tehuixtle.

Este cuerpo tiene una composición variable, que ha sido estudiado por diferentes autores. Calderón (1956) lo clasifica como una cuarzodiorita, Fries (1970) y colaboradores la describieron como una leucogranodiorita; este intrusivo tiene una ligera foliación en dirección E-W, los minerales esenciales de esta unidad son cuarzo y plagioclasa sódica.

Ortega-Gutiérrez incluye también en su descripción original a los Diques San Miguel, diques granítico posttectónicos que incluyen granito de muscovita, biotita y granate, tonalita

de hiperstena, granito de biotita, pegmatitas y aplitas. En un trabajo posterior (Ortega-Gutiérrez, 1981) excluye al tronco de Totoltepec y a los diques San Miguel del Complejo Acatlán.

Ramos Leal (1989) describe una variación en la composición de este cuerpo intrusivo, ya que en la zona entre Tianguistengo y Totoltepec, se encuentra representado por un granito feldespático-alcalino de hornblenda, mientras que en la zona entre Totoltepec y Xayacatlán, se presenta como leucogranodiorita.

La primera edad reportada para el tronco de Totoltepec fue de 440 Ma, fue del Ordovícico Tardío (Fries et al., 1970). Actualmente la edad del Tronco ha sido estimada en el Devónico u Ordovícico Superior-Silúrico Inferior.

Su contacto con el Complejo Acatlán es tectónico como ocurre en su límite oriente del área de estudio donde se tiene una falla lateral derecha. En ocasiones se encuentra intrusionando al Complejo Acatlán mediante diques de composición granítica y pegmatítica (Ramos Leal., 1989); el contacto con el Gabro Santo Domingo presenta metamorfismo de contacto (Ramos Leal., 1989), encontrándose abundantes diques (figuras 2.6 y 2.8) en los gabros localizados en las inmediaciones de Tianguistengo, Oaxaca. En la figura 2.11 se puede observar la distribución del complejo Acatlán incluyendo al Tronco de Totoltepec.

Localmente se observó un granito masivo, poco alterado de color rosa, al sur de Santo Domingo Tianguistengo cercano a la Barranca el Coco donde se puede observar en contacto con el Complejo Acatlán mediante una falla inversa, como se puede observar en la figura 2.9; en el análisis microscópico se pudo clasificar como un monzogranito de biotita y muscovita, con fracturas rellenas de arcillas (figura 2.10).

#### **2.1.4 Unidad Piedra Hueca.**

Se conoce como Unidad Piedra Hueca a la unidad sedimentaria expuesta en el sur de Ixcaquixtla Puebla; se encuentra compuesta por un conglomerado polimícticos con matriz de grauvacas líticas, interestratificadas con arenisca (grauvacas líticas), limolita, lutitas de color predominante mente rojo; esta unidad también incluye lodolitas. La unidad se encuentra descansando de forma discordante sobre el Complejo Acatlán y también sobre el Tronco de Totoltepec.

Se pueden encontrar buenos afloramientos a lo largo del camino que une los poblados de Totoltepec y Santa Cruz Nuevo, así como en la Barranca Piedra Hueca.

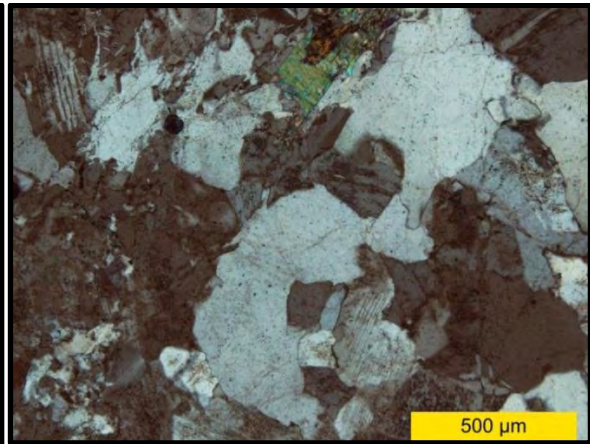
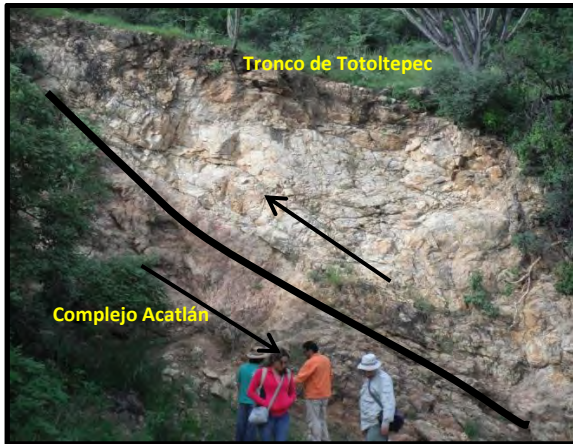


Figura 2.9. Contacto por falla inversa del Tronco de Totoltepec y el Complejo Acatlán, dos kilómetros al sur de Santo Domingo Tianguistengo.

Figura 2.10. Fotomicrografía del monzogranito del Tronco de Totoltepec, en la Barranca Tehuixtle.

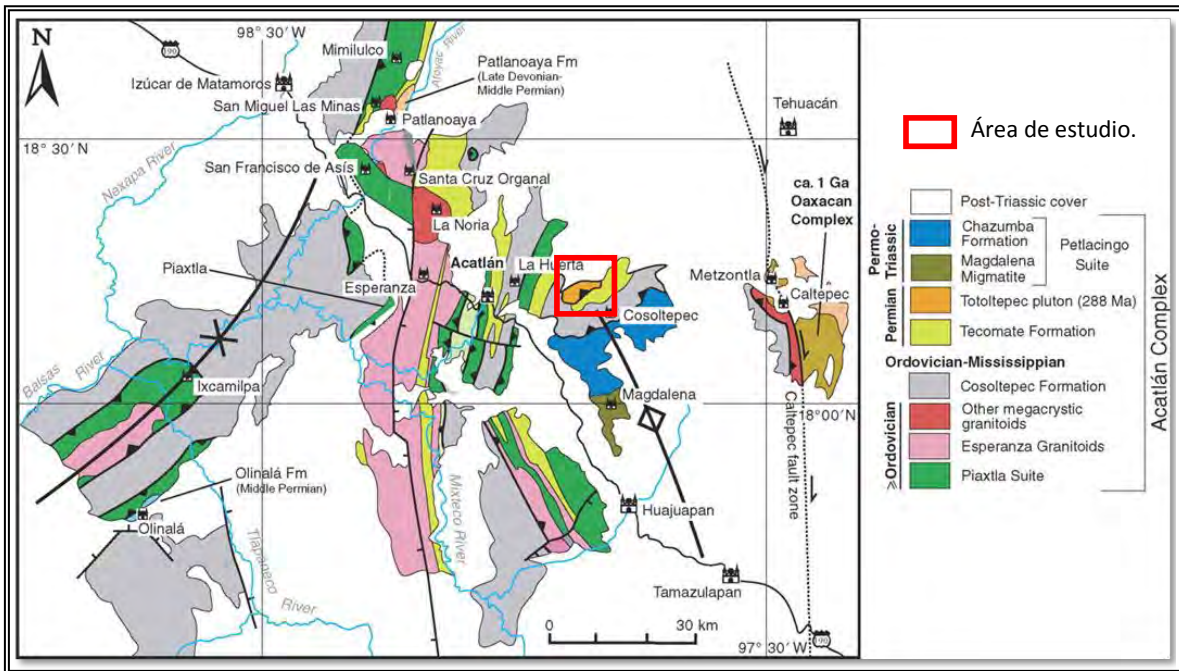


Figura 2.11. Distribución del Complejo Acatlán incluyendo el Tronco de Totoltepec (tomado de Duncan Keppie, 2009).

La parte basal de esta unidad la constituye un conglomerado polimíctico formado tanto por clastos que se derivan del tronco de Totoltepec, como por fragmentos de esquisto subangulares y mal clasificados, provenientes del Complejo Acatlán; el diámetro de los fragmentos varían entre 3 y 25 cm (Ortega Guerrero, 1989); la matriz está formada por grauvacas líticas, se compone de estratos de 0.5 a 1 metro de espesor. Este conglomerado se

encuentra interestratificado con limolitas y grauvacas líticas de grano fino de color verde en estratos de .5 a 5 metros de espesor.

En general; los estratos presentan una base conglomerática, cambiando hacia la cima a grauvacas líticas de grano grueso, medio y fino hasta llegar a limolitas; el cambio a limolitas es normalmente transicional y ocasionalmente brusco (Ramos Leal., 1989).

Este conglomerado tiene un espesor máximo de 80 metros, mientras que en las zonas de menor aporte el espesor puede llegar a medir 30 metros.

Ramos Leal (1989), realiza una separación de la parte basal denominándolo “Formación Tianguistengo”; en el presente trabajo se hace caso omiso de esta separación para tomarlo como parte de la Unidad Piedra Hueca.

Sobre el conglomerado basal descansa concordantemente y alternadamente, una secuencia de areniscas, conglomerado y lutitas; hacia la cima los conglomerados, disminuyen presentando una coloración verde en roca fresca. Los fragmentos de roca se presentan de subredondeados a redondeados con dimensiones que alcanzan hasta los 7 cm. Dentro de esta unidad se puede observar un paquete sedimentario hasta de 7 metros de espesor, el cual está compuesto por un conglomerado oligomítico, con matriz de grauvacas líticas. La principal característica de este conglomerado es que se presenta clastos en forma elipsoidal los cuales llegan a medir hasta 13 cm de diámetro en su eje mayor; estos clastos son principalmente de limolitas y litarenitas de grano fino, de color verde pardo.

La unidad Piedra Hueca aflora principalmente en el suroeste de la región de estudio; fisiográficamente la unidad se expresa como un lomerío suave con mayor vegetación, las estructuras apreciables son una serie de pequeños pliegues buzantes hacia el noroeste y noreste (Ramos Leal., 1989).

La cementación es normalmente moderada, pero existen intervalos con fuerte cementación por óxido de hierro. En la arenisca los granos tienen contornos angulares a subredondeados, y los tamaños varían de arenas gruesas a finas. Macroscópicamente, al intemperismo, las areniscas de esta unidad presentan un color rojizo, mientras que al fresco presentan colores gris claro que por intemperismo varían, de; verde, rosa y pardo. Comúnmente presenta restos de tallos, estratificación graduada y rizaduras de corriente en las partes más finas.

El análisis petrográfico de 28 muestras, realizado por Ortega Guerrero 1989, reveló los siguientes resultados: la mayor parte de la roca está sustentada estructuralmente por cuarzo-feldespato-fragmentos líticos, los cuales son en su mayoría equidimensionales de contornos angulosos a subredondeados, el principal cementante es el sílice y en menor porción está la calcita y la hematita; la matriz es prácticamente ausente.



Mineralógicamente tiene dos componentes principales, los cuales son los componentes detríticos y los componentes químicos. Los componentes detríticos principales son: cuarzo, feldespato, líticos, micas y minerales pesados.

Cuarzo: en general presenta contornos angulosos a subredondeados, la mayor parte es de extinción homogénea y solo una pequeña parte es de extinción ondulante, lo cual nos indica que la mayor parte del cuarzo que compone esta unidad proviene del Tronco de Totoltepec.

Feldespato: los contornos que presenta la mayoría de los feldespatos varían de angulosos a subredondeados. Dentro de las plagioclasas contiene oligoclasas y andesina, dentro de los feldespatos alcalinos se identifican ortoclasa y microclina. La mayor parte de los feldespatos alcalinos presentan una ligera alteración a sericita.

Líticos: generalmente de contornos angulosos a subredondeados, la mayor parte proviene de los cuerpos metamórficos y de rocas ígneas intrusivas.

Micas: principalmente es biotita con pequeños contenidos de muscovita y clorita.

Minerales pesados: principalmente formado por minerales opacos de los cuales domina la hematita, el cual parece ser de origen detrítico (Ortega Guerrero, 1989).

Lo constituyentes químicos principales son: calcita, cuarzo autógeno, sericita y materia orgánica.

Calcita: relleno de espacios entre granos, con cantidades menores a 7%.

Cuarzo autógeno: se presenta como crecimiento secundario.

Sericita: se presenta como alteración de los feldespatos.

Materia orgánica: emplazada en los intersticios (solo se encontró en una muestra).

Las muestras analizadas por Ortega Guerrero (1989), revelan que se trata de una arcosa, a excepción de una muestra de la parte superior la cual se clasificó como litarenita.

Diversos autores han reportado varios espesores para la Unidad Piedra Hueca, Ortega Guerrero (1989) reporta un espesor total de 882 metros, Silva-Romo et al.(2010) y colaboradores estiman un espesor de alrededor de 800 metros, Ramos Leal (1989) divide esta unidad (Formación Tianguistengo de 200 m y miembro Piedra Hueca de 800m), lo cual al sumar ambos espesores estimados, da un total de 1000 metros. El espesor más confiable es el que reportó Ortega-Guerrero, de 882 metros en su tesis de maestría, ya que corresponde al estimado en este trabajo, donde se considera un espesor calculado a partir de una sección geológica.

El registro paleontológico ha sido reportado por dos diferentes fuentes, una es la tesis de Beatriz Ortega (1989) y otra fuente de gran importancia es la que reportó Silva-Romo y

Mendoza-Rosales en el 2000. El material paleontológico reportado por Ortega-Guerrero 1989 fue analizado en el Instituto de Geología de la UNAM, por el doctor Reinhard Weber; tomando en cuenta las malas condiciones de las hojas, solo se puede saber que se trata de ejemplares de cicadofitas del genero *Otozamites*, siendo más probables que pertenezcan al Jurásico. En las inmediaciones del Cerro la Matanza se colectó un ejemplar de *Ptillophyllum acutifolium* el cual ha sido reportado en capas del Jurásico inferior y medio de Oaxaca y Puebla (Silva-Pineda., 1978).

El material reportado por Silva-Romo y Mendoza-Rosales (2010), en el Arrollo Cazahuate fue determinado como *Calamites sp.*, mientras que en el Rio Magdalena se encontraron ejemplares que pueden corresponder a *Sphenophyllum sp.* Con base en lo reportado para estos autores, esta unidad se pueden ubicar en el Paleozoico Superior, lo cual cambia la edad estimada por Beatriz Ortega y pasa a ser parte del Sistema Paleozoico y no del Mesozoico, como antes se pensaba; sin embargo se deber realizar estudios más específicos de otros fósiles para precisar la edad.

Por las características de tipo de estratificación lenticular con superficies irregulares, como las rizaduras de corriente y la estratificación, indican que la unidad es de carácter predominantemente fluvial con importantes variaciones de energía, que indican que se tratan de abanicos y corrientes entrelazadas (braided streams), intercaladas con clastos finos que pudieron haber sido depositados en planicies de inundación. La parte superior compuesta por una litarenita con fragmentos volcánicos (40 metros de espesor), dan un origen híbrido a la unidad.

Se sugiere que la sedimentación ocurrió en condiciones áridas, en una depresión al pie de un escarpe de falla (Silva Romo et al., 2000); ya que aquí, se pueden identificar abanicos aluviales y clastos provenientes del Tronco de Totoltepec, lo cual hace suponer que hubo un exposición previa del Tronco de Totoltepec a causa de una falla normal (Silva Romo et al., 2000).

El contacto superior de esta unidad es en discordancia angular con la Unidad Otlaltepec; también puede ser observada una discordancia angular al este de San Pablo Ameyaltepec, al occidente de la zona estudiada, es discordante con la Unidad Magdalena.

Si se considera la edad del Paleozoico Superior, se puede correlacionar con la Formación Matzitzi ubicado al sureste de la región estudiada.

Localmente en el Rio Acatlán se pudo observar una arenisca conglomerática (figura 2.12), con estratificación cruzada y gradada, mineralógicamente contiene cuarzo, feldespato, líticos y minerales accesorios como arcilla y óxidos de fierro.



Figura 2.12 Unidad Piedra Hueca, mostrando una arenisca conglomerática y estratificación cruzada, en la Barranca Piedra Hueca al oeste de Santo Domingo Tianguistengo.

## 2.2 Mesozoico.

La Era Mesozoica se encuentra representada por “lechos rojos” descritos por Calderón (1956); posteriormente Ortega-Guerrero, (1989), identifica dos unidades estratigráficas las cuales son las anteriormente mencionadas; Ramos Leal (1989) describe a estas unidades como la Formación Tecamazuchil, la cual divide en tres miembros: “Miembro Piedra Hueca”, “Miembro Santa Cruz” y “Miembro Otlaltepec”. En el presente trabajo se toma como base la división hecha por Ortega Guerrero, 1989 y se considera que las unidades pertenecientes al Mesozoico son la Unidad Otlaltepec, la Unidad Magdalena y la Caliza Coyotepec. En este subcapítulo se describe de forma resumida lo referente a la Unidad Otlaltepec, para su posterior análisis en el capítulo siguiente.

### 2.2.1 Unidad Otlaltepec.

Ortega Guerrero (1989), definió informalmente con este nombre a la secuencia alternada de arenisca, lutita y limolita, que descansa en discordancia angular sobre la Unidad Piedra Hueca y en algunas porciones sobre el Complejo Acatlán y el Tronco de Totoltepec. En los afloramientos presenta notables acuñamientos hacia el oriente. En este trabajo se logró medir un espesor total de la base a la cima de 826.5 metros.

Su parte basal se compone de conglomerados, conglomerados arenosos y arenisca conglomerática, con fragmentos angulosos de hasta 10 cm de diámetro (figura 2.13); posteriormente se tienen areniscas de grano medio y fino con intercalaciones de limolita, los granos son derivados de las unidades inferiores, esquisto y Tronco de Totoltepec. Es bastante parecida a la unidad Piedra Hueca, teniendo como diferencia principal que es menos arcillosa.

Los diferentes afloramientos presentan un color que varían de rojo a café rojizo en la superficie intemperizada y en la superficie fresca presenta un color rosa, a pardo claro. Los granos tienen una selección de buena a moderada y la redondez varía de angulosa a subredondeada.



Figura 2.13. Conglomerado basal de la Unidad Otlaltepec, en el Río Acatlán, al este del Cerro Xiotillo.



Figura 2.14. Costras formadas por óxidos en la parte superior de los estratos de arenisca de la Unidad Otlaltepec, en el Cerro la Colorada.

Los principales componentes minerales son: cuarzo, feldespato, líticos, micas y minerales pesados.

**Cuarzo:** representa los componentes detríticos más abundantes, tiene una selección de mala a buena, los contornos de los granos son de subangulares a subredondeados; la mayoría es de extinción homogénea y una pequeña porción de extinción ondulante.

**Feldespatos:** la mayor parte está alterado ligeramente a sericita y minerales arcillosos, con contornos de angulosos a subredondeados.

**Líticos:** son diversos, abundan de rocas volcánicas félsicas, fragmentos de cuarcitas, esquistos y lavas, de contornos angulosos a subredondeados, ligeramente alterados a minerales arcillosos.

**Micas:** biotita en cantidades menores de 3%.

**Minerales pesados:** el zircón se encuentra únicamente en trazas (Ortega Guerrero., 1989); el principal mineral opaco es la hematita.

Como componentes químicos, son el cuarzo autógeno, junto con la sericita y los minerales arcillosos, que son producto de la alteración de los feldespatos y en menor medida de fragmentos líticos. Hacia la parte superior de la unidad aumenta el contenido de óxido, formando costras de óxido de hierro y en menor proporción óxidos de color negro posiblemente de manganeso (figura 2.14).

Las areniscas han sido clasificadas por Ortega Guerrero (1989), como sublitarenita de acuerdo con la clasificación de Pettijohn, muy cercanas al límite de las subarcosas. El espesor total de esta unidad medido en este estudio es de 826.5 metros.

La unidad Otlaltepec subyace mediante una discordancia angular a la Unidad Magdalena, hacia el noroccidente está cubierta discordantemente por la Formación Agua de Luna.

El desconocimiento de los límites de la Unidad Otlaltepec, permite solo considerar correlaciones con la Formación Tecomate de Petlalcingo, Puebla y Huajuapán de León; también se puede correlacionar con la parte superior del Grupo Tecocoyunca.

### 2.2.2 Unidad Magdalena.

Con este nombre se definió de manera informal por Ortega Guerrero (1989) a una secuencia de conglomerado, arenisca, lutita y marga, cubierta en la parte superior por caliche y derrubios. Los principales afloramientos se pueden encontrar en el Arrollo Magdalena, a 3.5 km al noreste de Santo Tomás Otlaltepec, en la cañada Palma Amarilla, y en las barrancas Chirimiyo y el Encino, al sureste de San Felipe Otlaltepec.

En la parte basal tiene contenido de cuerpos conglomeráticos blancos y guindas con estratos de superficie irregular intercalados con horizontes arenosos que constituye un espesor de aproximadamente 30 metros, como se puede observar en la figura 2.15. Los componentes clásticos son fragmentos de granodiorita, esquistos y cuarzo de color blanco y negro, ambos subredondeados.

Hacia la parte media la unidad se adelgaza y es predominantemente arenosa, las intercalaciones de conglomerado van disminuyendo paulatinamente y comienzan a aparecer intercalaciones arcillosas de hasta 20 centímetros de espesor en colores verde claro; también se pueden encontrar horizontes bentoníticos de hasta 30 centímetros de espesor. Las areniscas encontradas se pueden clasificar como sublitarenitas (Ortega-Guerrero, 1989), donde los clastos están compuestos por fragmentos de rocas volcánicas subangulosos y bien clasificados.

En la parte superior de la unidad predomina la fracción fina arcillosa, cambiando de forma paulatina a carbonatada, hasta terminar en una marga en la parte superior de la unidad. Ortega Guerrero (1989), reporta un espesor local de 200 metros.

Descansa en discordancia angular sobre las unidades clásticas Piedra Hueca y Otlaltepec, y su contacto superior pasa transicionalmente hacia la parte superior, para dar lugar a la Caliza Coyotepec.

Es difícil reconocer la discordancia angular que separa a la Unidad Magdalena de las unidades Piedra Hueca y Otlaltepec, solo es visible en la parte norte en la región de Temoapa, Puebla.

Al no encontrarse registro de fauna o flora fósil, solo se pueden asignar edades tentativas de acuerdo a la posición estratigráfica que ocupa dentro de la columna. Por encontrarse debajo de la Caliza Coyotepec de edad Albiano-Cenomaniano, se le puede asignar una edad tentativa del, Aptiano (?)- Albiano y con los fósiles recolectados en este trabajo (figura 2.16) se tratará de asignar una edad más precisa. El ambiente sedimentario es continental, pasando gradualmente a un ambiente de litoral.

Suponiendo que la edad asignada por Ortega Guerrero (1989), a esta unidad es correcta, se le podría correlacionar con las Capas Rojas de la Sierra del Tentzo, la Formación San Isidro de Tezoatlán Grupo Tlaxiaco y la Formación San Juan Raya.



Figura 2.15. Afloramiento de la Unidad Magdalena de color rojizo, presentando una arenisca con intercalaciones conglomeráticas, en el Río Magdalena al norte de Santo Tomas Otlaltepec.



Figura 2.16. Tronco colectado en la Unidad Magdalena, sobre el Río Magdalena al norte de Santo Tomas Otlaltepec.

### 2.2.3. Caliza Coyotepec.

Ortega Guerrero (1989), define de manera informal a esta unidad, que aflora en el sur y oeste de San Vicente Coyotepec; se trata de una caliza biomicrítica parcialmente dolomitizada, con contenido de nódulos y bandas de pedernal negro, las cuales están localizadas en las mayores elevaciones de la zona. Aguilera (1906), la define como Formación Cipiapa refiriéndose a una secuencia de calizas correlacionable con

Cenomaniano de la región Orizaba. Calderón (1956), describe la unidad como calizas compactas, color gris crema y con una potente estratificación que llega a tener espesores de hasta 10 metros, presentando paquiodontos, foraminíferos, (principalmente miliólidos) y en menor cantidad ostrácodos.

En el trabajo de tesis de Ortega Guerrero (1989), no se utiliza el nombre de Formación Cipiapa, como Calderón García (1956), por carecer ésta de una descripción detallada, ni el de Formación Morelos o Caliza Petlalcingo, por no tener elementos objetivos que demuestren la continuidad física entre dichas unidades; por tales motivos se opta por utilizar el nombre de Caliza Coyotepec.

Esta unidad se puede dividir en tres miembros principales (inferior, medio y superior), los cuales son visibles en el Río Magdalena al noreste de Santo Tomás Otlaltepec. El miembro inferior tiene como principal característica, que se encuentra formado por biomicrita, donde los estratos llegan a tener de 30 cm a 1 metro de espesor, de color beige, con nódulos y lentes de pedernal.

El miembro medio está constituido por biomicrita, biointramicritas y biomicruditas (Ramos-Leal, 1989) en estratos de 20 cm a 2 m de espesor, de color beige con horizontes completamente dolomitizados, horizontes de brecha intraformacional y de coquina.

El miembro superior está compuesto por biomicrita y biomicrudita es estratos de 30 cm a 3 m de espesor; en ocasiones se presentan brechadas y fracturadas con rellenos de calcita, con intercalaciones de horizontes arcillosos de 20 cm de espesor. La cima se encuentra cubierta por caliche.

Para el miembro inferior se estima en un espesor de 150 metros; al miembro medio, de 150 metros y al miembro superior en 100 metros (Ortega-Guerrero, 1989); dando un total de 450 metros. Barceló (1978), estima un espesor mayor a los 900 metros, Ramos-Leal (1989) midió un espesor de 400 metros en el Río Magdalena, el cual puede incrementarse pues no aflora la parte superior, Martínez Avilés (2010), reporta un espesor medido de 157.5 m advirtiendo que este puede ser mayor.

En el miembro inferior se encontraron restos de ostras y bancos de rudistas, donde Buitrón Sánchez (Alencaster, 1963), identificó *Toucasia polygyra* (Albiano tardío al Cenomaniano). Ramos Leal, reporta dolomías biógenas de estratificación media, mientras que, en sección delgada pudo identificar miliólidos, fragmentos de moluscos y equinodermos.

En el miembro medio se encontraron restos de gasterópodos y pelecípodos no identificables y miliólidos, entre los que Carreño (1989), identificó como *Nummoloculina heimi Bonet*,

(Albiano al Cenomaniano). Ramos-Leal (1989) reporta que identificó en secciones delgadas milliolidos, foraminíferos bentónicos biserales, fragmentos de moluscos y equinodermos. En el miembro superior no hay fósiles reportados.

Calderón (1956), reporta fauna fósil del Albiano temprano; López Ramos (1979), la considera del Cenomaniano, Ortega Guerrero (1989), con base en los fósiles de foraminíferos encontrados, le asigna una edad del Albiano–Cenomaniano. Ramos Leal, (1989), también da la misma edad para esta formación, por lo cual, en este trabajo se considera en este rango de edad, mientras que Martínez Avilés (2010) da una edad del barremiano.

Sobreyace a la Unidad Magdalena de forma transicional, no se observa límite superior, por estar cubierto por aluvión; hacia el este, tiene contacto por falla normal con la Unidad Pozo Hondo.

Por la presencia de bancos de rudistas en la parte inferior, se interpreta como un depósito de plataforma carbonatada, con un miembro arrecifal que cambia a un ambiente de intermarea, donde se desarrollan grietas de desecación; posteriormente por procesos diagenéticos se produjo dolomitización. Localmente en el miembro inferior, se pudo observar una caliza con estratos irregulares (figura 2.17) y contenido de pedernal, con el análisis de una lámina delgada se pudo calificar como una caliza dolomítica (figura 2.18), la cual tiene abundante material fósil.

La Caliza Coyotepec se puede correlacionar con la Formación Morelos que aflora en Puebla, Oaxaca y Guerrero; con la Caliza Teposcolula en Puebla y Oaxaca; con la Caliza Petlalcingo y la Formación Tlayúa, del estado de Puebla.



Figura 2.17. Estratos irregulares de la Caliza Coyotepec, en el Río Magdalena, al norte de Santo Tomas Otlaltepec.

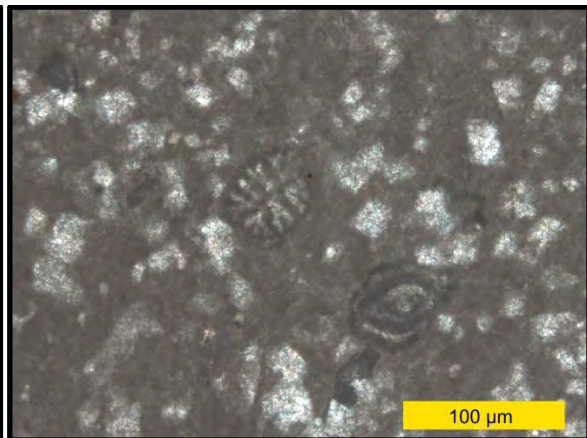


Figura 2.18. Fotografía microscópica de la Caliza Coyotepec, en el Río Magdalena, al norte de Santo Tomas Otlaltepec.



### 2.3. Cenozoico.

El enfoque del presente estudio hacen necesario disponer de la información generada por anteriores estudios para la realización de una columna estratigráfica completa de la zona Santo Domingo Tianguistengo-Santa Cruz Nuevo; por lo que, las características de las formaciones más recientes al Jurásico se han tomado de trabajos anteriores, siendo el más representativo el de Ortega Guerrero (1989) y de Ramos Leal (1989), completando la información con observaciones de campo.

#### 2.3.1 Unidad Pozo Hondo.

En la porción noreste de la zona de estudio, aflora una secuencia continental que se encuentra sobrepuesta discordantemente sobre la Caliza Coyotepec; esta unidad está formada por un paquete de conglomerado intercalado con estratos de areniscas conglomeráticas, descritos informalmente por Ortega Guerrero (1989), con el nombre de Unidad Pozo Hondo.

Esta unidad se encuentra formada por conglomerados, compuesto por clastos de cuarzo, pedernal, arenisca de color rojo, caliza micrítica y caliza biomicrita; esta última presenta miliólidos. Los clastos que conforman el conglomerado van de 2 mm a 5 cm, en ocasiones los clastos de caliza llegan a tener hasta 30 cm.

La forma de los clastos varía de subangulares a subredondeados y solo los fragmentos de pedernal se presentan en una variedad de angulares a subangulares. La matriz de este conglomerado es arcillo-arenosa de colores claros, la matriz está principalmente formada por caliza mal clasificada, el cementante está representado por calcita espática que rellena los intersticios. Este conglomerado fue clasificado como un conglomerado sedarenítico (Ortega-Guerrero, 1989). Las areniscas conglomeráticas, presentes en la unidad están formadas por clastos de cuarzo, esquisto y arenisca, son de color verde y guinda. Se considera que la unidad completa tiene un espesor aproximado de 600 m (Ortega-Guerrero, 1989).

No se observa su contacto superior por estar cubierta por aluvión, encontrándose los mejores afloramientos al este de la población de Santa Catarina Tehuixtla; la unidad se encuentra descansando discordantemente sobre la Caliza Coyotepec; hacia el sur se encuentra en contacto por falla normal con esta misma unidad.

Debido a la falta de fósiles se le asigna una edad tentativa posterior a las deformaciones compresivas del Cretácico Superior-Cenozoico Inferior, asignándole una es Paleógeno, Temprano.

### **2.3.2. Deposititos Clásticos del Neógeno.**

Fueron denominados informalmente por Ortega Guerrero (1989), como “depósitos clásticos del Terciario”, se trata de un pequeño cuerpo en forma lenticular que aflora al norte de Santa Cruz Nuevo, en la Cañada La Cuesta y la parte baja de la Loma Encinera; representa un depósito antiguo de abanico aluvial disectado (Ortega-Guerrero 1989).

Se encuentra compuesta por litarenitas y conglomerado de color rojo, los estratos que la conforman presentan espesores de 30 cm a 80 cm; los clastos que la conformar son provenientes de la Unidad Otlaltepec. La estratificación buza con dirección noroeste 15°; y descansa discordantemente sobre la Unidad Otlaltepec. Se le asigna una edad tentativa del Cenozoico Superior (Ortega-Guerrero, 1989).

### **2.3.3. Formación Agua de Luna.**

Pantoja-Alor, 1989, denominó informalmente con este nombre a una secuencia de calizas de origen lacustre que afloran en la región de Tepexi de Rodríguez – Ixcaquixtla, Puebla; ésta secuencia se extiende hasta la parte norte de la región de estudio. Se encuentra formada por una caliza travertinosa de origen lacustre, presenta un color café claro, es porosa. Localmente se encuentra en estratos horizontales con espesores que varían entre 50 cm a 2 m. Descansa discordantemente sobre la Unidad Otlaltepec y el Complejo Acatlán. Pantoja-Alor, 1989, considera a esta formación con una posible edad pleistocenica.

Se puede correlacionar con la Formación Tehuitzingo, ubicada al noreste de la region de estudio; se trata de un depósito de tipo lacustre de areniscas conglomeráticas con matriz calcárea, intercalado con estratos de pedernal gris y horizontes de tobas arenosas, areniscas calcáreas con intercalaciones de caliza travertinosa, limolita y lutita, considerado del pleistoceno (Calderón - García, 1956).

Otra unidad con la cual se puede correlacionar la Formación Agua de Luna, son los depósitos lacustres de la Formación Chilapa, ubicada en la región Tamazulapan-

Teposcolula, Oaxaca. La Formación Chilapa está formada por depósitos lacustres compuestos por caliza silicificada, arenisca y limonita (Ferrusquía-Villafranca, 1970).

Por la posición estratigráfica y litología se considera correspondiente a la fracción lacustre de la Formación Huajuapán (Erben, 1956) y la variedad lacustre del Grupo Balsas (Fries 1960).

#### **2.3.4. Aluvión.**

Esta unidad se presenta en el fondo del valle del Río Acatlán en forma de terrazas aluviales. En la parte centro-norte y oriental de la región, el relieve acumulativo aluvial está representado principalmente por llanuras de inundación.

Sección 5 capítulo 2

## Capítulo 3

# ESTRATIGRAFÍA LOCAL

ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO DE LA SECUENCIA JURÁSICA DE LA REGIÓN DE SANTO DOMINGO TIANGUISTENGO, OAXACA – SANTA CRUZ NUEVO, PUEBLA.

### 3. Estratigrafía local

Este capítulo trata de la descripción detallada de la columna estratigráfica medida, de la base a la cima de la Unidad Otlaltepec (figura 3.1); la medición se realizó con Báculo de Jacob brújula tipo Brunton y cinta métrica sobre el Río Acatlán, al suroeste de Santo Domingo Tianguistengo (figura 3.2), continuando a lo largo del Cerro la Colorada (figura 3.3) al oeste de Santa Cruz Nuevo, en los alrededores de la región de Santo Domingo Tianguistengo, Oaxaca y Santa Cruz Nuevo, Puebla. La localización de donde se realizó la medición de la columna estratigráfica está indicada en el mapa geológico (figura 2.1), junto con las localidades fosilíferas encontradas y la distribución de la unidad.

El primer segmento de la columna se comenzó a medir en el punto 14 Q 625 036 mE, 2 021 495 mN, en la cota 1455 msnm y se terminó en el punto; 14Q 625 261 mE, 2 021 931 mN, en la cota 1480 msnm esta parte de la columna fue medida a lo largo del Río Acatlán (figura 3.2), el segundo segmento que completa la columna, fue medido a lo largo del Cerro la Colorada (figura 3.3), en la margen derecha del Río Acatlán; se comenzó a medir en las coordenadas 14Q 624 848 mE, 2 2021 672 mN y cota de 1544 msnm finalizando en las coordenadas 14Q 62 481 mE, 2 021 844 en la cota 1 607 msnm; este punto fue definido por encontrarse en el núcleo de un sinclinal, por lo cual, es posible que la columna pueda presentar un mayor espesor.

En el mapa geológico (figura 2.1) puede observarse el sinclinal abierto, la dirección general de los estratos, así como los puntos de inicio y fin donde fue medida la columna, de la Unidad Otlaltepec, cuyo espesor total fue de 826.5 metros.

#### 3.1 Columna estratigráfica

En la tabla 3.1 se integró la información recabada de la medición de los dos segmentos medidos, perteneciente a las descripciones litológicas, a las estructuras sedimentarias y al contenido fosilífero así como, el espesor medido de los dos miembros de la Unidad Otlaltepec. Esta unidad fue reportada con anterioridad por Ortega-Guerrero (1989), quien la definió como una secuencia alternada de arenisca, lutita y limolita que descansa discordantemente sobre la Unidad Piedra Hueca y en algunas ocasiones sobre el Complejo Acatlán y el Tronco de Totoltepec. Durante la medición se realizaron distintas observaciones en esta unidad; se observó en contacto discordante con la Unidad Piedra Hueca en el punto 14 Q 625 036 mE, 2 021 495 mN, sobre el Río Acatlán (ver mapa geológico figura 2.1), por sus características se propone dividir a la Unidad Otlaltepec en dos miembros; miembro inferior y miembro superior.

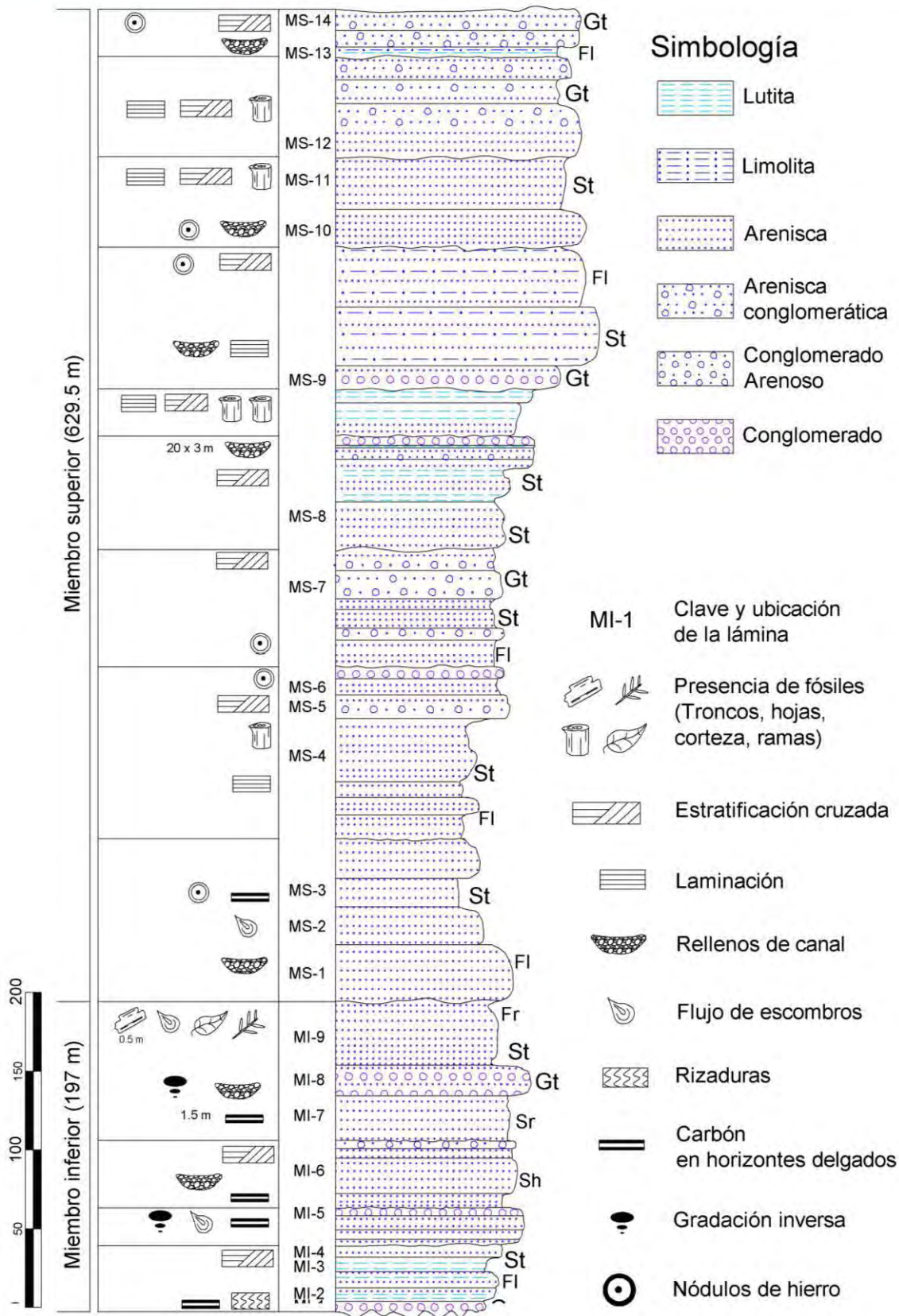


Figura 3.1 Columna estratigráfica local, representada de la unidad más antigua a la más joven, en el que se indica el contenido fósil, las diferentes litologías encontradas, las facies a que pertenecen y la ubicación de las láminas delgadas.



Figura 3.2. Fotografía del Río Acatlán a lo largo del cual fue medido el miembro inferior de la Unidad Otlaltepec, al sur de Santa Cruz Nuevo, Puebla.

En la parte basal la Unidad Otlaltepec se encuentra formada por un conglomerado basal polimictico (figura 3.4) con clastos cuyos tamaños varían desde los 2 mm hasta los 6 cm, este conglomerado se encuentra mal clasificado, los clastos que lo componen son de subredondeados a subangulosos, la unidad se encuentra dominada por clastos de cuarzo lechoso, líticos del Gabro de Santo Domingo y clastos de arenisca de grano medio y fino.



Figura 3.3. Cerro la Colorada a lo largo del cual fue medido el segundo segmento de la Unidad Otlaltepec, al suroeste de Santa Cruz, Nuevo, Puebla.

El conglomerado basal forma parte del miembro inferior en el cual se tienen también abundantes horizontes de areniscas ; este miembro tiene un espesor de 197 m, representado por las unidades de la A a la P (tabla 3.1); el cual está dominado por una secuencia alternada de areniscas de grano fino, limolitas, lutitas y ocasionalmente unidades conglomeráticas intercaladas; el miembro inferior se caracteriza por su ritmicidad con estratos de arenisca que en ocasiones superan el metro de espesor, mientras que los estratos de material fino no superan los 20 cm; una característica importante del miembro inferior es la presencia de material fósil (figuras 3.5 y 3.6), principalmente en su parte superior y la presencia de delgadas y discontinuas capas de carbón (figura 3.7) a lo largo de todo el miembro, además de estructuras sedimentarias como flujo de escombros, estratificación cruzada (figura 3.8), rellenos de canal y rizaduras en la parte basal (figura 3.9).



Figura 3.4. Conglomerado de la parte basal del miembro inferior, sobre el Río Acatlán, al sur de Santa Cruz Nuevo, Puebla.



Figura 3.5 Presencia de materia orgánica carbonizada, en la margen izquierda del Río Acatlán, al sur de Santa Cruz Nuevo, Puebla.





Figura 3.6 Presencia de material fósil (impresión) en el Miembro Inferior, localizada sobre el Río Acatlán, al sur de Santa Cruz Nuevo,Puebla.



Figura 3.7. Horizontes de carbón, en el Miembro Inferior, sobre el Río Acatlán, al sur de Santa Cruz Nuevo,Puebla.

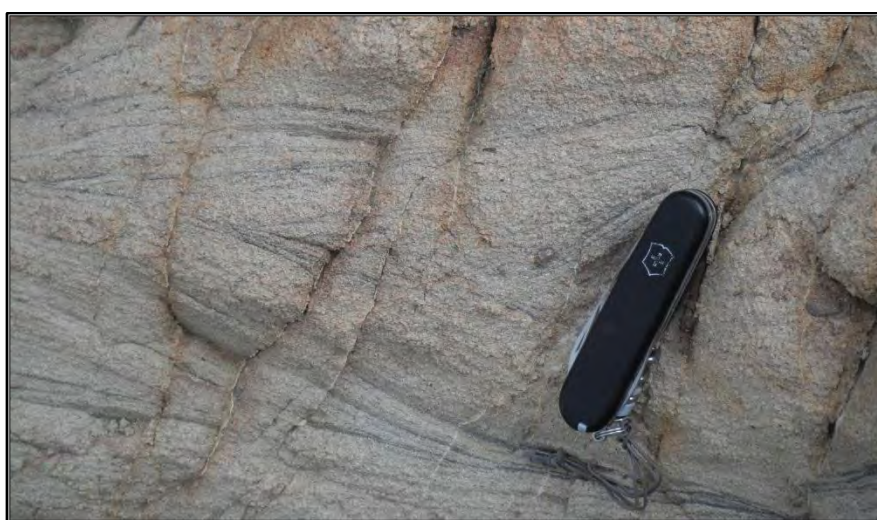


Figura 3.8. Estratificación cruzada en el miembro inferior, sobre el Río Acatlán, al sur de Santa Cruz Nuevo,Puebla.



Figura 3.9. Rizaduras presentes en la base del miembro inferior, sobre el Río Acatlán, al sur de Santa Cruz Nuevo, Puebla.

El miembro superior tiene un espesor de 629.5 m y se encuentra compuesto por las unidades descriptivas Q a la unidad 2-R (tabla 3.1). Se midió en parte sobre el Río Acatlán y el resto sobre el Cerro la Colorada; este miembro se encuentra dominado por una secuencia terrígena rítmica en la que su principal característica es el dominio de areniscas de grano grueso (figura 3.10) con espesores potentes del orden de 40 cm a 1.2 m de espesor (figura 3.11), junto con la coloración rojiza que le da la presencia de óxidos de hierro como cementante (figura 3.12) y nódulos de hierro dentro de los estratos (figura 3.13), el material fino compuesto por lutitas y limolitas que raramente superan los 30 cm de espesor (figura 3.14); En esta secuencia se puede observar estructuras sedimentarias como estratificación cruzada (figura 3.15), flujos de escombros, rellenos de canal y marcas de carga (figura 3.16), además de una importante presencia de troncos y cortezas fósiles; en la columna estratigráfica (figura 3.2) se puede observar la totalidad de la columna medida, así como las diferentes características observadas.



Figura 3.10 Areniscas de grano grueso pertenecientes al miembro superior, encontradas a lo largo del Cerro la Colorada, al suroeste de Santa Cruz Nuevo, Puebla.



Figura 3.11. Estratos potentes de más de 50 cm se muestra estratificación cruzada material grueso y costras de óxido de Hierro, encontrados a lo largo del Cerro la Colorada, al suroeste de Santa Cruz Nuevo, Puebla.



Figura 3.12. Costras de fierro en material grueso, indicando polaridad, en la localidad del Cerro la Colorada, al suroeste de Santa Cruz Nuevo, Puebla.



Figura 3.13. Nódulos de óxidos de fierro, encontrados a lo largo de la medición sobre el Cerro la Colorada, al suroeste de Santa Cruz Nuevo, Puebla.



Figura 3.14. Material fino del miembro superior, a lo largo del Cerro la Colorada, al suroeste de Santa Cruz Nuevo, Puebla.



Figura 3.15. Estratificación cruzada, material grueso (arenas y gravas) compuesto principalmente de cuarzo lechoso y feldespatos en menor cantidad, sobre el Cerro la Colorada, al suroeste de Santa Cruz Nuevo, Puebla.



Figura 3.16. Marcas de carga en el miembro superior, arenisca de gano grueso y limos arenosos, al oeste de Santo Domingo Tianguistengo, Oaxaca.

PAQUETE	LITOLOGÍA La descripción litológica de la columna se realiza de la unidad más joven a la más antigua.	ESPESOR (m)
<b>MIEMBRO INFERIOR</b> Del paquete <b>MI-A</b> al paquete <b>MI-P</b> , 197 metros.		
MI-A	Paquete homogéneo de arenisca de grano fino y lodolita, al intemperismo presenta un color pardo rojizo; al fresco presenta un color verde oscuro para las areniscas y gris claro para las lodolitas. Los estratos son irregulares y continuos en ambas direcciones, en la base son más delgados, con espesores de entre 15 y 19 centímetros, hacia la cima los estratos de arenisca se van presentando más potentes de 25, 30 y hasta 50 centímetros; las lodolitas se presentan en estratos de entre 4 y 6 centímetros de espesor. Presenta estratificación cruzada en las areniscas, las cuales tienen un espesor de 40 cm con laminación de 2 milímetros; también presenta rizaduras (figura 3.9) y un horizonte discontinuo de carbón de 12 cm de espesor máximo. Son areniscas de grano fino a muy fino, con contenido de cuarzo hasta 70%, feldespatos en un 20%, líticos 10% y micas, que se clasificó como una subarcosa de grano fino, con una matriz del 10%.	7.5
MI-B	Paquete homogéneo de arenisca de grano fino intercalado con lodolitas; al intemperismo presenta un color pardo verdoso, al fresco el color es gris verdoso; se presenta en estratos irregulares pero continuos. Los espesores de los estratos de areniscas presentan espesores de 20 a 73 cm, mientras que en las lodolitas presentan espesores que varían de 4 cm a 7 cm. Esta arenisca de grano fino contiene cuarzo en un 30%, el cual es de extinción ondulante, 20% de feldespatos de los cuales se distinguió plagioclasa y un 50% de líticos de origen metamórfico y sedimentario; la matriz es de un 20% del total de la roca por lo que se clasificó como una grauvaca de grano fino.	7.5
MI-C	Paquete homogéneo de areniscas y lodolitas, las areniscas de grano muy fino a fino, al intemperismo presenta un color gris pardo, al fresco presenta un color verde oscuro. La unidad se presenta en estratos irregulares y continuos; los espesores de las areniscas varían de 8, 24 hasta 45, mientras el espesor de las lodolitas varía de 4 a 6 cm. La arenisca contiene cuarzo 45%, feldespatos 20%, líticos 35% y pequeñas cantidades de micas, el porcentaje de matriz es mayor al 15% por lo que se clasificó como una grauvaca de grano fino.	10.5
MI-D	Paquete homogéneo de areniscas de grano fino con pequeñas intercalaciones de lodolitas, al intemperismo presenta un color pardo rojizo y al fresco, presenta un color verdoso; las areniscas tienen estratos	9

	<p>con espesores de 23 cm a 1.5 m, el espesor de las lodolitas varia de 6 a 10 cm.</p> <p>Esta unidad se compone de un 30% de cuarzo, 20% de feldespatos y 50% de fragmentos de roca, que junto con un 20% de matriz arcillosa, conforman una grauvaca de grano fino.</p> <p>La unidad presenta también horizontes de carbón discontinuos de 4 cm de espesor y en la cima presenta rizaduras; los estratos son irregulares pero continuos.</p>	
MI-E	<p>Paquete homogéneo de areniscas de grano fino y lodolita, presenta un color pardo rojizo y al intemperismo verde oscuro al fresco.</p> <p>Se presenta en estratos continuos e irregulares, los estratos de arenisca varían en espesor de 20 cm a 1 m, los espesores de las lodolitas varían de 5 a 10 cm. Presenta estatificación cruzada.</p> <p>Las areniscas presentan 20% de cuarzo, 30% de feldespatos y 50% de líticos de origen sedimentario y metamórfico; esta roca se clasificó como una litarenita.</p>	7.5
MI-F	<p>Areniscas de grano muy fino estratos de 15 a 40 cm, con presencia de rizaduras, también presenta laminación y pequeñas cantidades de carbón.</p> <p>Esta roca está compuesta por un 20% de cuarzo, 30% de feldespatos, 50% de líticos y una matriz que no superó el 5% del total de la roca, por lo cual se clasificó como una litarenita.</p>	4
MI-G	<p>Paquete homogéneo de areniscas de grano fino a muy fino, al intemperismo presenta un color pardo rojizo y al fresco un color verde oscuro. La estratificación es irregular y continua, con espesores de 10 cm a 50 cm; el intemperismo afecta en mayor proporción a los estratos de granulometría más fina; esta arenisca está compuesta por cuarzo en un 65%, feldespato 20% y líticos 15; y un 10% de matriz por lo que se clasificó como una subarcosa de grano fino; además tiene la particularidad de presentar mayor cantidad de óxidos de hierro.</p>	6
MI-H	<p>Arenisca masiva de grano grueso a fino, se presenta un flujo de arenas medias con gravas (hasta 4 cm) y algunos clastos de gabro; los líticos que componen el flujo (avalancha de escombros) van de subredondeados a subangulosos.</p> <p>La unidad presenta estratificación gradada inversa y se tiene presencia de horizontes discontinuos de carbón (figura 3.5) en la cima, con un espesor de hasta 25 cm.</p> <p>Esta roca presenta un 20% de cuarzo, 15% de feldespatos, 65% de fragmentos de roca y 10% de matriz, por lo que se clasificó como una litarenita.</p>	9
MI-I	<p>Paquete homogéneo de conglomerado polimíctico (flujo) con clastos que van de gravas hasta clastos de 9 cm, la unidad está mal clasificada, los clastos son subredondeados, compuestos por cuarzo, gabro y clastos de arenisca de grano medio, inmersos en una matriz de arenas finas de feldespatos y cuarzo; al intemperismo presenta un color pardo rojizo, al</p>	5

	<p>fresco y color café claro.</p> <p>Esta unidad conglomerática se adelgaza a los lados, alcanzando un espesor de 2.4 m en los extremos a 20 metros del centro.</p> <p>Esta unidad se clasificó como un conglomerado polimíctico, mal seleccionado.</p>	
MI-J	<p>Paquete homogéneo de areniscas de grano medio-grueso, al intemperismo presenta un color pardo oscuro, al fresco un color pardo claro, en estratos irregulares y continuos de hasta 1.5 m de espesor.</p> <p>Se encuentran horizontes discontinuos de carbón de hasta 10 cm de espesor en la cima de los estratos.</p> <p>La roca presenta 20% de cuarzo, 30% de feldespatos, 50% de fragmentos de roca y una matriz menor al 10%, por lo que se clasificó como una litarenita de grano medio.</p>	9
MI-K	<p>Areniscas de grano fino a grueso, en estratos irregulares y continuos de hasta 1.8 m, compuesta por 20% de feldespatos, 65% de cuarzo y líticos en un 15%; en la cima se encuentra una gruesa capa de conglomerado; al intemperismo presenta un color pardo rojizo y al fresco un color pardo rosa.</p> <p>Presenta lentes conglomeráticos a diferentes niveles compuestos por clastos de cuarzo, gabro y líticos metamórficos; los clastos van de subangulosos a subredondeados. También presenta estratificación y algunos horizontes de carbón de menos de 6 cm de espesor.</p> <p>En las areniscas de grano fino se puede observar estratificación cruzada y presencia de canales de 30 cm de espesor a diferentes niveles.</p> <p>Esta roca presenta una matriz menor al 10%, se clasifica como una subarcosa de grano fino</p>	22.5
MI-L	<p>Paquete de areniscas de grano fino homogéneo, al intemperismo presenta un color rojizo oscuro y al fresco rojizo claro; se compone de cuarzo, feldespato, líticos, arcillas y una gran cantidad de óxidos. Los estratos son continuos e irregulares de entre 20 y 30 cm de espesor.</p> <p>Con un 15% de fragmentos de roca, 20% de feldespatos, 65% de cuarzo y una matriz arcillosa menor al 10%, por lo que se clasificó como una subarcosa de grano fino.</p>	6
MI-M	<p>Conglomerado arenoso, con clastos de 3 a 4 cm de diámetro, los clastos van de subredondeados a subangulosos, son clastos de cuarzoarenita y metamórficos; al intemperismo presenta un color pardo rojizo y al fresco pardo claro. Se caracteriza por una intensa presencia de microfracturamiento. Esta roca está formada por un 100% de fragmentos de roca, se clasifica como un conglomerado monomíctico.</p>	5
MI-N	<p>Intercalación de areniscas de grano fino y areniscas de grano grueso; la arenisca de grano fino contiene una matriz arcillosa, mientras que la arenisca de grano grueso se encuentra formada por cuarzo, feldespato y líticos que van de subredondeados a subangulosos. Al intemperismo presenta un color pardo rojizo y al fresco un color pardo claro.</p>	28.5

	<p>Contiene fragmentos fósiles de corteza, además contiene carbón en forma laminada de forma discontinua. Las areniscas de grano grueso presentan clastos de cuarzo y feldespatos, representan la base de un canal con mucha energía, por lo que no se observan estratos; presenta gradación inversa. Hacia la cima el contenido de matriz arcillosa se incrementa.</p> <p>Presenta una capa de 80 cm de un flujo irregular con alto contenido de materia orgánica (carbonizada) y otros de menor espesor.</p> <p>Esta unidad está compuesta por 15% de cuarzo, 10% de feldespato, 55% de fragmentos de roca y una matriz mayor al 25%, por lo que se clasificó como una grauvasca de grano fino-grueso.</p>	
MI-O	<p>Paquete masivo de areniscas de grano medio intercalado con horizontes conglomeráticos; presenta intercalados algunos horizontes delgados de carbón. Las areniscas están compuestas de cuarzo y feldespatos contenidos en una matriz arcillosa, mientras que el conglomerado está compuesto por clastos de cuarzo y líticos en una matriz de arenas finas; en la cima se observa un horizonte de láminas de carbón.</p> <p>En la unidad se pueden observar dos diferentes episodios de flujo, el primero es el de mayor energía se puede interpretar como un deslave y una segunda fase de flujo debido a la gravedad lo cual provocó dos fases de acumulación en el canal y una gran acumulación de materia orgánica la cual se encuentra en intercalaciones de arenisca con un espesor máximo de 1.5 m, el cual se acuña.</p> <p>Las areniscas están compuestas por un 45% de cuarzo, 30% de feldespato, 25% de líticos y una matriz arcillosa menor al 10%. Esta roca se clasificó como una arenita arcósica</p>	19.5
MI-P	<p>En la base se encuentra una arenisca de grano fino con contenido de carbón, después de puede observar una arenisca de grano fino a medio, esta arenisca tiene contenidos algunos lentes conglomeráticos compuestos por clastos subangulosos a subredondeados. La muestra analizada presenta un 15% de cuarzo, 30% de feldespatos, 55% de fragmentos de roca y una matriz de 25%, por lo que se clasificó como una grauvasca de arenas finas.</p> <p>En la cima se encuentra una intercalación de areniscas con espesores de 1.4 m, combinado con material clástico fino y algunas delgadas laminaciones de carbón; también presenta pedazos de corteza de árbol de hasta 9 x 50 cm, y abundantes hojas y ramas fósiles (figura 3.7); esta unidad se acumuló en una serie de pequeños lagos aislados, asociados a canales con flujos de alta energía, en temporadas de máxima precipitación pluvial.</p>	40.5
<p><b>MIEMBRO SUPERIOR</b></p> <p>Del paquete <b>MS-A</b> al paquete <b>MS-G2</b>, de 629.5 metros</p>		



MS-A	Conglomerado de cuarzo con clastos de hasta 2 cm de diámetro, se presenta granosoportado y tiene presencia de cuarzo, feldespato y óxidos, presenta estratificación cruzada, en este conglomerado dominan los líticos de origen sedimentario en un porcentaje mayor a 80%.	7.5
MS-B	Arenisca de grano medio a grueso con clastos de cuarzo subangulosos, con poca matriz (menor de 10 %), se trata de una cuarzo arenita moderadamente clasificada, bastante porosa, con cementante de óxido de hierro; al intemperismo presenta color pardo rojizo y al fresco color gris claro. Presenta un flujo masivo de material proveniente de granito y por lo que se presentan en lentes conglomeráticos de aspecto caótico.	24
MS-C	Paquete de areniscas de grano medio con esporádico contenido de carbón en láminas; los estratos tienen espesores de 40 a 60 cm, con alto contenido de cuarzo en un 20%, un contenido de feldespatos de 15%, un abundante contenido de líticos de 65%, con poco contenido de óxidos y matriz, por lo cual se clasificó como una litarenita; sobre esta secuencia se sobrepone una arenisca de grano medio, en estratos de delgados de 20 a 30 cm. En la cima se observa un paquete homogéneo de areniscas de grano fino con espesores de 6.1 m, 1.7 m y 50 cm de espesor. En general se observa una mayor cantidad de cuarzo en ocasiones llegando a cuarzo arenita; en este nivel aparecen algunas concreciones de hierro.	18
MS-D	Paquete homogéneo de areniscas de grano fino compuesto por cuarzo 70%, feldespato 5% y líticos 25% contenidos en una matriz de óxidos y arcillas que no sobrepasa el 5%; se clasificó como una sublitarenita. Los estratos tienen espesores que van de 50 cm a 1.2 m, algunos estratos se clasifican como cuarzo arenitas con espesores de estratos de 1.2 m.	40.5
MS-E	La base se compone de areniscas de grano fino, compuesta por cuarzo en un 70%, feldespato 10% y líticos en un 20%; son rocas de color pardo rojizo al intemperismo y verde claro al fresco, con estratos irregulares y continuos los cuales tienen espesores de 20 a 80 cm, en algunos estratos se observa laminación en la cima donde los terrígenos se van haciendo más finos. No presenta matriz abundante por lo que se clasificó como una litarenita de grano fino.	21
MS-F	Paquete homogéneo de areniscas de grano fino, areniscas limosas y limolitas; teniendo como principal componente líticos y feldespatos; los estratos de la porción fina tienen espesores de 40 y 60 cm, teniéndose también estratos de cuarzo arenitas los cuales tiene espesores de hasta 2.8 m. La secuencia se presenta en forma rítmica. En general el cuarzo domina en una proporción del 70%, los feldespatos de 20% y los fragmentos de roca un 10%.	40
MS-G	Intercalación de areniscas de grano grueso y conglomerados arenosos en estratos potentes de hasta 60 cm de espesor; se compone de clastos de cuarzo metamórfico y feldespato potásico que va de anguloso a subanguloso. Presenta estratificación cruzada, estratificación tabular y	15

	<p>gradación normal; contiene nódulos de óxido y presencia de troncos fósiles silicificados.</p> <p>En las areniscas domina el cuarzo en un 65%, el contenido de feldespatos es de 15% y el de fragmentos de roca de 20%, que junto con una matriz menor al 5%, se clasifica como una sublitarenita de grano grueso.</p>	
MS-H	<p>Intercalación de areniscas de grano fino y areniscas de grano medio, dominando las areniscas de grano fino; se compone de cuarzo metamórfico en un 70%, feldespato potásico en un 17%, los fragmentos de roca son un 13%, se clasificó como una sublitarenita.</p> <p>Los estratos son potentes de hasta 60 cm, es granocreciente, con clastos angulosos a subangulosos.</p>	10.5
MS-I	<p>Arenisca de grano medio el cual se presenta como un paquete masivo e irregular con escasa laminación de carbón; la roca es de color pardo oscuro al intemperismo y pardo claro al fresco, contiene numerosos lentes conglomeráticos de clastos subredondeados de cuarzo y feldespato.</p> <p>A lo largo del paquete se presentan horizontes con una granulometría más gruesa, con algunas esporádicas intercalaciones de láminas de carbón, mientras el cuarzo se vuelve dominante en su composición. En la cima se observa un horizonte discontinuo de carbón de hasta 8 cm de espesor, el cual se acuña a los lados.</p> <p>Hacia la cima de la unidad se observa material cada vez más grueso, donde la cantidad de cuarzo aumenta y el carbón se hace menos abundante.</p> <p>Los fragmentos de roca representan el 60%, el cuarzo 25%, los feldespatos 15% y la matriz arcillosa no rebasa el 5% del total de la roca por lo que se clasifica como una litarenita de arenas finas a medias.</p>	36
MS-J	<p>Intercalación de areniscas de grano fino, medio y grueso que se componen de clastos de cuarzo lechoso de hasta 1 cm y un porcentaje del 30%, feldespato potásico en un 25% y los fragmentos de roca representan 45%; la matriz arcillosa de entre el 25% y 20% por lo que se clasificó como una grauvaca. Localmente su puede encontrar la presencia de limos con alto contenido de cuarzo y óxidos.</p> <p>La unidad en general presenta estratificación cruzada, gradada y una alta presencia de nódulos de óxido de hierro.</p>	16.5
MI-K	<p>Conglomerado arenoso, con líticos de cuarzo metamórfico de hasta 1.5 cm en general en la base presenta clastos de hasta 3 cm, se presenta con granulometría grano decreciente, llegando a ser en la cima una arenisca conglomerática, estos líticos de cuarzo superan el 80% de la composición.</p> <p>Presenta estratificación cruzada, clastos subangulosos a subredondeados, estratos de hasta 45 cm de espesor; es una roca granosoportada y granodecreciente.</p>	7.5
MS-L	<p>Intercalación de arenisca de grano fino y areniscas de grano medio, con contenido de cuarzo metamórfico que va de angulosos a subanguloso, biotita y muscovita.</p> <p>Tiene alto contenido de arcillas en la matriz que supera el 20% y los</p>	12

	<p>espesores de los estratos van de 20 a 35 cm, el cuarzo representa un 30%, los feldespatos un 25% y los fragmentos de roca el 45%, por lo que se clasificó como una grauvaca.</p>	
MS-M	<p>Arenisca de grano fino con contenido de cuarzo (20%), feldespatos (25%), fragmentos de roca (55%) y arcillas como matriz en un 20%, por lo que se clasifica como una grauvaca de arenas finas a medias. Los fragmentos se presentan de subangulares a angulares; el cuarzo es de precedencia metamórfica.</p> <p>En la cima presenta arenisca conglomerática con estratificación cruzada.</p>	6.5
MS-N	<p>Intercalación de conglomerado arenoso y areniscas conglomeráticas. El conglomerado arenoso presenta clastos de hasta 1.5 cm los cuales son principalmente de cuarzo; estos son angulosos a subangulosos. La litología está dominada por el conglomerado arenoso, en el que dominan los clastos de cuarzo metamórfico en un porcentaje mayor a 50% y en menor proporción los feldespatos y los fragmentos de roca.</p> <p>Los estratos son potentes de hasta 80 cm y presentan estratificación cruzada. En la cima se compone de arenisca de grano fino con contenido de arcillas como matriz.</p>	18
MS-O	<p>Intercalación de conglomerado arenoso y areniscas de grano grueso, dominando sobre estos las areniscas, localmente se encuentran horizontes de limos. La unidad contiene cuarzo metamórfico en una proporción de 25%, feldespato en un 15% y fragmentos de roca en un 60%, estos granos van de subangulosos a angulosos. La matriz arcillosa no rebasa el 10%. La roca se clasificó como una litarenita de grano grueso.</p>	13.5
MS-P	<p>Intercalación de arenisca de grano medio y fino en la base y areniscas conglomeráticas, las cuales dominan a la cima. En la parte media presenta estratificación lenticular con clastos del tamaño de gravas de 2 mm a 1 cm, compuestos de cuarzo metamórfico; los estratos son tabulares.</p> <p>Esta roca está compuesta en un 70% de cuarzo, 25% de fragmentos de roca y %5 de feldespatos, la matriz no rebasa el 5%, se trata de una sublitarenita.</p>	30
MS-Q	<p>Intercalación de arenisca de grano medio a grueso, con lutitas, la arenisca se encuentra en la parte basal de la unidad; está compuesta por clastos subangulosos de cuarzo lechoso (70%), feldespato (10%), fragmentos de roca (20%), la matriz es menor al 5% por lo cual se clasifica como una sublitarenita. se presenta en colores pardo rojizo al intemperismo y rosa pardo al fresco, los estratos llegan a medir hasta 26 cm. Los estratos son irregulares aunque internamente presenta estratificación cruzada. Las lutitas, tienen un color rojizo al intemperismo y verdoso al fresco, con estratos que van de 10 a 20 cm.</p>	27
MS-R	<p>Arenisca de grano grueso y arenisca conglomerática mal seleccionada, compuesta por clastos de cuarzo subangulares en una porción de 25%, feldespatos en un 15% y fragmentos de roca en un 60%; la matriz arcillosa es menor al 10%, por lo que se clasificó como una litarenita.</p>	7.5

	En esta unidad se encuentra un paleocanal de gran potencia, midiendo 20 m de largo y 3 m de grosor, con estratificación cruzada, con fragmentos de tamaños superiores a un centímetro.	
MS-S	Lutita en estratos de 10 a 15 cm de espesor, al intemperismo presenta colores rojizos y al fresco colores verdosos; los estratos son tabulares con laminación interna.	1.5
MS-T	Conglomerado, compuesto por fragmentos líticos y cuarzo lechoso, dominando los líticos en una porción mayor al 70%; estos van de subredondeados a subangulosos. El conglomerado presenta una pequeña cantidad de cementante de óxido de hierro. Se presenta bien seleccionado con clastos de hasta 8 mm gradado y esta granosoportado.	6
MS-U	Intercalación de paquetes de arenisca y lutitas, los paquetes de lutitas van de 1.5 a 4.5 m, estos paquetes se concentran en la parte media e inferior, las lutitas presentan colores al intemperismo rojizos y al fresco presentan colores verdosos. Las areniscas son de grano medio a grueso, predominando las areniscas gruesas, al fresco presentan color verde pardo; están compuestos por cuarzo metamórfico (30%), líticos (50%) y feldespato potásico (20%). Los granos van de angulosos a subangulosos; con laminación cruzada, nódulos de óxidos de hierro, en estratos que llegan a medir hasta 25 cm, la matriz es menor a 5%, estas areniscas se clasifican como litarenita de grano grueso.	21
MS-V	Lutita en estratos tabulares de hasta 15 cm, presenta laminación; al fresco presentan un color verde pardo y al intemperismo son de colores rojizos.	9
MS-W	Intercalación de paquetes conglomeráticos y areniscas de grano medio a fino. En la parte basal encontramos conglomerados mal clasificados, compuestos por cuarzo metamórfico 20%, líticos 65% y feldespato potásico 15%, que van de angulosos a subangulosos, presenta estratificación cruzada, laminación cruzada y nódulos de Fe, la matriz es arcillosa y compone el 20%. Las areniscas dominan en la parte superior, con una granulometría que va de media a fina; está compuesta por cuarzo lechoso, líticos y feldespato. Al intemperismo presenta un color rojo marrón y al fresco rosa pardo. Todo el paquete presenta algunas intercalaciones horizontes discontinuos de limolita y lutita en poca proporción. Estas areniscas se clasificaron como grauvacas de grano medio a fino.	15
MS-X	Intercalación de areniscas y limolitas. Las areniscas presentan colores rojizos al intemperismo y pardo rosáceo al fresco; su granulometría va de arenisca de grano fino hasta arenisca conglomerática. Presenta laminación cruzada, estratificación cruzada, cuyos líticos son principalmente de cuarzo de origen metamórfico y en menor medida de origen ígneo, este cuarzo representa el 50%, los líticos componen el 30% y los feldespatos componen un 20%, por lo que se clasificó como una litarenita con una granulometría de arenas finas a gruesas. Se caracteriza por la presencia de	37

	paleocanales con granulometría gruesa, los que se desarrollaron sobre estratos de areniscas que van de 10 a 30 cm, en la matriz está compuesta por óxidos y arcilla de color blanco. Los limos son arenosos y presentan color verde pardo.	
MS-Y	Intercalación de areniscas y limolitas, este paquete se distingue porque en el dominan las areniscas; estas presentan granulometrías de fino a medio compuestas por cuarzo en un 55%, feldespato en un 30% y líticos 15%, los clastos se presentan subangulosos la matriz es de 20%, por lo que se clasificó como una wacka arcósica. Los estratos son discontinuos con estratificación cruzada, nódulos de Fe, color rosa pardo al fresco y rojizo al intemperismo. Los estratos tienen un espesor de 20 cm y en ocasiones llegan a tener espesores mayores a 1 m. Los limos presentan laminación y sus estratos no pasan de 15 cm.	38
MS-Z	Areniscas de grano grueso, con líticos (35%), cuarzo (40%) y feldespatos (25%), sus componentes se presentan en formas subangulosos en estratos irregulares con estratificación cruzada y laminación de horizontes de cuarzo lechoso, nódulos de óxidos de fierro, costras de óxidos de fierro y gradación normal. La matriz es arcillosa y menor al 10% esta roca se clasificó como una litarenita de grano grueso.	24
MS-A2	Areniscas de grano medio y grueso, predominando los de tamaño medio, los cuales son fragmentos angulosos de hasta 2 mm que dentro del estrato presentan gradación normal y cementante de arcillas blancas producto de la alteración de los feldespatos. Los estratos presentan espesores de hasta 40 cm, con estratificación cruzada, laminación cruzada, estratificación gradada, laminación y presencia de troncos silisificados. El cuarzo presente es de tipo metamórfico y forma el 20%, los feldespatos se encuentran en una proporción del 25%, los fragmentos de roca componen un 55% y la matriz arcillosa es un 20% de total de la roca; esta roca fue clasificada como una grauvaca de grano medio.	33.5
MS-B2	Intercalación de areniscas de grano fino medio y grueso, llegando en ocasiones a arenisca conglomerática. En la base dominan las granulometrías gruesas y a la cima las granulometrías finas; están compuesta por cuarzo metamórfico (50%), líticos (30%) y feldespatos (20%), en fragmentos subangulosos a angulosos. Presenta laminación, estratificación gradada, cruzada y en el centro se encuentran troncos silisificados en material fino. La roca se clasificó como una litarenita de grano medio a fino.	33.5
MS-C2	Intercalación de arenisca conglomerática y arenisca de grano grueso, compuesta por cuarzo (50%), feldespato (20%) y líticos (30%) subangulosos, de hasta 1 cm, con matriz arcillosa y limosa. Se caracteriza por la alta presencia de nódulos de Fe, costras de óxidos de Fe (que denota polaridad normal), laminación cruzada, polaridad normal y	15

	<p>laminación cruzada. Esta roca se clasificó como una litarenita de grano grueso.</p>	
MS-D2	<p>La litología varía de arenisca de grano grueso a arenisca conglomerática, en estratos de 60 a 80 cm, compuesto principalmente de cuarzo lechoso (40%) que va de anguloso a subanguloso, y feldespatos subangulosos (25%) y líticos (35%). La matriz está constituida por arcillas blancas y óxidos de Fe, la matriz es menor de 5%. La estratificación es lenticular, con lentes de arenas gruesas de 30 a 50 cm de espesor y lentes conglomeráticos de 10 a 20 cm de espesor máximo. La arenisca se clasificó como una litarenita de grano grueso.</p>	15
MS-E2	<p>Lutitas de color verde con intercalación de algunos estratos de limolitas y de areniscas de grano fino; se trata de una intercalación de lutitas-limolitas-arenas finas, en estratos de 10 cm para las arenas finas de 70 cm para las lutitas y de 10 cm para las limolitas. Las areniscas se componen de un 55% de cuarzo, 30% de feldespatos y 15% de fragmentos de roca, la matriz representa un 20% del total de la roca, esta roca se clasificó como una grauvasca arcósica de grano fino.</p>	6
MS-F2	<p>Arenisca conglomerática en estratos de entre 60 a 80 cm de espesor, presenta clastos de cuarzo de hasta 5 cm, subangulares a angulares; está compuesta por clastos de cuarzo de entre 1 y 2 mm principalmente, contiene poca matriz la está compuesta por arcillas de color blanco y óxidos de color rojizo y en menor cantidad de color negro. La unidad presenta estratificación gradada normal, estratificación cruzada y lentes conglomeráticos, de líticos de cuarzo metamórfico. El cuarzo representa un 20% de la roca, los feldespatos 30% y los fragmentos de roca el 50%; la matriz arcillosa representa menos del 5%. Esta roca se clasificó como una litarenita de grano grueso.</p>	10.5
MS-G2	<p>Intercalación de areniscas de grano grueso y arenisca conglomerática en estratos de hasta 1 m de espesor, ambas con horizontes conglomeráticos compuestos de gravas de cuarzo lechoso, fragmentos de roca metamórfica y feldespatos; la litología es granosoportada. En la unidad se puede observar estratificación cruzada, estratificación tabular y una gran cantidad de nódulos de óxidos de hierro, bien redondeados. La roca contiene cuarzo en un 20%, feldespatos en un 30% y fragmentos de roca en un 50%, con una matriz menor al 5%. Esta roca se clasificó como una litarenita de arenas gruesas a conglomerados.</p>	13.5
<b>ESPEJOR TOTAL</b>		
<b>826.5</b>		

Tabla 3.1. Descripción de los paquetes litológicos de la Unidad Otlaltepec, diferenciando 16 subdivisiones del Miembro Inferior y 32 subdivisiones del Miembro Superior.

## 3.2 Litología

A continuación se describen las principales características petrográficas de la columna estratigráfica medida y descrita, diferenciándose los dos miembros que se lograron distinguir. Se analizaron un total de 28 muestras de mano y 28 láminas delgadas, de las cuales una pertenece al Complejo Acatlán, una al Gabro Santo Domingo, una al Tronco de Totoltepec, una a la Unidad Piedra Hueca, una a la Caliza Coyotepec y las 23 restantes son muestras de la Unidad Otlaltepec.

### 3.2.1 Análisis Microscópico.

Enseguida se presentan los resultados obtenidos del análisis realizado a las láminas delgadas: la textura, porcentajes de los materiales que las constituyen, minerales, líticos y matriz, tamaño forma y organización de los clastos, así como comentarios importantes referente a lo observado en el microscopio. Cada lámina de la Unidad Otlaltepec clasificó de acuerdo a Pettijhon (1974).

Se analizaron 28 Láminas delgadas y sus muestras correspondientes, recolectadas en campo, a lo largo del Río Acatlán y a la largo del Cerro la Colorada. Las muestras se eligieron en los niveles representativos de la Unidad Otlaltepec, para distinguir las características y cambios en las diferentes unidades.

Los fragmentos de cuarzo encontrados, son principalmente de Complejo Acatlán, estos clastos se encuentran compuestos por cuarzo metamórfico; existe una pequeña porción de cuarzo de origen ígneo el cual proviene del Tronco de Totoltepec, y los minerales de origen ígneo de composición básica provienen del Gabro Santo Domingo el cual contiene piroxenos y plagioclasas.

Los principales fragmentos de roca provienen del Complejo Acatlán, así lo muestra las semejanzas en las texturas y naturaleza del cuarzo que compone los clastos (ver figuras 3.2.18 y 3.2.24), donde se puede ver el cuarzo que componen el esquisto del Complejo Acatlán y un lítico de la misma naturaleza en una litarenita. En menor proporción los fragmentos de roca son de origen sedimentario provenientes de la Unida Piedra Hueca estos líticos se encuentran compuestos por fragmentos de arenisca.

Los feldespatos presentes en la Unida Otlaltepec, provienen del Tronco de Totoltepec y el Gabro Santo Domingo, de estos feldespatos se pudo distinguir; feldespato potásico (ortoclasa y microclina), plagioclasas y pertita.

En general, el Miembro Inferior se compone de un conglomerado basal y otros más depositados a distintos niveles; areniscas con clastos de cuarzo, feldespato, fragmentos de roca y un importante contenido de matriz y materiales finos compuestos por lutitas y limolitas. Los conglomerados tienen fragmentos de roca metamórficos, líticos y rocas sedimentarias. Las areniscas se clasifican como subarcosas, grauvacas, litarenitas y arenitas arcósicas como se puede ver en la tabla 3.2.1, este miembro tiene un importante contenido de carbón en delgados horizontes discontinuos y capas con abundante material fósil.

En el Miembro Superior, las características más distintivas son el dominio de las litologías de arenisca de grano grueso y areniscas conglomeráticas compuestas principalmente por cuarzo, feldespato y líticos; a diferencia del miembro inferior, este miembro no contiene carbón. Este miembro es bastante rítmico, presentando estratos potentes de material grueso de 60 cm hasta 1.2 m, mientras que los estratos de materiales finos, no rebasan los 30 cm, la litología dominante son las litarenitas, también contiene sublitarenitas, grauvacas y wackas arcósicas (tabla 23.2.1).

MS-14	LITARENITA
MS-13	WACKA ARCÓSICA
MS-12	LITARENITA
MS-11	LITARENITA
MS-10	LITARENITA
MS-9	LITARENITA
MS-8	LITARENITA
MS-7	GRAUVACA
MS-6	SUBLITARENITA
MS-5	GRAUVACA
MS-4	SUBLITARENITA
MS-3	SUBLITARENITA
MS-2	LITARENITA
MS-1	LITARENITA
<b>MIEMBRO SUPERIOR</b>	
MI-9	ARENITA ARCÓSICA
MI-8	GRAUVACA
MI-7	SUBARCOSA
MI-6	SUBARCOSA
MI-5	LITARENITA
MI-4	GRAUVACA
MI-3	GRAUVACA
MI-2	SUBARCOSA
MI-1	CONGLOMERADO
<b>MIEMBRO INFERIOR</b>	

Tabla 3.2.1 Número de muestras y clasificación de cada roca, separadas en miembro superior y miembro inferior, de la Unidad Otlaltepec.

**MI-1**

Esta roca se encuentra compuesta en un 100% de fragmentos de roca los cuales se encuentran en formas subredondeadas en tamaños mayores a 2 mm; la composición de los líticos es de cuarzo metamórfico erosionados de una cuarcita. La roca tiene como



cementante a la calcita y óxidos de fierro en un porcentaje menor al 10% y presenta una alta porosidad, del orden de 20 a 25%.

Se pudieron distinguir tres diferentes sucesiones en la diagénesis; la primera fue la acumulación de fragmentos de roca del tamaño de los conglomerados, en la segunda fase se distingue el crecimiento como cementante de óxidos de fierro alrededor de los clastos del conglomerado y la tercera fase se distingue por la precipitación posterior de carbonatos a los óxidos de fierro.

Esta roca se clasificó como un conglomerado oligomítico de fragmentos de roca grano-soportado y mal seleccionado (figura 3.2.1)

### MI-2

Arenisca de cuarzo plagioclasa y fragmentos de roca, en las siguientes proporciones: el cuarzo representa el 70% y es de tipo metamórfico (con extinción ondulante) con formas subangulares a subredondeadas; los fragmentos de roca que componen el 10% son de origen sedimentario; los líticos se componen principalmente de cuarzo metamórfico en formas que van de redondeadas a subredondeadas. Las plagioclasas representan el 20% se encuentran alteradas y en tamaños de arenas finas. Los minerales accesorios son óxidos en colores rojizos y negros, los rojizos son de fierro principalmente son de hematita y los de coloración negra probablemente son de manganeso; las micas se presentan en poca proporción y representan la matriz que es del 10%.

La roca se clasificó como una subarcosa de grano medio a fino, granosoportada con baja madurez; también presenta imbricación y laminación tabular, lo cual permite interpretar que el depósito ocurrió en épocas de alta energía (Figura 3.2.2.).

### MI-3

Arenisca compuesta por un 30% de partículas de cuarzo de grano medio a fino, de redondeado a subredondeado; el cuarzo es de origen metamórfico y en menor proporción de origen ígneo. Los feldespatos que componen a la roca están compuestos por plagioclasa y microclina subredondeados; estos materiales componen el 20%. Los fragmentos de roca que componen el 50%, son principalmente de origen sedimentario compuestos por cuarzo metamórfico, los líticos son en formas redondeadas. Los minerales accesorios encontrados son, clorita, biotita, muscovita y óxidos de fierro. La matriz arcillosa compone el 20% del total de la roca. La roca se encuentra grano-soportada con clastos medianamente seleccionados predominando los tamaños medios.

La roca se clasificó como una grauvaca de grano medio moderadamente madura, grano-soportada y medianamente seleccionada (Figura 3.2.3).

#### **MI-4**

Arenisca compuesta por líticos en un 35%, estos líticos se encuentran subredondeados de origen sedimentario y compuestos por cuarzo metamórfico. El cuarzo comprende el 45% y se presenta de formas subangulosas; es principalmente cuarzo metamórfico. Los feldespatos identificados son de plagioclasas, subredondeadas a subangulares y componen un 20%. Los minerales accesorios son óxidos de fierro en una proporción de 5%. Esta roca tiene una matriz arcillosa que representa el 20% del total de la roca. La roca se clasificó como una grauvaca, de grano fino, medianamente madura (Figura 3.2.4.).

#### **MI-5**

Arenisca con fragmentos de roca de origen metamórfico, subangulares de tamaños de arenas finas a medias; en menor proporción se encuentra cuarzo de origen ígneo, el porcentaje total del cuarzo es de 20%. Los feldespatos que componen el 30%, son de plagioclasas euédrales-subangulares con alteración incipiente; también se identificó feldespato potásico subangular con alteración incipiente. Los fragmentos de roca son de origen sedimentario, su principal componente es el cuarzo metamórfico, estos líticos son subangulares, en formas alargadas y tamaños de arenas gruesas; los líticos componen un total de 50%. Los minerales accesorios son fueron óxidos de fierro y minerales opacos, además de clorita y biotita en formas alargadas; la matriz de esta roca representa el 5%. La roca se clasificó como una litarenita de grano medio, grano-soportada (Figura 3.2.5).

#### **MI-6**

Arenisca compuesta por un 15% de fragmentos de roca cuyo componente principal es el cuarzo metamórfico: los líticos son subredondeados con un tamaño de arenas medias; los feldespatos componen el 20%, de plagioclasas subangulares a subredondeadas y de tamaño de arenas medias. El cuarzo se presenta de anguloso a subanguloso en tamaños de arenas finas, los cuales componen el 65%. Los minerales accesorios son óxidos de fierro de color rojizo y minerales opacos; la matriz es de arcillas y representa el 10% de la roca. Esta roca se clasificó como una subarcosa de grano fino (Figura 3.2.6).

#### **MI-7**

Arenisca con cuarzo el cual representa el 65%, este componente se encuentra subredondeado y en formas alargadas y de tipo metamórfico. Los feldespatos son plagioclasas y feldespatos potásicos y representan un 20%. Los fragmentos de roca

representan el 15% y están formados por líticos de origen sedimentario. La matriz presente es arcillosa y menor al 10%. La roca se clasificó como una subarcosa de grano fino, madura y bien seleccionada (Figura 3.2.7).

#### **MI-8**

Arenisca compuesta por un 15% de cuarzo de origen metamórfico, subredondeado y de formas alargadas. Los feldespatos contenidos en la roca están formados por un 10% de plagioclasas y 20% de feldespato potásico, con formas alargadas y subredondeadas, que en conjunto representan 30%. Los fragmentos de roca que representan el 55%, son líticos de origen sedimentario compuestos por líticos muy finos de cuarzo. Los minerales accesorios se encuentran representados por biotita en un 5%, también presenta óxidos de hierro en un 5%. La roca presenta matriz sostenida la cual representa un 25% del total de la roca. La roca se clasificó como una grauvaca de grano fino, mal clasificada y poco madura (Figura 3.2.8).

#### **MI-9**

Arenisca compuesta por un 45% de cuarzo de origen metamórfico, con clastos subangulares de bordes bien definidos en tamaños de arenas finas. En la roca los feldespatos están representados por plagioclasas en formas subangulares, medianamente alterados, de bordes difusos, estos componentes representan el 30%. Los fragmentos de roca componen el 35%, estos líticos son de origen sedimentario compuestos principalmente por cuarzo metamórfico, en formas subangulares a subredondeadas.

Los minerales accesorios identificados fueron de clorita, biotita e idingsita. La matriz es de arcillas y representa el 10% del total de la roca. Esta roca se clasificó como una arenita arcósica de grano fino (Figura 3.2.9).

#### **MS-1**

Arenisca compuesta por fragmentos de roca de origen metamórfico, se encuentran de redondeados a subredondeados, formados en su totalidad por cuarzo de tipo metamórfico y representan el 60%. Los feldespatos se encuentran representados por plagioclasas subangulosas de bordes difusos en tamaños de arenas finas a medias, estos componentes representan el 15%. Los fragmentos de cuarzo que componen la roca son de origen metamórfico y en muy poca proporción de origen ígneo, los cuales se encuentran en formas subredondeadas a subangulosas, estos fragmentos de cuarzo representan el 25%. Como accesorios se tienen: calcita y óxidos de hierro. La matriz es de arcillas y menor al 5%. Esta roca se clasificó como una litarenita de arenas finas, grano-soportada y medianamente madura (Figura 3.2.10).

**MS-2**

Arenisca compuesta por un 20% de cuarzo subredondeado de extinción ondulante, en algunas ocasiones de más de 2 mm, las plagioclasas son de microclina y pertita de grano medio, los cuales componen el 15%. Los fragmentos de roca componen el 65%, principalmente formados por cuarzo de grano grueso, redondeados a subangulares, con tamaños de arenas medias a muy gruesas. Los minerales accesorios son óxidos de fierro, principalmente hematita y en menor cantidad minerales opacos, la matriz arcillosa compone el 10% del total de la roca. La roca se clasificó como una litarenita, de arenas gruesas grano-soportada y mal seleccionada (Figura 3.2.11).

**MS-3**

Arenisca compuesta de cuarzo metamórfico que representa el 70%, con formas angulosas a subredondeadas; los granos son de finos a gruesos; los fragmentos de roca componen el 25% de la roca, subredondeados de origen sedimentario; la granulometría es principalmente de grano fino y el principal componente es de cuarzo metamórfico. La fracción de los feldespatos que compone la roca representa el 5%, de plagioclasas euhedrales, alargadas y de tamaño fino a medio. Los minerales accesorios son de óxidos de hierro que se clasificó como hematita y minerales opacos; en menor proporción se encuentran las arcillas; estos tres componentes representan la matriz la cual es menor al 5%. La roca se clasificó como una sublitarenita de arenisca conglomerática, grano-soportada y mal seleccionada (Figura 3.2.12).

**MS-4**

Arenisca que se encuentra conformada por un 70% de cuarzo subredondeado a subanguloso; el cuarzo es de origen metamórfico. Los feldespatos representan el 10% conformados principalmente por feldespato potásico, en formas subredondeadas. Los fragmentos de roca que forman la roca son de origen metamórfico formados principalmente por cuarzo metamórfico que representa un 20%. Los minerales accesorios en la roca son; óxidos de fierro y minerales opacos, los cuales corresponden a óxidos de fierro. La roca se clasificó como sublitarenita de arenas medias a finas (Figura 3.2.13).

**MS-5**

Arenisca compuesta por un 30% de cuarzo subanguloso y de formas alargadas; la mayor porción del cuarzo es de origen metamórfico. El feldespato se compone de plagioclasa y microclina en formas subangulosas, estos componentes representan el 25%. Los líticos que componen la roca son de origen sedimentario de formas subredondeadas. La roca tiene una matriz arcillosa, que representa el 25% del total de la roca. La roca se clasificó como una grauvaca de arenas finas, mal seleccionada, soportada por matriz (Figura 3.2.14).

**MS-6**

Arenisca conformada en un 65% por cuarzo, principalmente de origen metamórfico y en menor cantidad de origen ígneo, estos componentes son subredondeados. Los feldespatos son plagioclasas y feldespato potásico subredondeados, representan el 15%. Los fragmentos de roca representan el 20%, se encuentran compuestos por líticos sedimentarios de grano fino, de subangular a subredondeado, compuestos de cuarzo.

Los minerales accesorios son óxidos de hierro en cantidades menores al 5%, también la matriz de arcillas es mínima y menor al 5%. La roca se clasificó como una sublitarenita de grano medio, granosoportada y medianamente madura (Figura 3.2.15).

**MS-7**

Arenisca conformada por cuarzo metamórfico subredondeado, con bordes bien definidos del tamaño de arenas finas; este material compone el 20%. Los feldespatos son de plagioclasas medianamente alteradas, subangulares a angulares; estos componentes representan el 25%. Los fragmentos de roca principalmente son de líticos de origen sedimentario, compuestos de cuarzo metamórfico redondeados y representan el 55%. Los minerales accesorios son de biotita, óxidos de hierro, clorita y opacos. La roca contiene un 20% de matriz. Esta muestra se clasificó como una grauvaca de arenas medias a finas (Figura 3.2.16).

**MS-8**

Arenisca compuesta por cuarzo principalmente de origen metamórfico con extinción ondulante, el cual representa el 25%; también se encuentran pequeñas cantidades de cuarzo de origen ígneo. El contenido de los feldespatos representa el 15%, se compone de microclina, plagioclasa y pertita alterada; los clastos son de subredondeados a redondeados, presentando en algunos casos, plagioclasa medianamente alterada con bordes difusos. Los fragmentos de roca que representan el 60% de la roca son de origen ígneo y dominando los de origen sedimentario; sus formas van de redondeados a subredondeados. Los minerales accesorios son arcillas, clorita, óxidos de hierro y minerales opacos; la matriz es de arcilla, menor al 10%. Esta roca se clasificó como una litarenita de arenas medias, grano-soportada y mal clasificada (Figura 3.2.17).

**MS-9**

Arenisca que se compone de un 30% de cuarzo metamórfico anguloso a subanguloso, de bordes definidos. Los feldespatos representan el 20% de los que se reconoció; pertita, ortoclasa y plagioclasas; también se distinguió la microclina; los clastos se encuentran de subredondeados a redondeados y mal seleccionados. Los líticos son del orden de 50% estos

van de subredondeados a subangulosos y son de origen sedimentario, compuestos principalmente por cuarzo metamórfico, los cuales tienen una cantidad considerable de biotita y clorita. Los minerales accesorios encontrados fueron óxidos de hierro y biotita, que suman un 5%. La matriz está compuesta por arcillas y micas; estos componentes en conjunto no rebasan el 10% del total de la roca. La roca se clasificó como una litarenita de grano medio, grano-soportada y de baja madurez (Figura 3.2.18).

### **MS-10**

Arenisca compuesta de cuarzo metamórfico en un 50%, en granos alargados, subangulares a subredondeados. Los feldespatos que componen la roca representan un 20%; están representados por plagioclasas y feldespato potásico como microclina y pertita, medianamente alteradas de bordes difusos y subredondeados. Los fragmentos de roca representan el 30%, se presentan en formas redondeadas y están compuestos por pequeños fragmentos de cuarzo metamórfico. Como minerales accesorios se identificaron micas alargadas en dirección de la laminación, con abundancia de micas y pocos óxidos. La matriz compuesta por micas y arcillas representa el 10%. La roca se clasificó como una litarenita, con clastos bien seleccionados, medianamente madura y con laminación distinguible en el microscopio (Figura 3.2.19).

### **MS-11**

Arenisca compuesta de cuarzo metamórfico subredondeado a subanguloso, el cual en ocasiones presenta bordes difusos; este cuarzo representa el 40%. Los feldespatos representan el 25%, de microclina y plagioclasa, de subredondeados a subangulosos medianamente alteradas. Los fragmentos de roca se presentan de forma redondeada, compuestos mayormente por cuarzo redondeado de origen metamórfico; estos líticos representan el 35%. Los accesorios que se pudieron distinguir son; óxidos de fierro de color rojizo y biotita. Las arcillas y las micas presentes conforman la matriz en un 10% del total de la roca. La roca se clasificó como una litarenita, grano-soportada, de grano medio, con algunos clastos mayores a 2 mm, poco madura, medianamente seleccionada; en esta roca dominan los clastos subangulares sobre los subredondeados (Figura 3.2.20).

### **MS-12**

Arenisca compuesta de cuarzo metamórfico en formas subangulares a subredondeadas, medianamente seleccionados; estos clastos representan el 50%. Los feldespatos son de plagioclasas euhedrales, con formas subangulares, medianamente alterados, y por microclina y pertita en menor cantidad, en conjunto representan el 20%. Los fragmentos de roca son líticos de origen sedimentario, de grano medio, compuestos por cuarzo de origen

metamórfico, los cuales contiene mica en poca cantidad; estos fragmentos de roca representan el 30%.

Los accesorios son micas alteradas, óxidos de hierro y de manganeso, cristales de zircón y arcillas.

Los poros fueron rellenos por material fino, lo cual disminuye la porosidad; la matriz de la roca representa menos del 5% del total de la roca. La roca se clasificó como una litarenita grano-soportada, medianamente seleccionada, medianamente madura y de granulometría gruesa (Figura 3.2.21).

### **MS-13**

Arenisca compuesta de cuarzo, subangulosos; es principalmente de origen metamórfico y solo una pequeña proporción de origen ígneo, haciendo un total de 55%. Los feldespatos son plagioclasas, y en menor cantidad feldespato potásico, microclina, subangulosos a subredondeados; estos representan el 30%. Los fragmentos de roca componen el 15%, son de subangulosos a subredondeados, medianamente seleccionados; compuestos principalmente por líticos sedimentarios de cuarzo metamórfico. Los minerales accesorios son óxidos de hierro principalmente y minerales opacos. La matriz es arcillosa y compone el 20% del total de la roca. Esta roca se clasificó como una wacka-arcósica de grano fino con fenolíticos de cuarzo y feldespato (Figura 3.2.22).

### **MS-14**

Arenisca compuesta por cuarzo en un 20%, son de origen metamórfico, en formas subangulosas y en tamaños de arenas gruesas, hasta los 2 mm. Entre los feldespatos se pueden distinguir plagioclasas subangulares y subredondeadas, medianamente alteradas, estos representan un 30%. Los fragmentos de roca se encuentran en formas subredondeadas a subangulares, estos fragmentos se encuentran compuestos principalmente por cuarzo de origen metamórfico en tamaños de arenas gruesas; estos líticos componen el 50%. En los minerales accesorios se identificó clorita, arcillas, óxidos de hierro y minerales opacos. La matriz está compuesta por arcillas y representa el 5% del total de la roca. La roca se clasificó como una litarenita de arenas gruesas (Figura 3.2.23).

### **Complejo Acatlán**

Complejo Acatlán: En el área de estudio aflora el Complejo Acatlán, particularmente la Formación Tecomate, de la cual también se realizó una lámina delgada. El análisis realizado a la lámina delgada ED-2 (figura 3.2.24), perteneciente al Complejo Acatlán, se identificó como un esquistos de muscovita, clorita y minerales opacos, con un importante

contenido de cuarzo; en esta muestra se pueden observar micropliegues, foliación y minerales opacos. En la zona de estudio aflora la Formación Tecomate, perteneciente al Complejo Acatlán, en los diferentes afloramientos descritos se pudo observar los esquistos de muscovita, metareniscas y metacalizas.

#### **Gabro Santo Domingo.**

En la lámina delgada se pudo distinguir que la roca está compuesta en un 80% de anfíbol en formas alargadas y euhedrales, un 5% de cuarzo cristalino y 2% de plagioclasas; la roca contiene minerales opacos los cuales representan un 13% del total de la roca. Esta muestra se clasificó como gabro de hornblenda (Figura 3.2.25).

#### **Tronco de Totoltepec.**

Esta roca se encuentra compuesta por un 50% de cuarzo cristalino y un 45% de feldespatos, de los cuales el feldespato potásico representa el 20% y de las plagioclasas se distinguió la labradorita que representan el 25%, el 5% restante lo forman micas biotita y muscovita. Esta roca se clasificó como una granodiorita de biotita y muscovita (Figura 3.2.26).

#### **Caliza Coyotepec**

Se compone de pellets y microfósiles, en una matriz micrítica; por las características observadas al microscopio, es una caliza wackestone la cual sufrió un proceso metamórfico y ahora tiene un contenido del 35% de dolomía, por lo que, esta roca se clasificó como una caliza wackestone dolomitizada (figura 3.2.27)

#### **Unidad Piedra Hueca**

Esta roca se encuentra compuesta por fragmentos de cuarzo de origen metamórfico, principalmente y en menor medida de origen ígneo, estos fragmentos son subangulosos y conforman el 50% del total de la roca; los feldespatos que componen la roca son subredondeados a subangulosos y representan el 35% del total de la roca y un 15% de fragmentos de roca, los cuales son provenientes principalmente del Complejo Acatlán y en menor proporción del Tronco de Totoltepec, presenta una matriz arcillosa en un 10%. Esta roca se clasificó como una arcosa de grano medio a grueso.



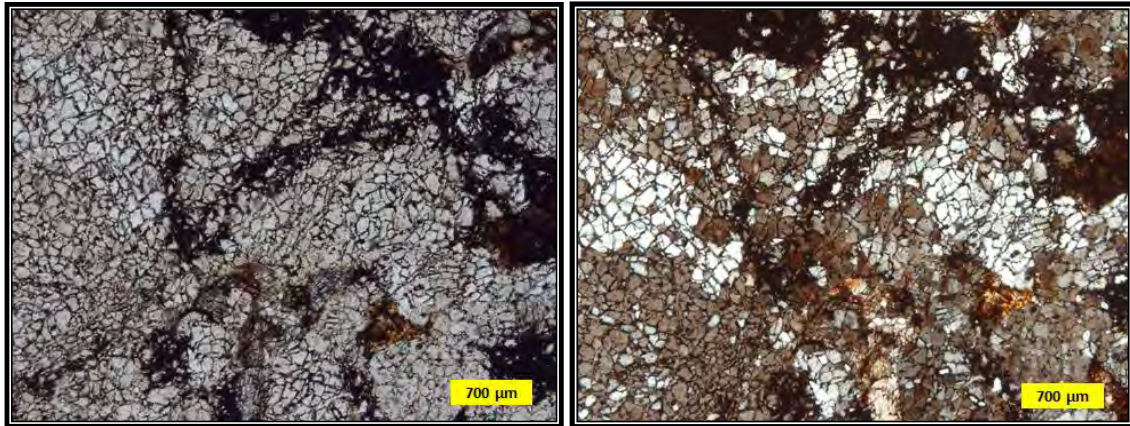


Figura 3.2.1. Muestra MI-1. Fotomicrografía de los fragmentos de un conglomerado oligomictico, compuesto por líticos de rocas sedimentarias.

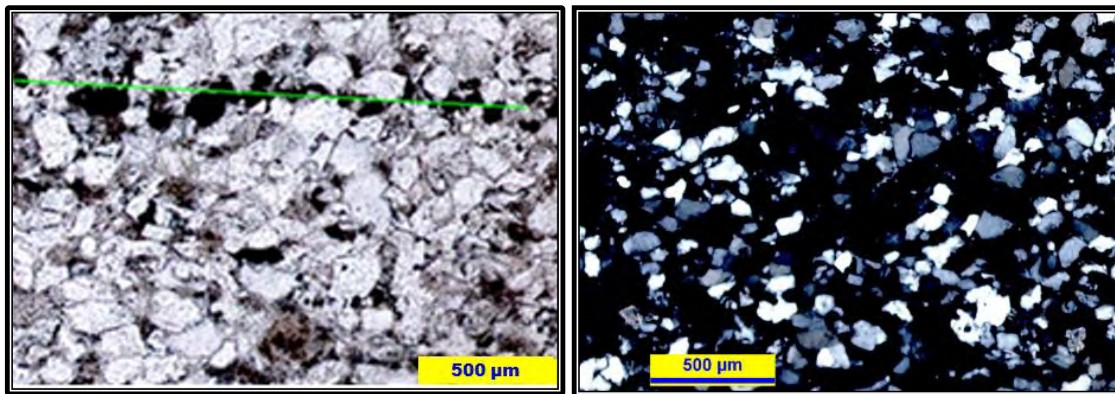


Figura 3.2.2. Muestra MI-2. Fotomicrografía de una subarcosa, en donde se puede observar los diferentes clastos, la distribución de estos, así como la cantidad de óxidos presentes.

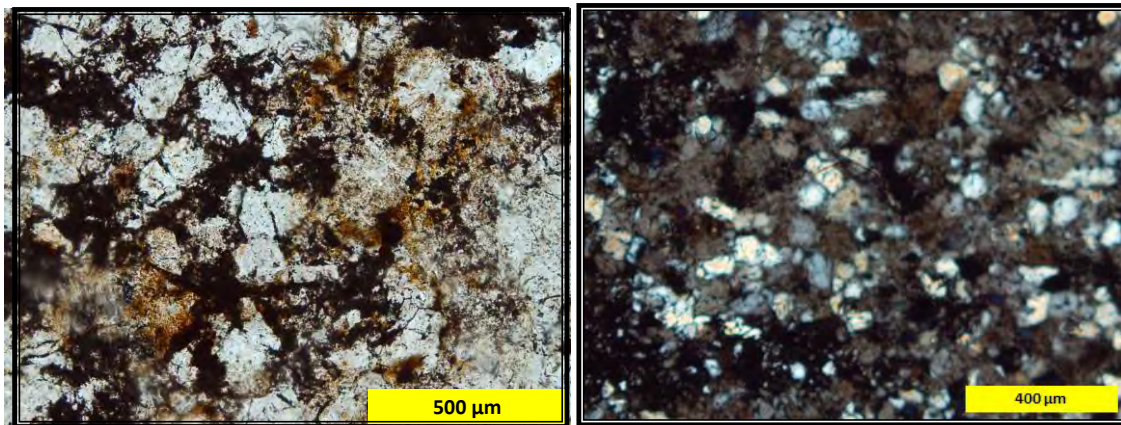


Figura 3.2.3. Muestra MI-3. Fotomicrografía se observa la matriz y los óxidos presentes en la roca.

Figura 3.2.4. Muestra MI-5. Grauvaca de grano fino, se observan los diferentes componentes de cuarzo, líticos y matriz.

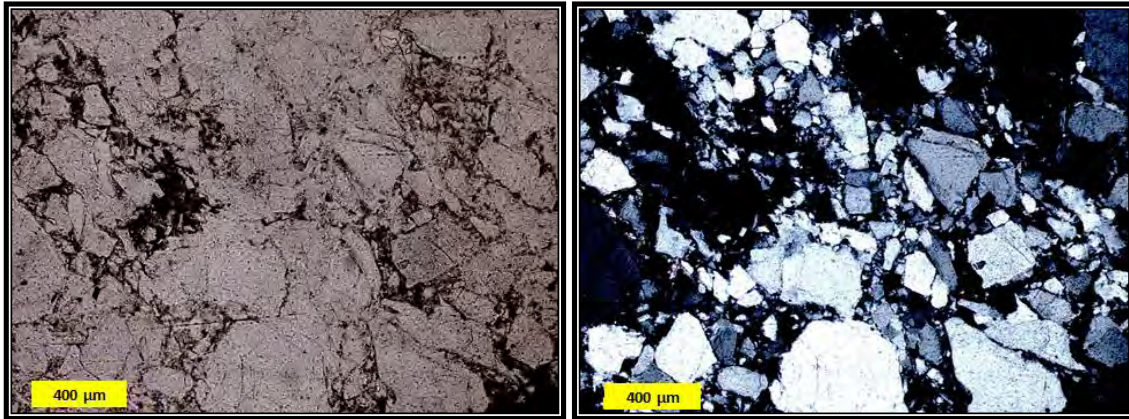


Figura 3.2.5. Muestra MS-5. Fotomicrografía de una litarenita de grano fino, se puede observar la matriz y los diferentes clastos que la conforman.

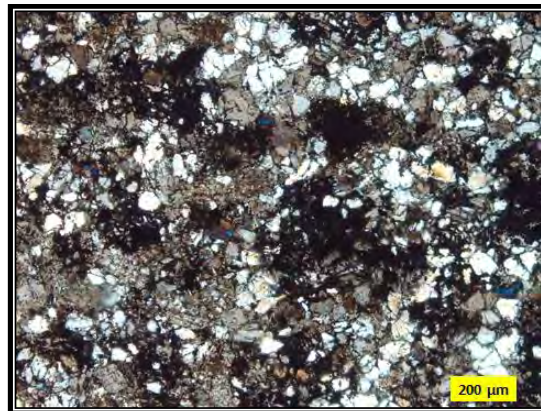


Figura 3.2.6. Muestra MI-6. Fotomicrografía de una subarcosa de grano fino, se puede observar el tamaño de los clastos que la componen, su distribución y matriz.

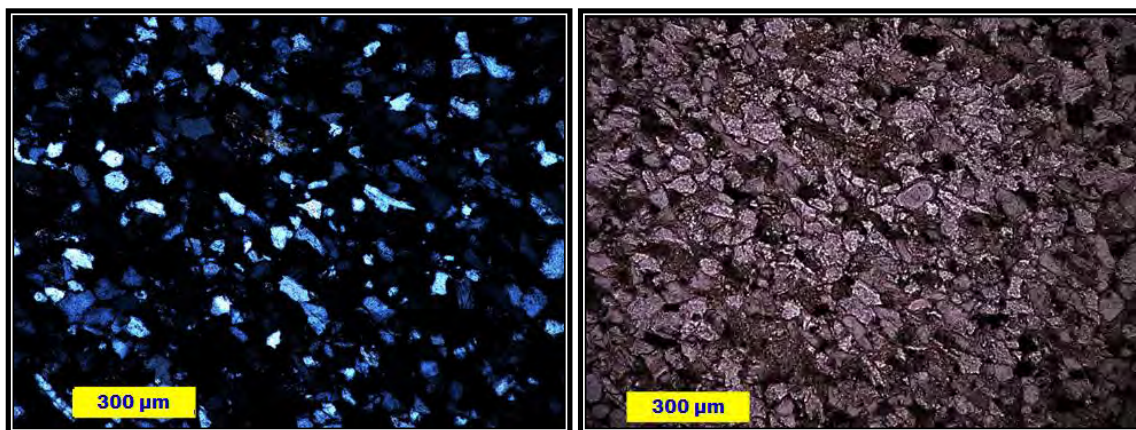


Figura 3.2.7. Muestra MI-7. Fotomicrografía de una subarcosa de grano fino, madura y bien seleccionada.

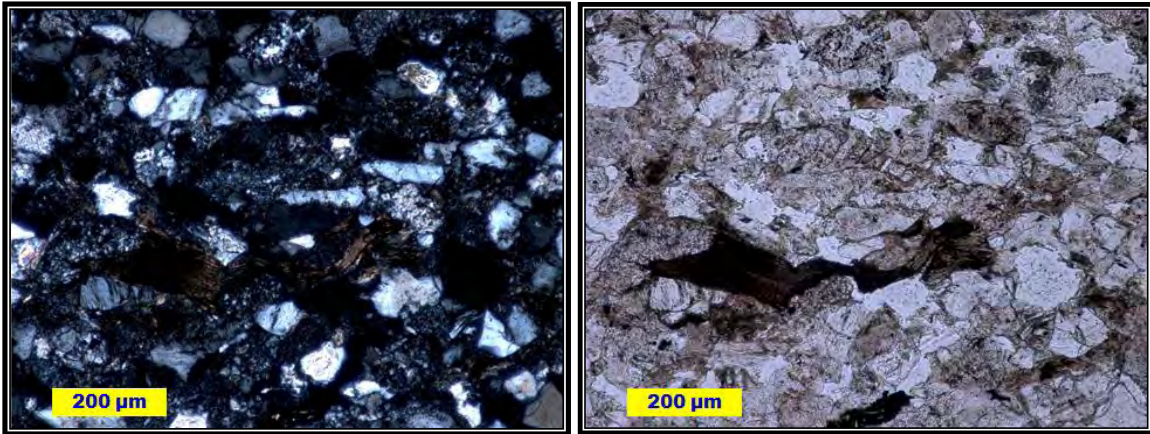


Figura 3.2.8. Muestra MI-7. Fotomicrografía de una subarcosa de grano fino, madura y bien seleccionada.

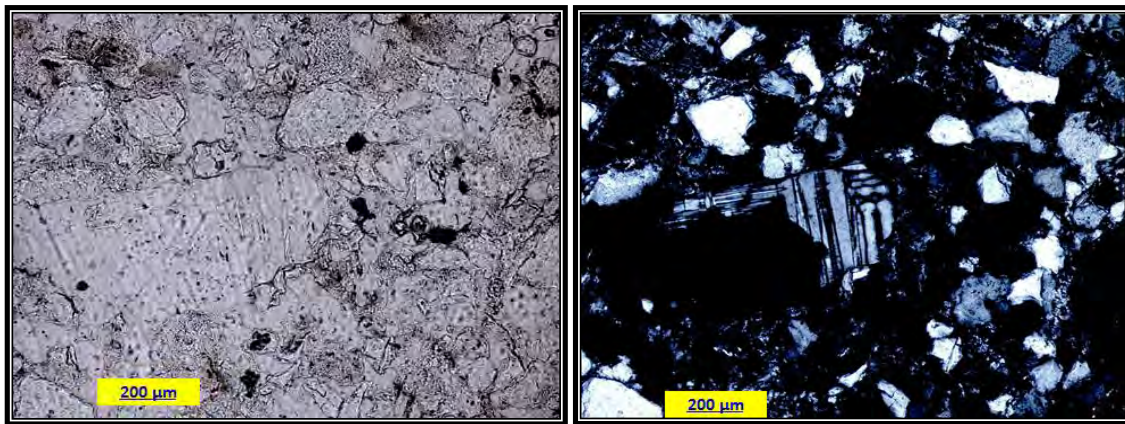


Figura 3.2.9. Muestra MI-9. Fotomicrografía de una arenita arcósica de grano fino, se observan clastos de cuarzo, plagioclasa y minerales opacos.

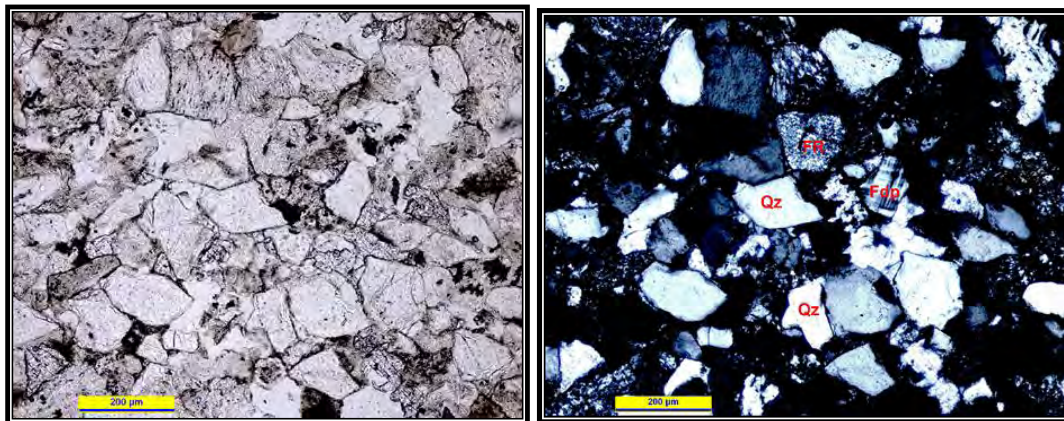


Figura 3.2.10. Muestra MS-1. Fotomicrografía de una litarenita de arenas finas, con cuarzo, feldespato y fragmentos de roca.

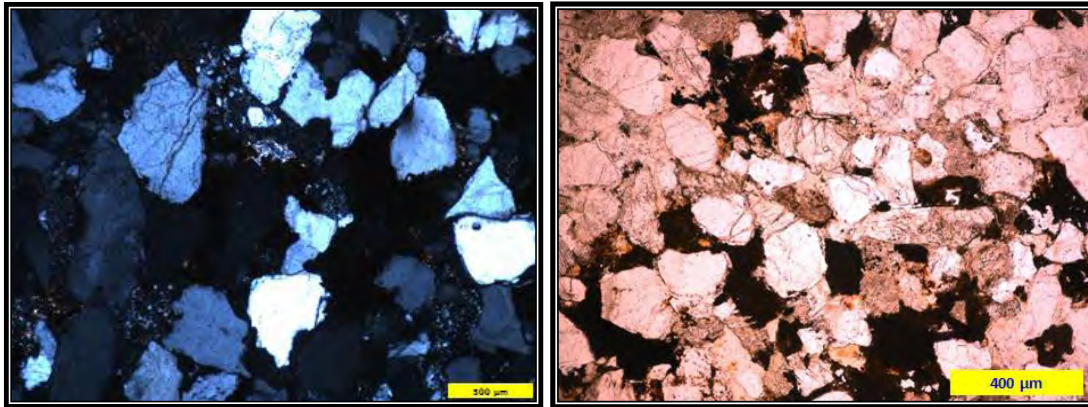


Figura 3.2.11. Muestra MS-2. Fotomicrografía de la litarenita con nicoles cruzados y luz polarizada, aquí se distinguen los fragmentos de roca, cuarzo y minerales opacos.

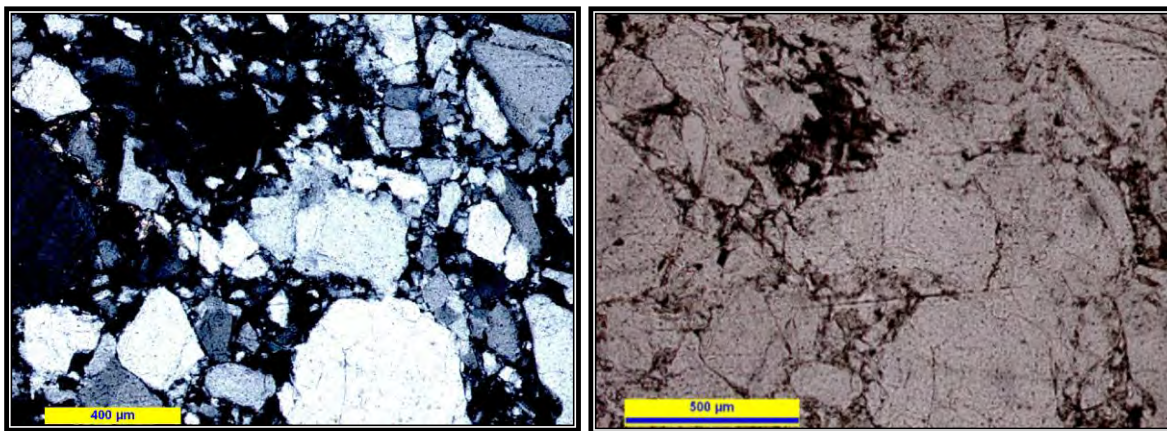


Figura 3.2.12. Muestra MS-3. Sublitarenita en la que se puede observar con nicoles cruzados en el lado izquierdo y en el lado derecho sin ellos, se pueden observar los diferentes clastos y su distribución.

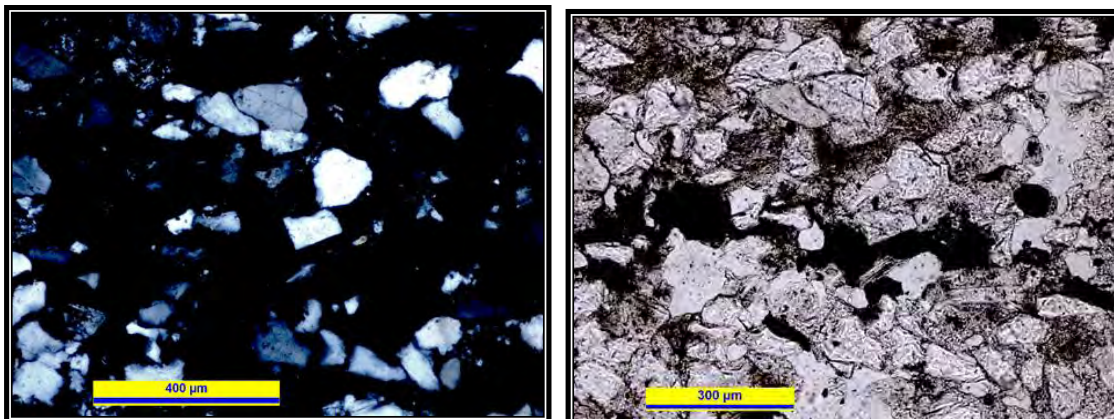


Figura 3.2.13. Muestra MS-4. Sublitarenita con nicoles en el lado izquierdo y en el lado derecho con luz polarizada, se pueden observar minerales opacos y cuarzo.

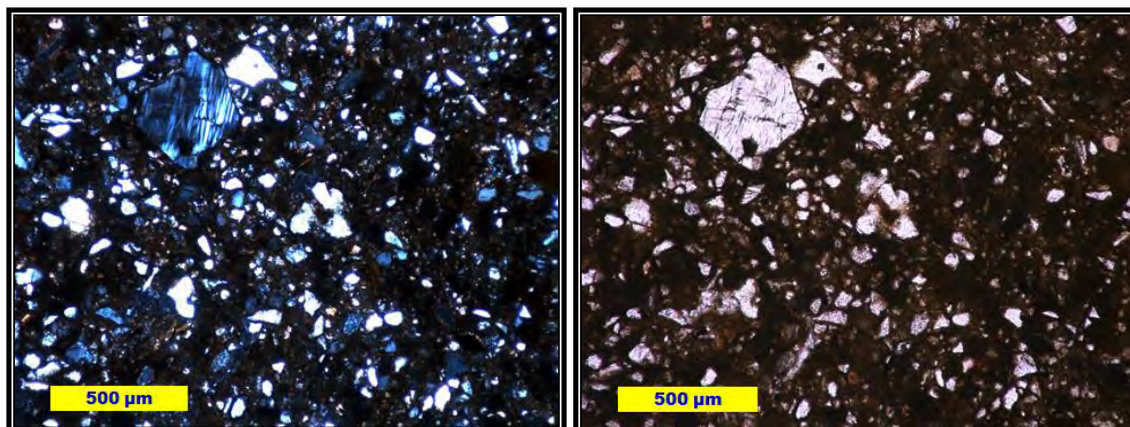


Figura 3.2.14. Muestra MS-5. Grauvaca de arenas finas, con nicoles en el lado izquierdo y en el lado derecho con luz polarizada, se observa un fenoclasto de plagioclasa.

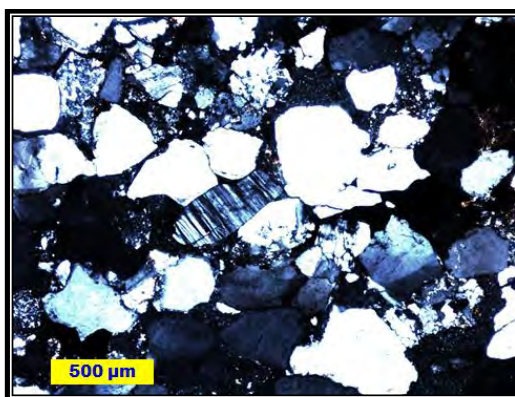


Figura 3.2.15. Muestra MS-6. Sublitarenita en la que se puede observar, plagioclasas, cuarzo y fragmentos de roca.

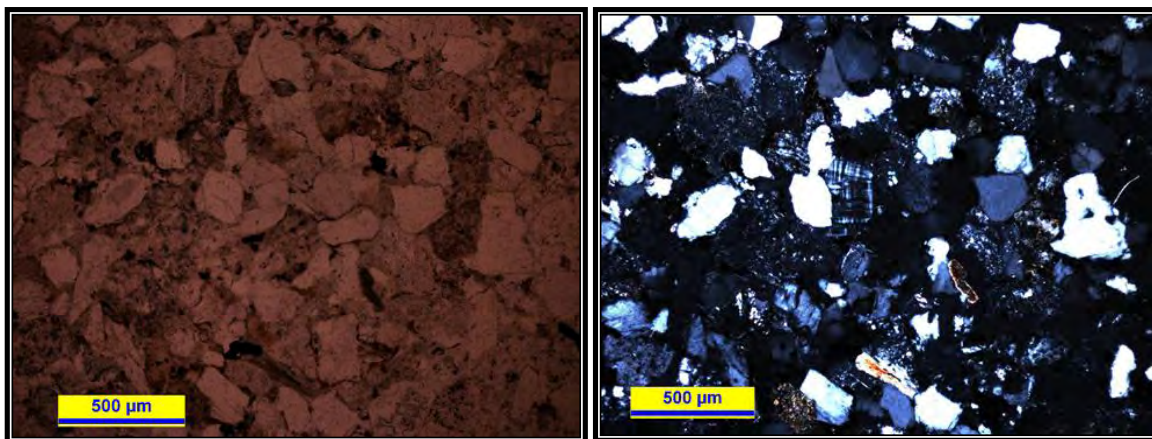


Figura 3.2.16. Muestra MS-7. Grauvaca en la que se pueden observar, plagioclasas, fragmentos de roca y cuarzo.

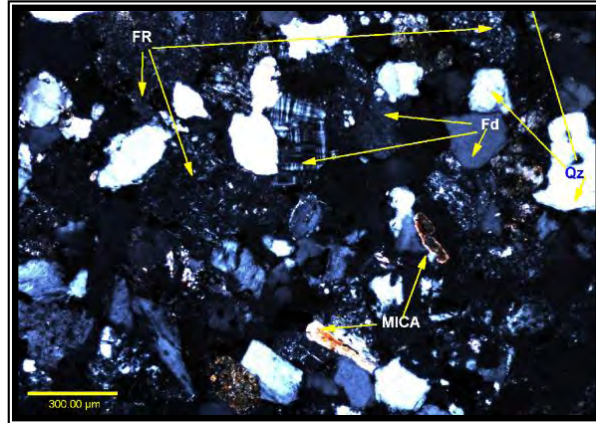


Figura 3.2.17. Muestra MS-8. Litarenita vista a través de microscopio petrográfico con nicoles cruzados, se pueden observar fragmentos de roca, plagioclasas, cuarzo y micas.

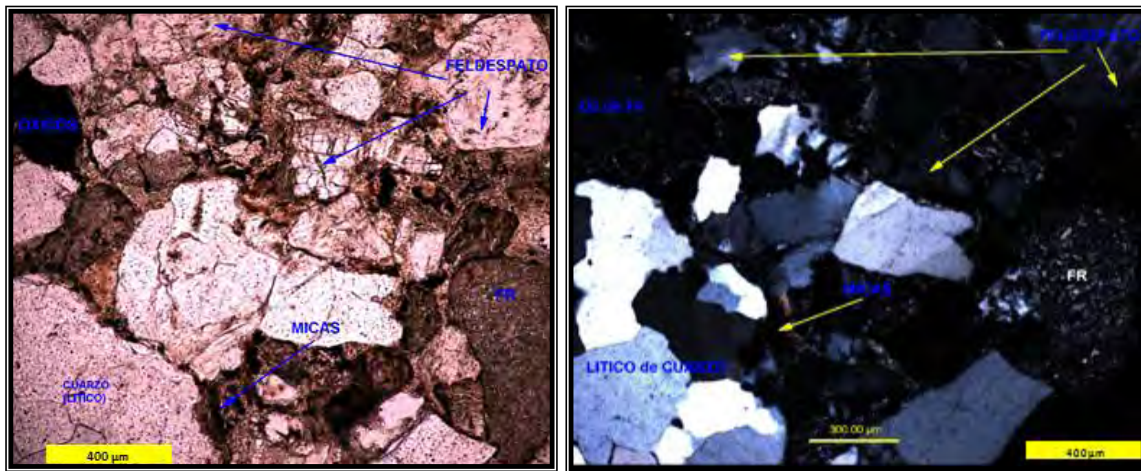


Figura 3.2.18. Muestra MS-9. Litarenita vista a través del microscopio petrográfico con y sin nicoles, se pueden observar los diferentes clastos y su distribución.

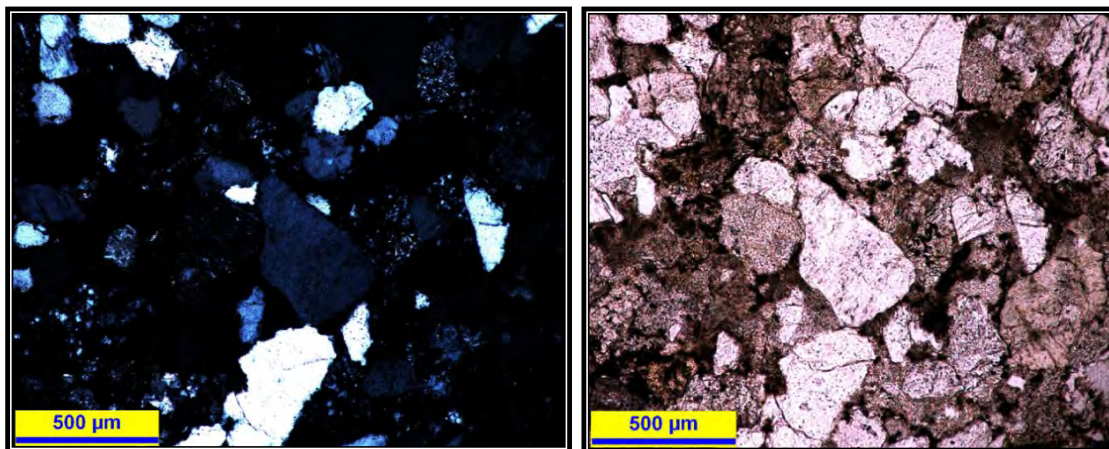


Figura 3.2.19. Muestra MS-10. Fotomicrografía de una litarenita en la que se puede distinguir la matriz y los fragmentos de roca.

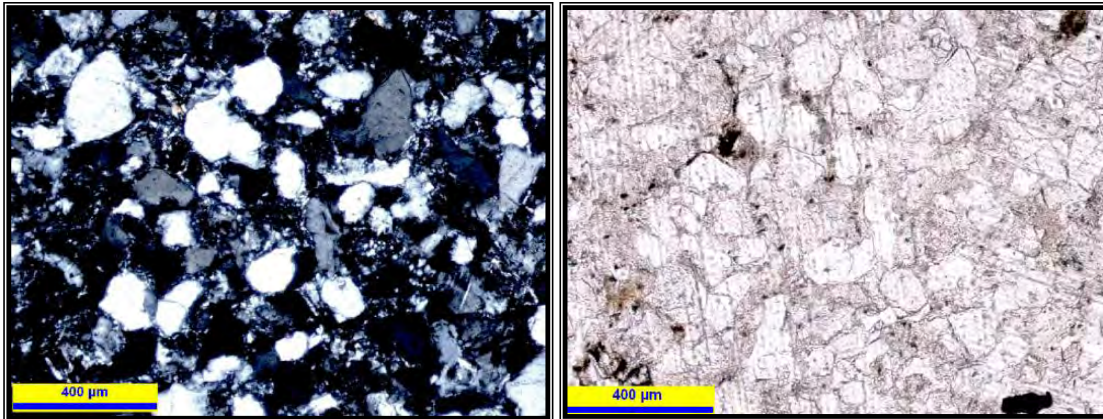


Figura 3.2.20. Muestra MS-11. Fotomicrografía de una litarenita con clastos de cuarzo y su distribución con nicoles cruzados y con luz polarizada.

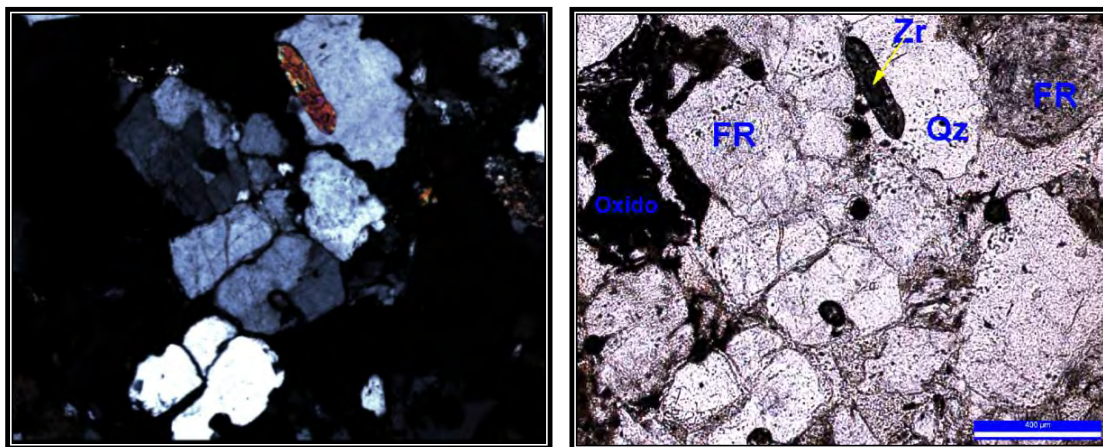


Figura 3.2.21. Muestra MS-12. Fotomicrografía de una litarenita con óxidos de hierro, fragmentos de roca, cuarzo y un cristal de zircón.

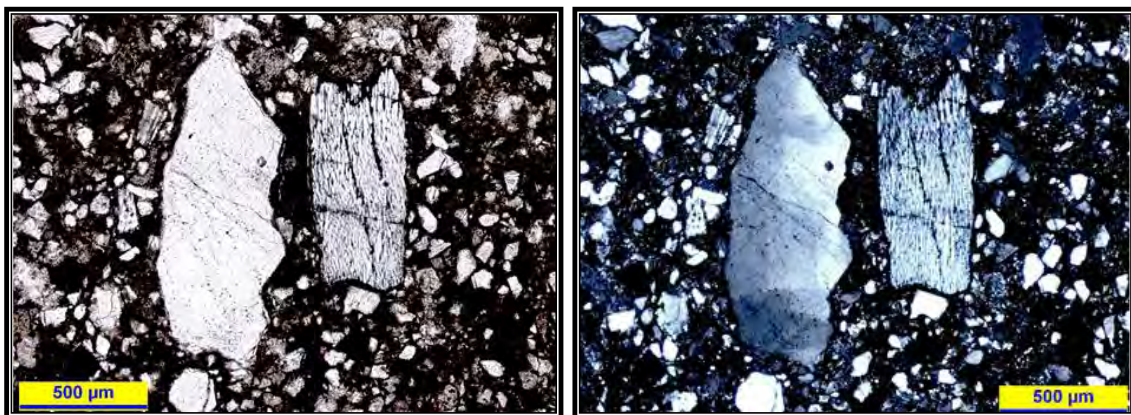


Figura 3.2.22. Muestra MS-13. Fotomicrografía de una wacka arcósica en la que se puede observar un fenoclasto de cuarzo a la izquierda y un fenoclasto de plagioclasa a la izquierda.

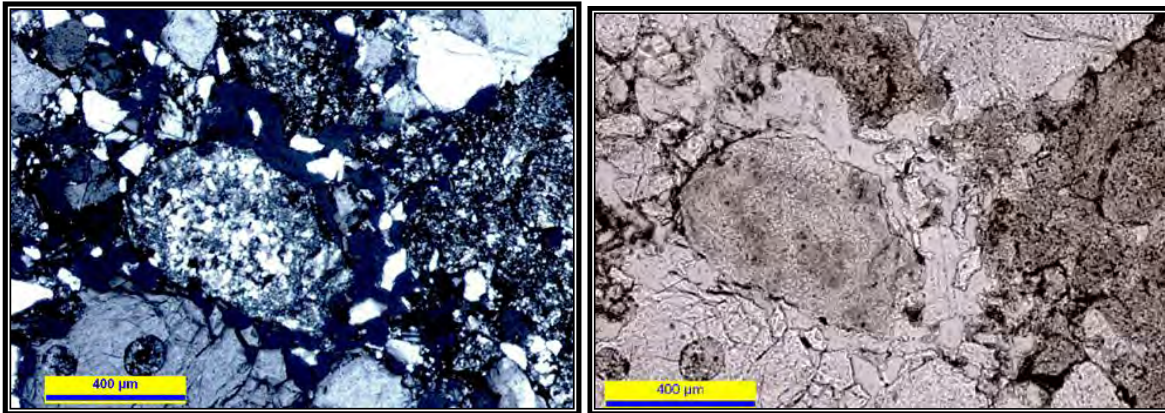


Figura 3.2.23. Muestra MS-14. Fotomicrografía de una litarenita, en la que se puede observar un fragmento de roca en el centro de la imagen.

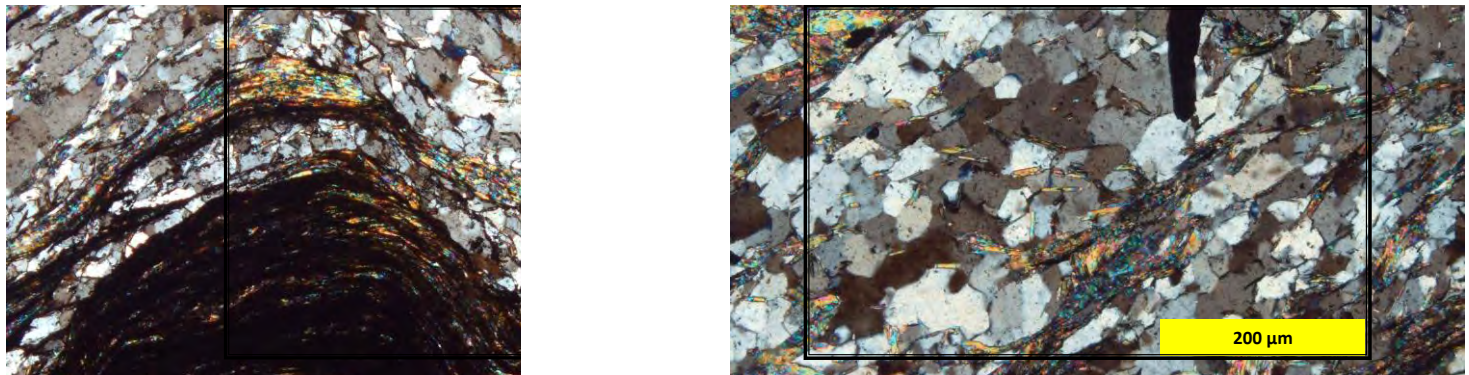


Figura 3.2.24. Muestra ED-2. Fotomicrografía de un esquistó de muscovita y clorita de la Formación Tecomate.

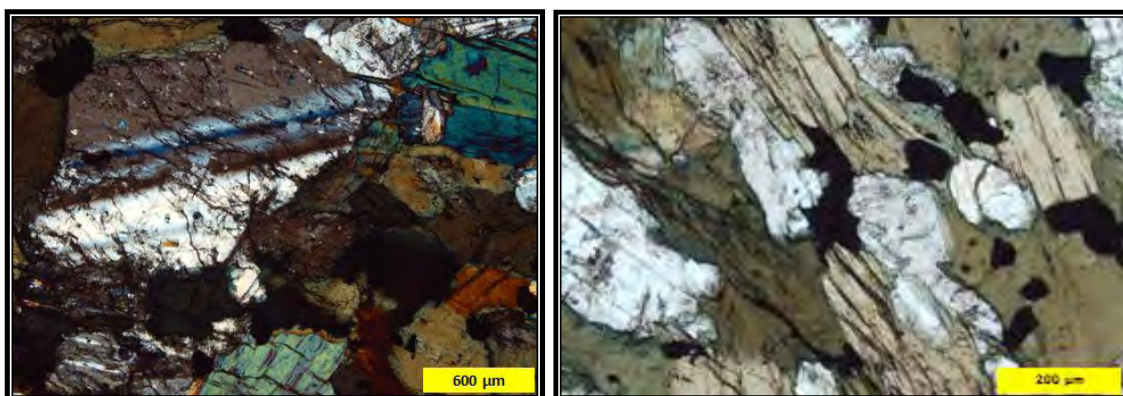


Figura 3.2.25. Muestra Gab. Fotomicrografía de un gabro de hornblenda, se puede observar; hornblenda, plagioclasa y minerales opacos.



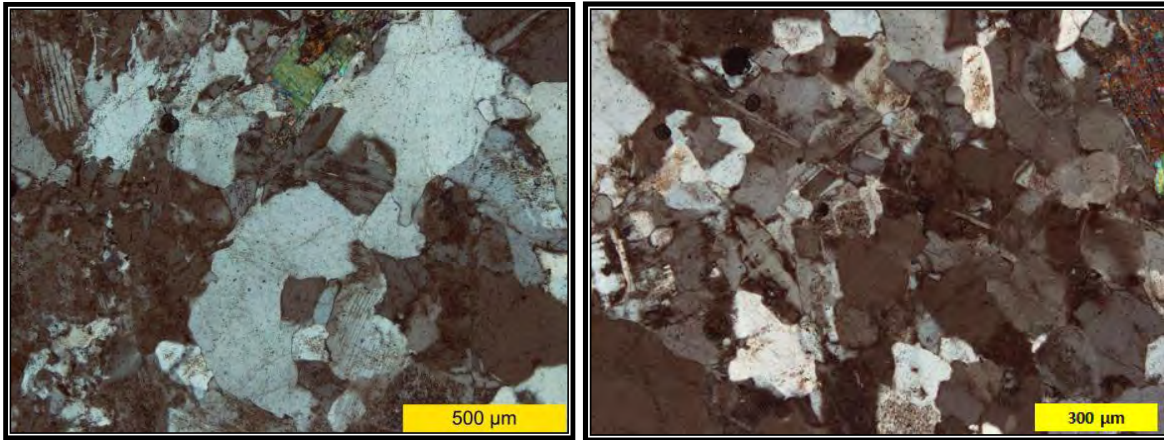


Figura 3.2.26. Muestra Gr-1. Microfotografía de una granodiorita, perteneciente al Tronco de Totoltepec.

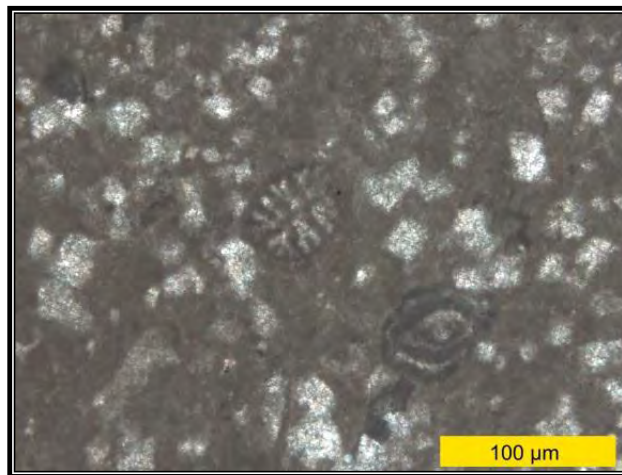


Figura 3.2.27. Muestra Cz. Se observa una caliza wackestone con microfósiles, parcialmente dolomitizada.

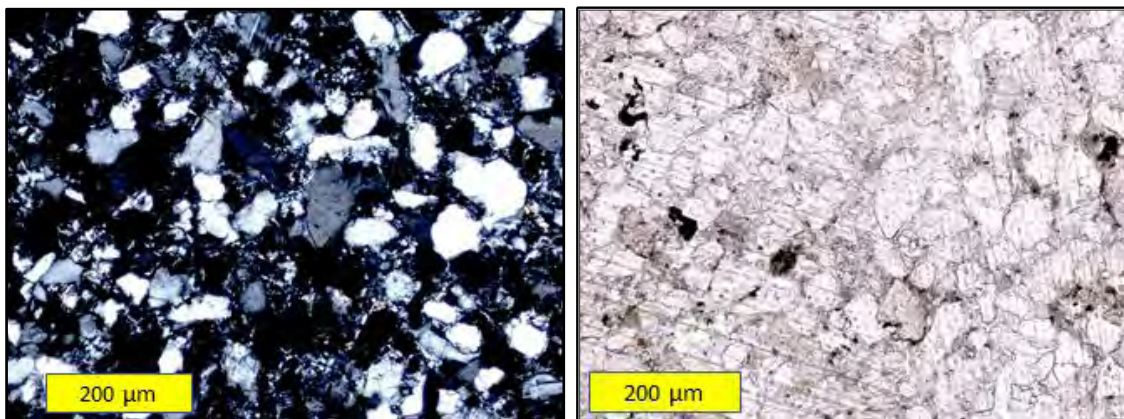


Figura 3.2.28 Muestra PH. Se observa una arcosa de grano medio a grueso, perteneciente a la unidad Piedra Hueca.

### 3.3 Contenido Fosilífero.

El registro fósil vegetal de una región refleja el clima en donde vivieron y se desarrollaron estas plantas, al igual que las plantas actuales reflejan el clima donde actualmente viven. En México, el registro fósil que pertenece al Jurásico está dominado principalmente por gimnospermas, destacando las cicadófitas y las coniferofitas; fue en el Jurásico donde las gimnospermas alcanzaron su mayor desarrollo.

Los fósiles colectados en la Unidad Otlaltepec son de plantas, donde el mayor número pertenece al miembro inferior en las porciones más finas, consiste en hojas, ramas, troncos y corteza. En el miembro superior se colectaron troncos y corteza de árboles, esto posiblemente en relación a la granulometría más gruesa, la cual está relacionado con un ambiente de mayor energía. Los principales procesos de fosilización son la impresión de hojas y la permineralización con sílice en los troncos

A continuación se presentan los resultados obtenidos por la Dra. Patricia Velasco de León y sus colaboradores, particularmente por Irán Grajeda Cruz, del equipo de paleontología de la FES Zaragoza.

Se recolectaron un total de 110 ejemplares, de los cuales se observa la siguiente abundancia (figura 3.3.1):

- ❖ Bennetiales 58%.
- ❖ Impresiones de Madera 14%.
- ❖ Semillas 1%.
- ❖ Ramas de *Brachyphyllum* 9%.
- ❖ Helechos 3%, del género *Todites*.
- ❖ Troncos 6%.
- ❖ Cícadas 3%.
- ❖ Conos (1%) de las especies *Williamsonia tlazolteotl* Wieland.
- ❖ Ejemplares no identificados 5%.

Silva-Romo y Mendoza-Rosales (2000), reportan que los estratos de lodolitas (fracciones finas de la unidad), son portadoras de contramoldes de icnitas de saurópodos terópodos.

Ramos-Leal (1989), reporta *Williamsonia nezahualcóyotl* Wieland, fósiles que han sido reportados en las formaciones Zorrillo y Rosario del Jurásico Medio, también reportado en la Formación Tecomazuchil al noreste de Oaxaca, por Grimaldo-Avalos (2010).

Silva Pineda (1978), reporta para el Jurásico de México, la existencia de *Bennettitales* o *Cycadeoidales* y *Cycadales*, igualmente reporta helechos de la familia *Osmundaceae* la que se encuentra presente el género *Todites*.

Calderón-García (1956), reporta *Williamsonia* y *Otozamites*, posiblemente del Jurásico Medio-Superior.

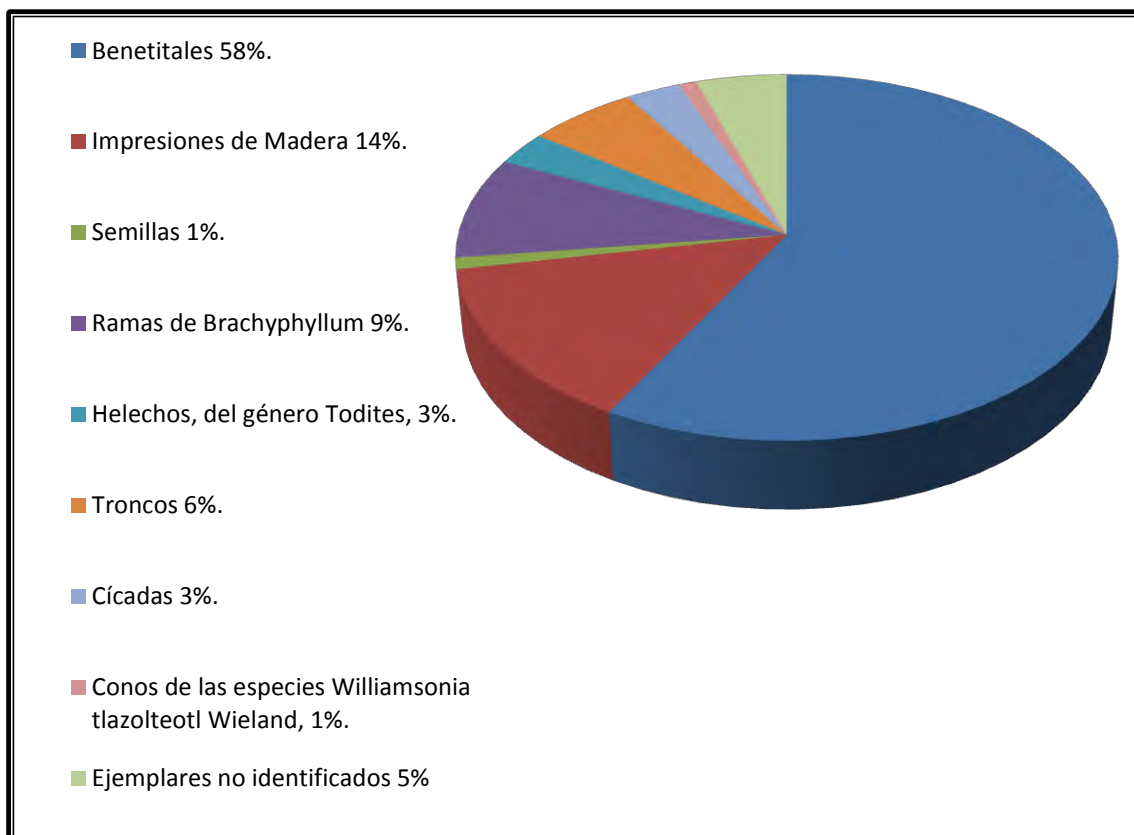


Figura 3.3.1. Abundancia de los diferentes grupos de fósiles encontrados en la Unidad Otlaltepec, localizados al oeste y al suroeste de Santo Domingo Tianguistengo Oaxaca.

### 3.4 Litofacies.

Una facies es el conjunto de características y atributos distintivos de las rocas sedimentarias, que puede ser definida y separada de otras, con base en su litología, geometría, estructuras sedimentarias, granulometría, mineralogía, contenido fosilífero y otros. El trabajo para sistemas fluviales de Miall (1977), donde se encuentra una codificación referente a las litofacies y estructuras sedimentarias presentes en un sistema fluvial (tabla 3.4.1), es el que se utiliza en este trabajo.

La acción erosiva de los ríos, propicia diferentes eventos, tales como, la migración del río o el desborde de canales, los cuales propician que en ocasiones los sedimentos se

sobrepongan; es probable también que por este tipo de eventos, los depósitos gruesos pueden ser sobreyacidos por las secuencias de granulometría menor.

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

Tabla 3.4.1. Distintos tipos de litofacies para los sistemas fluviales (Tomada de Miall, 1977).

Según Arche (1992), los depósitos aluviales entrelazados se acumulan en tres ambientes principales: ríos entrelazados (braided), abanicos aluviales y llanuras aluviales. De acuerdo con el modelo de Miall (1985), el desarrollo de los depósitos de la Unidad Otlaltepec se encuentran dentro de los sistemas de ríos trezados (braided), principalmente con desarrollos de secuencias tipo Saskatchewan y Donjek (figura 3.4.1), con dominio de secuencias Saskatchewan para el miembro inferior y del tipo Donjek para el miembro superior (figura 3.4.1).

A lo largo de la columna estratigráfica estudiada se presentan diferentes litofacies, en las que se presentan cambios, primeramente dominan las facies St con pequeñas porciones de las facies, Gt, Fl, y Gm, que da origen a secuencias tipo Saskatchewan en el miembro inferior, pasando progresivamente al dominio de las facies Gt pequeñas apariciones de las facies St y Gm dando origen a secuencias tipo Donjek para el Miembro Superior; se interpreta que a lo largo de toda la unidad están presentes las facies Fl. Para el miembro inferior se presentan esporádicas apariciones de las facies Sr, Sh y Fr, mientras que en el miembro superior, se comportan de forma rítmica con las facies St, Gt y Fl; solamente en la

base de la unidad se puede observar una pequeña parte de secuencia tipo Scott pertenecientes a un pequeño conglomerado basal de facies Gm.

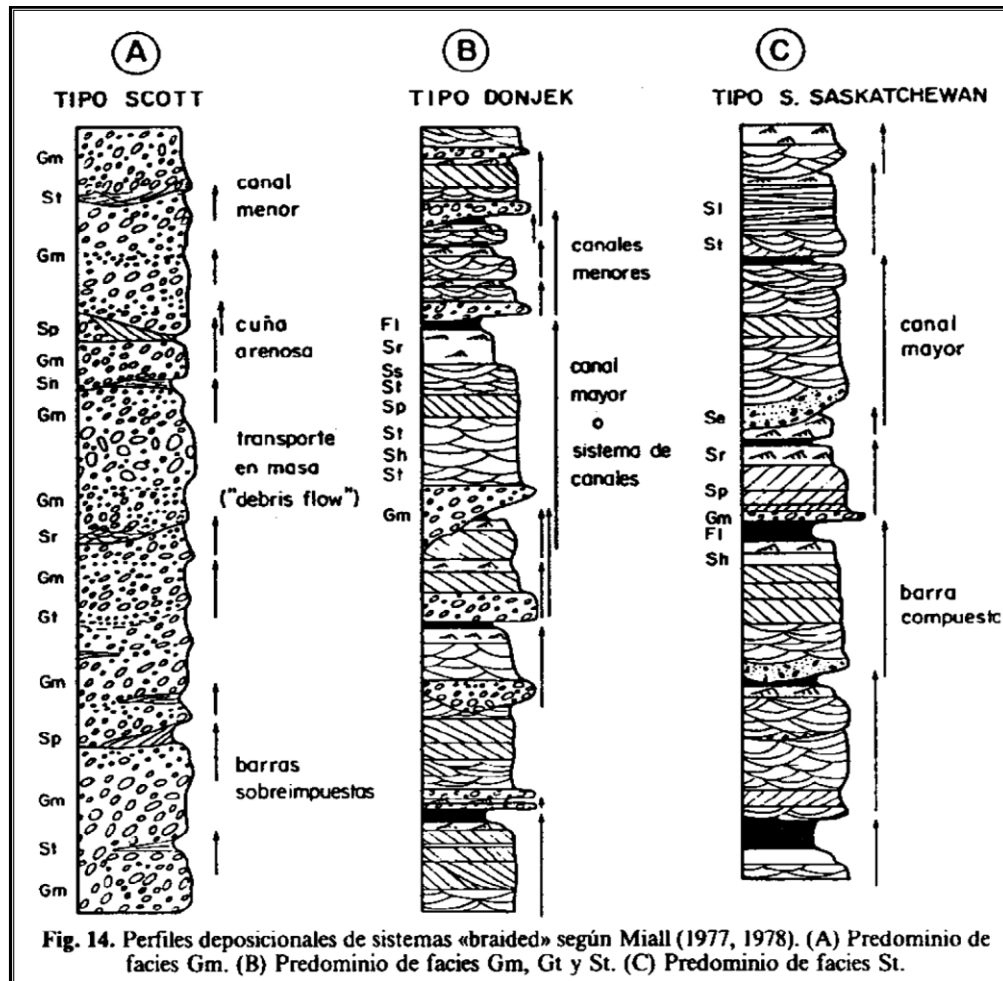


Figura 3.4.1. Columnas estratigráficas de los diferentes sistemas fluviales (tomado de Arche, 1992).

En el área de estudio se tienen secuencias tipo Donjek y Saskatchewan, presentando litofacies de tipo; St, Gt, Fl Sr, Sh y Fr, con facies proximales de ríos trenzados, esto aunado con los estratos de sedimentos finos laminados, provenientes de las llanuras de inundación, en la que se tienen restos fósiles y carbón provenientes de los lagos someros cubiertos rápidamente por los flujos de escombros.

Las principales características litológicas que separan una litofacies de otra a lo largo de la Unidad Otlaltepec son:

- Conglomerado: conglomerado polimíctico (figura 3.4.2) con clastos cuyos tamaños varían desde los 2 mm hasta los 6 cm, mal clasificado; los clastos que lo componen son de subredondeados a subangulosos; se encuentra dominados por clastos de cuarzo lechoso, líticos del Gabro de Santo Domingo, del Tronco de Totoltepec,

Complejo Acatlán y Unidad Piedra Hueca, e inmersos en una matriz de arenas finas de feldespato y cuarzo (figura 3.4.2).

- Arenisca de grano fino: estos se presentan principalmente en el miembro inferior, es en estas litologías donde se puede apreciar el mayor contenido fosilífero, posee un mayor contenido de matriz arcillosa, la litología está compuesta por cuarzo metamórfico, feldespatos y fragmentos de roca, los cuales son de subangulares a subredondeados. Las principales estructuras sedimentarias son estratificación cruzada y laminación (figura 3.4.3).
- Arenisca conglomerática: el tamaño de los clastos que la componen son de arenas gruesas-muy gruesas, con algunos clastos mayores a 2 mm, llegando en ocasiones a medir 1 cm; los principales componentes de la roca son cuarzo metamórfico, fragmentos de roca y feldespatos. Los clastos varían de subangulosos a subredondeados, constituyendo una roca granosoportada; la estructura sedimentaria corresponde con estratos de espesores irregulares que internamente presentan estratificación cruzada (figura 3.4.4)
- Lutitas: es una fracción de la secuencia, la cual se presenta de manera cíclica en estratos laminados menores a 30 cm, de color verde pardo; en esta se encuentra mayor contenido fosilífero y láminas de carbón; los estratos tienen espesores menores a 30 cm, que se presentan paralelos y continuos (figura 3.4.5).
- Areniscas gruesas: se presentan a lo largo de la unidad, dominando en el miembro superior; están compuestas por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca. Los clastos van de subangulosos a subredondeados, presenta estratificación cruzada, estratificación tabular y rellenos de canal; es en esta litología donde se presentan la mayoría de los troncos colectados (figura 3.4.6).
- Carbón: se presenta en los estratos de areniscas de grano fino, interestratificado en las láminas de arenisca, en ocasiones supera los 50 cm de espesor (figura 3.4.7).

### 3.5. Biofacies.

Las biofacies de una unidad estratigráfica corresponde al conjunto de condiciones biológicas que caracterizan el ambiente de depósito, en el momento de la sedimentación. Las plantas fósiles son el método más confiable para interpretar climas antiguos, pues a diferencia de los animales, éstas se pueden preservarse en o cerca de su lugar de origen, a lo largo de las diferentes estaciones o cambios de clima de una región.



Figura 3.4.2. Conglomerado polimíctico, localizado en los márgenes del Río Acatlán, al sur de Santa Cruz Nuevo Puebla.



Figura 3.4.3. Arenisca de grano fino, localizado en los márgenes del Río Acatlán, al sur de Santa Cruz Nuevo Puebla.



Figura 3.4.4. Arenisca conglomerática, localizado en el Cerro la Colorada, al suroeste de Santa Cruz Nuevo Puebla.



Figura 3.4.5. Lutitas laminadas, en estratos menores a 30 cm, localizados en el Cerro la Colorada, al suroeste de Santa Cruz Nuevo Puebla.



Figura 3.4.6. Arenisca de grano grueso, localizado en el Cerro la Colorada, al suroeste de Santa Cruz Nuevo Puebla.



Figura 3.4.7. Carbón interestratificado en areniscas de grano fino, localizado en los márgenes del Río Acatlán, al sur de Santa Cruz Nuevo Puebla.

La mayoría del material fosilífero se encuentra en areniscas de grano fino y medio. La litología y estructuras sedimentarias encontradas, indican un ambiente continental fluvial de alta energía con períodos de máxima precipitación pluvial, lo que originó llanuras de inundación durante el relleno progresivo de la cuenca quedando como registro las limolitas y lutitas. Estos episodios favorecieron el desarrollo de abundante vegetación en un clima cálido, en una región que estaba sujeta a subsidencia continua en una fosa tectónica (Grajeda-Cruz, 2010).

A continuación se hace un resumen de los variados tipos de poblaciones vegetales, encontrados en la Unidad Otlaltepec, algunas de sus características climáticas y sus edades.

- Bennetiales o Cycadeoidales: es el más importante conjunto vegetal de tipo matorral, estas fueron plantas con semillas, las cuales están extintas pero cuyo registro fósil inició en el Triásico, alcanzando su mayor florecimiento en el Jurásico y extinguiéndose en el Cretácico.
- Cycadales: existieron desde el Triásico, floreciendo en el Jurásico y declinaron en el Cretácico.
- *Ramas de Brachyphyllum*: coníferas que están asociadas a temperaturas termófilas, en localidades de Europa; estas existieron desde el Jurásico hasta el Cretácico Medio.
- *Williamsonia Tlazolteotl* Wieland: corresponde a un cono femenino de las cicadofitas, se ha encontrado en la región del conueto cerca de Tezoatlán (Wieland, 1914).
- *Todites*: son helechos que pertenecen a la familia Osmundaceae de abundante distribución en Europa y Sudáfrica; estos helechos se encuentran distribuidos desde el Triásico Superior hasta el Jurásico Temprano.
- El carbón representa condiciones que favorecían la abundancia de pequeños lagos en un clima húmedo y caliente, que rápidamente fue cubierto por avalanchas de escombros.

Conforme se sube estratigráficamente en la Unidad Otlaltepec, la litología se presenta más gruesa, esto ocasiona que el registro fósil sea más escaso y diferente. El miembro inferior presenta la mayor cantidad de fósiles encontrados, los cuales se componen de semillas, ramas de *Brachyphyllum*, helechos del género *Todites*, conos de las especies *Williamsonia tlazolteotl* Wieland y cícadas, mientras que en el miembro superior los fósiles dominantes son impresiones de madera, troncos y corteza fosilizados.

La edad asignada al material fosilífero, está dada por las rocas en las que se encuentran, de acuerdo a los diferentes especímenes colectados y a sus características, es del Jurásico Medio, desarrollados en un ambiente húmedo y cálido.



### 3.6 Ambiente Sedimentario.

El proceso de apertura del Golfo de México que ocurrió a principios de la era Mesozoica ocasionó el proceso conocido como “rift” continental, en la región sur de México; originándose un conjunto de fosas y pilares, los cuales dieron origen a una topografía juvenil en el que se desarrolló el sistema fluvial que dio origen a la Unidad Otlaltepec.

Caballero Miranda (1989) y Moran Zenteno et al (1993), realizaron estudios de la porción norte del terreno Mixteco en el sur de México, para el Jurásico Medio en la zona de Petlalcingo, Chilá y Huajuapán de León, a 40 km al suroeste de la zona de estudio, y Cantú-Chapa (1998) realizó estudios regionales en México y propone un medio de sedimentación continental y una transición a un ambiente sedimentario totalmente marino, lo cual concuerda con el presente estudio. En general en los trabajos previos, se interpreta para la porción suroeste, un ambiente transicional que evoluciona a marino y para la parte noreste (en el área de estudio), un ambiente netamente continental, en el que se depositó la Unidad Otlaltepec.

Los sedimentos que constituyen las rocas de la Unidad Otlaltepec provienen de un relieve abrupto, originado por un proceso de apertura de una cuenca continental, la cual generó horst y grabens en el Jurásico Inferior-Medio. Este relieve modelado por fallas normales, generó una topografía abrupta, el cual está denotado por acuñaamientos hacia el oriente (Ortega-Guerrero, 1989), en la que debido a la erosión de las partes más altas, donde afloraba el Complejo Acatlán, Tronco de Totoltepec, Gabro Santo Domingo y la Unidad Piedra Hueca, generó el depósito de la Unidad Otlaltepec. Existen evidencias de una transgresión para la parte final del Jurásico Medio en el Calloviano-Hauteriviano por las características litológicas y de paleontológicas de las formaciones Chimeco y Mapache de la región de Petlalcingo (Pérez-Ibargüengoitia., et al 1965); las cuales reflejan la actividad tectónica de ese tiempo, con una transgresión y regresión de edad jurásico medio-tardío.

Como producto del análisis de la columna litológica de la Unidad Otlaltepec, en sus diferentes componentes, como son el contenido fosilífero, litología, estructuras sedimentarias y textura de las rocas que la componen, se puede asumir que el ambiente de depósito de la unidad es totalmente continental, particularmente, de ambiente fluvial, con notables variaciones de energía.

La litología de la unidad se encuentra dominada por litarenitas. Específicamente en el miembro inferior se tienen litarenitas, subarcosas y grauvacas; mientras que el miembro superior se encuentra dominado por litarenitas, con pequeñas cantidades de sublitarenita y grauvaca. El conglomerado basal es polimíctico clasto-soportado. Se observa una clara disminución de la matriz, en el conglomerado compuesto por arenas y para el, miembro

inferior la matriz es arcillosa en un promedio de 10 a 20%, disminuyendo progresivamente, hasta tener como promedio menos del 10% en el miembro superior.

Por la presencia de fósiles de plantas (troncos, hojas, ramas, semillas y carbón) se interpreta un ambiente húmedo y cálido durante el depósito, sobre todo por la existencia de *Ramas de Brachyphyllum*, las cuales están asociadas a temperaturas termófilas, en localidades de Europa.

El ambiente sedimentario en el que se desarrolló la Unidad Otlaltepec, se puede dividir en tres fases; la primera, referente al conglomerado basal, y las dos siguientes, refiriéndose al miembro inferior y miembro superior, en donde se tiene un notable cambio a un ambiente de menor energía en un valle cada vez más amplio. Ramos Leal (1989) propone que la dirección predominante de las corrientes es hacia el norte.

La sedimentación de esta unidad se llevó a cabo en un ambiente fluvial, de alta energía (figura 3.6.1); primeramente con un abanico aluvial en el cual depositó el conglomerado basal, dominado por facies Gm, dando como resultado secuencias tipo Scott; este conglomerado basal, se originó en un ambiente proximal de abanicos aluviales húmedos. Posteriormente, para el miembro inferior hay un cambio a un ambiente de ríos entrelazados (braided) con dominio de facies St, dando como resultado secuencias tipo Saskatchewan, con barras laterales y longitudinales, las cuales, aunadas a los flujos de escombros que provocaron obstrucciones en la corriente y la formación de lagos, en cuyo entorno se desarrolló abundante vegetación que posteriormente formaron carbón; en donde la materia orgánica fue menos abundante se tiene la presencia de hojas y ramas. En el miembro superior, hay un aumento en la intensidad de la corriente y en el volumen del agua, ocasionado por una mayor precipitación pluvial. Este miembro se encuentra dominado por facies Gm, Gt, principalmente por St, y se relaciona con la formación de barras, las cuales al migrar, generaron la estratificación cruzada que se puede visualizar en varios estratos de la unidad.

En general el sistema fluvial se desarrolló en un clima cálido y húmedo, que son características suficientes para generar el crecimiento, abundancia y depósito del material fósil presente en la unidad.

Se interpreta que las fuentes de proveniencia de los componentes de las rocas que componen la Unidad Otlaltepec, son relativamente cercanas, debido a la abundancia de feldespato alcalino, plagioclasas, y a las formas que presentan los clastos, los cuales varían de angulosos a subredondeados, con predominio de formas subangulosas. La baja madurez que presentan las rocas que componen la unidad, son un indicador de la rápida erosión y

depósito, que ocurre en el relieve abrupto originado por horst y grabens que estuvieron activos durante todo el depósito.

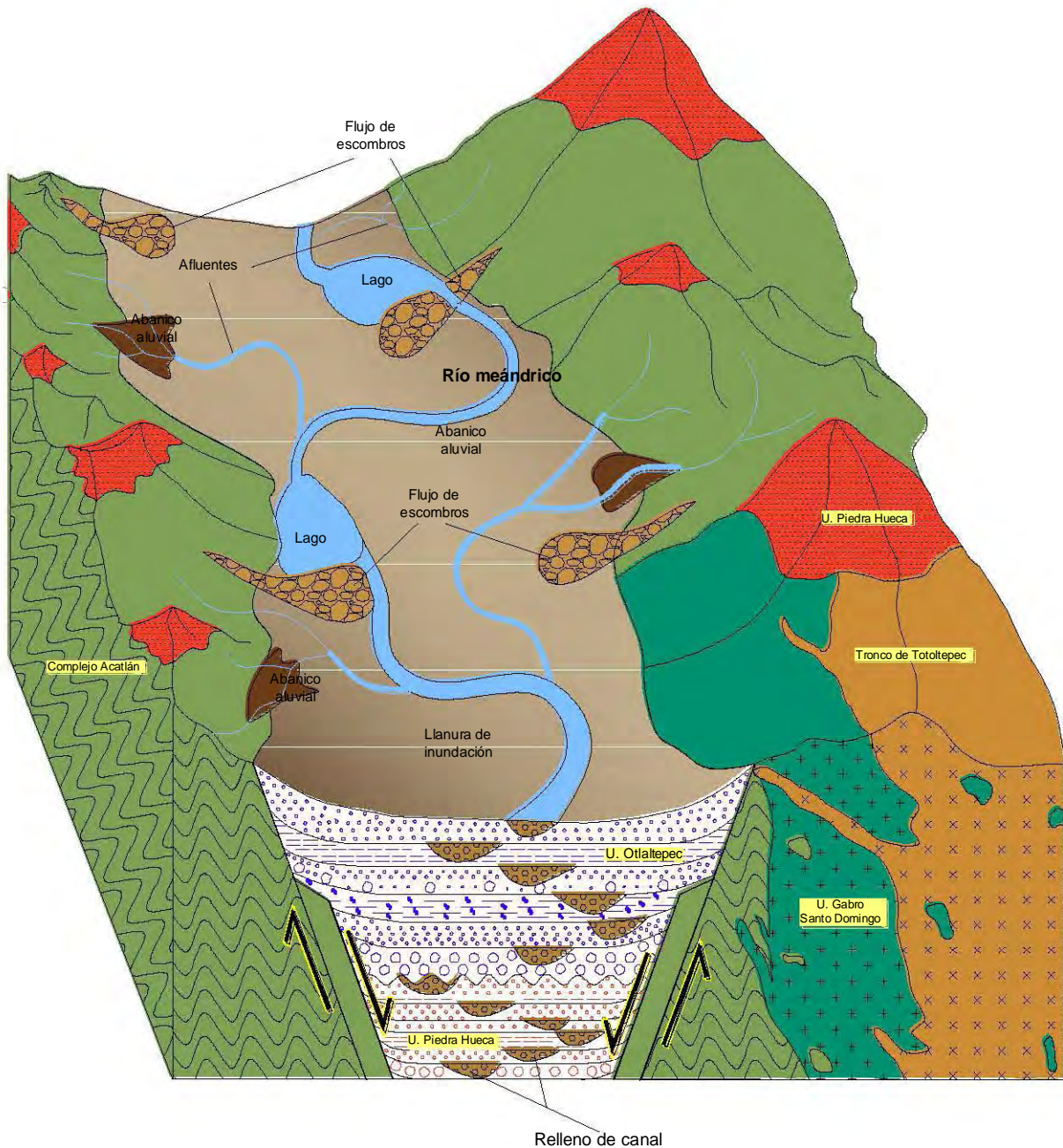


Figura 3.6.1. Modelo de reconstrucción paleoambiental del Jurásico Medio-Superior, en el área de Santo Domingo Tianguistengo, Oaxaca y Santa Cruz Nuevo, Puebla, con los diferentes elementos que lo constituyen

## Capítulo 4

# EVOLUCIÓN GEOLÓGICA

ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO DE LA SECUENCIA JURÁSICA DE LA REGIÓN DE SANTO DOMINGO TIANGUISTENGO, OAXACA – SANTA CRUZ NUEVO, PUEBLA.

## 4. Evolución Geológica.

La geología de la zona norte de Oaxaca - sur de Puebla, es de una amplia complejidad, pues representa diversos episodios de evolución geológica en la República Mexicana, así lo muestran las diversas litologías y edades que la componen (figura 4.1). Localmente en el área de Santo Domingo Tianguistengo, Oaxaca-Santa Cruz Nuevo, Puebla, afloran rocas con edades desde el Paleozoico hasta el Reciente, mismo que está representado en la columna estratigráfica regional (figura 2.2) y en el mapa geológico (figura 2.1); este conjunto de rocas reflejan diversos procesos y ambientes geológicos a los cuales ha estado sometida la zona de estudio. En este capítulo se trata la evolución geológica del área de estudio y sus alrededores, dividiendo éstas en Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico; poniendo especial énfasis en la era Mesozoica, pues es dentro de esta era, donde se desarrolla la Unidad Otlaltepec, motivo de esta tesis.



Figura 4.1 Distribución de las diferentes litologías aflorantes en el sur de la república mexicana (carta geológica de la República Mexicana, Ferrari L., Morán D., González E., 2007).

### 4.1 Paleozoico.

En el área de estudio, la era paleozoica, está representada por el Complejo Acatlán, principalmente por la Formación Tecomate, perteneciente al subgrupo Acateco; esta parte del Complejo Acatlán compone el basamento de la zona. De acuerdo a Ortega-Gutiérrez (1981), este complejo refleja la evolución de una margen continental tipo Atlántico, la cual estuvo limitada por un océano pre-Atlántico de edad Cambro-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.

La Formación Tecomate estratigráficamente está localizada en la parte superior del Complejo Acatlán, la cual fue depositada de forma discordante en una fase previa al ciclo de metamorfismo que originó el Complejo Acatlán. Esta formación representa una anomalía dentro del Complejo Acatlán, pues tiene una gran diferencia, con respecto al Subgrupo Petlalcingo típicamente oceánico, ya que su depósito ocurrió en un ambiente sedimentario de alta energía, posiblemente adyacente a una antigua línea de costa (Rodríguez-Torres, 1970); el depósito de esta formación sobre rocas previamente eclogitizadas (Formación Xayacatlán y Granitoides Esperanza), denota los intensos levantamientos que sufrieron los terrenos continentales adyacentes.

El metamorfismo de alta temperatura y presión media, aunado al estilo de foliación y el plegamiento subvertical del Complejo Acatlán, probablemente expresa los efectos del tectonismo acadiano que puso fin durante el Devónico a este ciclo tectónico (Ortega-Gutiérrez, 1978).

Según Yáñez et al., (1991), el Complejo Acatlán fue afectado por tres eventos térmicos: el primero en el Devónico (380-400 Ma), que se asocia con la intrusión y deformación de los Granitoides Esperanza; el segundo evento (Pensilvánico-Pérmico) está relacionado con el Tronco de Totoltepec, mientras el tercer evento, está relacionado con los Diques San Miguel y la Migmatita Magdalena y posiblemente el Gabro Santo Domingo, que se encuentra dentro de estos últimos, aunque es previo al Tronco de Totoltepec, ya que se presenta con diques de este último.

En el Paleozoico Tardío también se tienen procesos de depósitos sedimentarios continentales, como el que representa la Unidad Piedra Hueca, la cual representa un ambiente fluvial de alta energía y queda como evidencia de procesos de sedimentación a fines del Paleozoico.

## 4.2 Mesozoico

La estratigrafía del Mesozoico en México está asociada al proceso de apertura del Golfo de México, ocurrido entre el Triásico y el Jurásico Medio; en este periodo ocurrieron procesos de deformación y de emersión; estos procesos fueron acompañados de un fallamiento

normal lo cual originó la formación de horst y grabens, en un proceso “sin rift” de tipo continental, sin desarrollo de corteza oceánica; para este tiempo es posible distinguir zonas de fuerte erosión (horst) y zonas de depósito (grabens).

Posteriormente en el Jurásico Medio (sedimentación de la Unidad Otlaltepec), se tuvo procesos de subsidencia continua, ocasionado por un proceso con deformación extensional; lo que originó el espacio y desnivel en la cuenca, propicios para que se depositara la Unidad Otlaltepec, en condiciones que favorecieron la sedimentación de tan gran espesor (826.5 m). Este proceso se ve reflejado en distintas formaciones cercanas a la zona de estudio como las formaciones Tecomazuchil, Zorrillo-Taberna indiferenciadas, Simón y la propia Unidad Otlaltepec; las cuales son depósitos netamente continentales, terrígenos de ambiente fluvial y lacustre, los cuales cambiaron a ambientes de tipo marino en el Jurásico Superior

La etapa temprana de formación de horst y grabens se ve reflejada en el conglomerado basal y en los flujos de escombros, los que corresponden a las facies proximales de los abanicos aluviales depositados en una topografía juvenil; estos depósitos caóticos compuestos principalmente por materiales mal seleccionados, se acumularon en flujos de gran energía. Los principales vestigios de esta topografía abrupta generada por pilares y fosas tectónicas, están reflejadas en el Conglomerado Numí y en el conglomerado Cualac (Ruiz Gonzales et al., 2011).

Durante el Bajociano-Calloviano, dominan los sistemas fluviales, teniendo depósitos aluviales en las zonas de Ixcaquixtla, Petlalcingo y Tecomatlan, Puebla. Este ambiente se ve claramente representado en la Unidad Otlaltepec, cuyo depósito ocurrió en un ambiente de fluvial meándrico. El ambiente fluvial está documentado al norte-noreste de Huajuapán de León y en el área de Ixcaquixtla con la Unidad Otlaltepec; la cual está compuesta en su parte basal por un conglomerado originado por abanicos aluviales. Esta unidad posteriormente se compone de secuencias arenosas propias de ríos entrelazados (braided) con desarrollo de barras. Las areniscas se encuentran intercaladas con secuencias finas depositadas en las llanuras de inundación.

El sistema de ríos entrelazados (braided) que dio origen a los depósitos de la Unidad Otlaltepec, fue originado en una topografía juvenil en un ambiente de gran energía, asociado a un proceso tectónico distensivo originado por la apertura del Golfo de México. Los principales aportes de los sedimentos para esta unidad fueron del Complejo Acatlán, Tronco de Totoltepec, Gabro Santo Domingo y por la Unidad Piedra Hueca. Un dato importante, es la cercanía de los cuerpos que aportaron el material para el depósito de la Unidad Otlaltepec, la cual a lo largo de la unidad se encuentran dominados por fragmentos subangulares, con clastos que contienen abundantes plagioclasas, lo que denota su cercanía relativa de las fuentes de origen de los sedimentos.

Durante el Cretácico, la zona de estudio se encuentra marcada por una transición en el ambiente sedimentario, el cual está representado por la Unidad Magdalena del Aptiano-Albiano, que se caracteriza por pertenecer en su inicio, a un ambiente netamente continental, en el que se acumularon conglomerados y areniscas clasificadas como litarenitas; esta unidad pasa transicionalmente a un ambiente marino, así lo muestran los cambios ocurridos, pues comienza a pasar paulatinamente a una secuencia carbonatada, para coronarse estratos de margas. La Unidad Magdalena, representa un ambiente sedimentario continental, el cual pasa gradualmente a un ambiente de litoral. Posterior a la Unidad Magdalena y de forma transicional se tiene en la columna estratigráfica (figura 3.1) a la Caliza Coyotepec, formada por bomicrita, biointramicritas y biomicruditas, con horizontes arcillosos que se acumularon en un ambiente de plataforma carbonatada, con un miembro arrecifal el cual cambió a un ambiente de intermarea, en donde se desarrollan grietas de desecación (Ortega Guerrero, 1989). De acuerdo con la transición de un ambiente continental (Unidad Magdalena) a un ambiente de plataforma carbonatada (Caliza Coyotepec), se interpreta que ocurrió una transgresión en el Albiano-Cenomaniano. En la figura 4.2 se pueden observar las condiciones imperantes en el Albiano lo cual concuerda con la presente interpretación.



Figura 4.2. Paleogeografía del Albiano en México en el que se se tuvo un transgresión para el depósito de la Caliza Coyotepec, posterior al depósito de la Unidad Magdalena (Tomado de Padilla y Sánchez, 2007)



### 4.3 Cenozoico.

La secuencia del Cenozoico en la zona de estudio, se encuentra representada por las unidades Pozo Hondo, los “Depósitos Clásticos del Neógeno” y por la Formación Agua de Luna.

Los estudios de la estratigrafía cenozoica del sur de México revela una evolución orogénica iniciada en el Cretácico Tardío, seguido por episodios de extinción gradual del magmatismo de arco en la Sierra Madre del Sur, anteriores al desarrollo de la Faja Volcánica-Transmexicana (Moran-Zenteno et al 2005). Esta orogenia se encuentra caracterizada por un acortamiento E-W con vergencia hacia el este. Por otra parte Padilla y Sanchez (1982), menciona que a fines del Cretácico e inicios del Cenozoico en México se encuentra reflejado por el evento que dio origen a las cadenas montañosas que pertenecen al occidente del Golfo de México, originados durante el Cretácico Tardío al Eoceno Temprano; según este autor, este evento tectónico dio origen a las Sierras y Cuencas de Coahuila, la Sierra Madre Oriental y la Sierra de Zongolica; a este evento se le denomina Orogenia Laramídica.

La Orogenia Laramide, ocurrida entre 75 Ma y 45 Ma, 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.

Actualmente la configuración Tectónica de México es compleja, pues a lo largo de la República Mexicana actúan distintos sistemas de esfuerzos tectónicos (figura 4.3, A y B); primeramente, la placa del pacífico oriental (b) tiene un movimiento respecto de la placa de Norteamérica (a) hacia el noroeste, lo cual ha provocado el desplazamiento de la península de Baja California y la apertura del Golfo de California; por otra parte, la placa de Cocos (c) tiene un movimiento hacia el noreste con respecto de la placa de Norteamérica, lo cual ha generado la trinchera de Acapulco y los eventos magmáticos del Eje Volcánico Transmexicano; finalmente se tiene la Placa del Caribe (d) la cual tiene un movimiento hacia el este y ha provocado diferentes eventos de deformación.

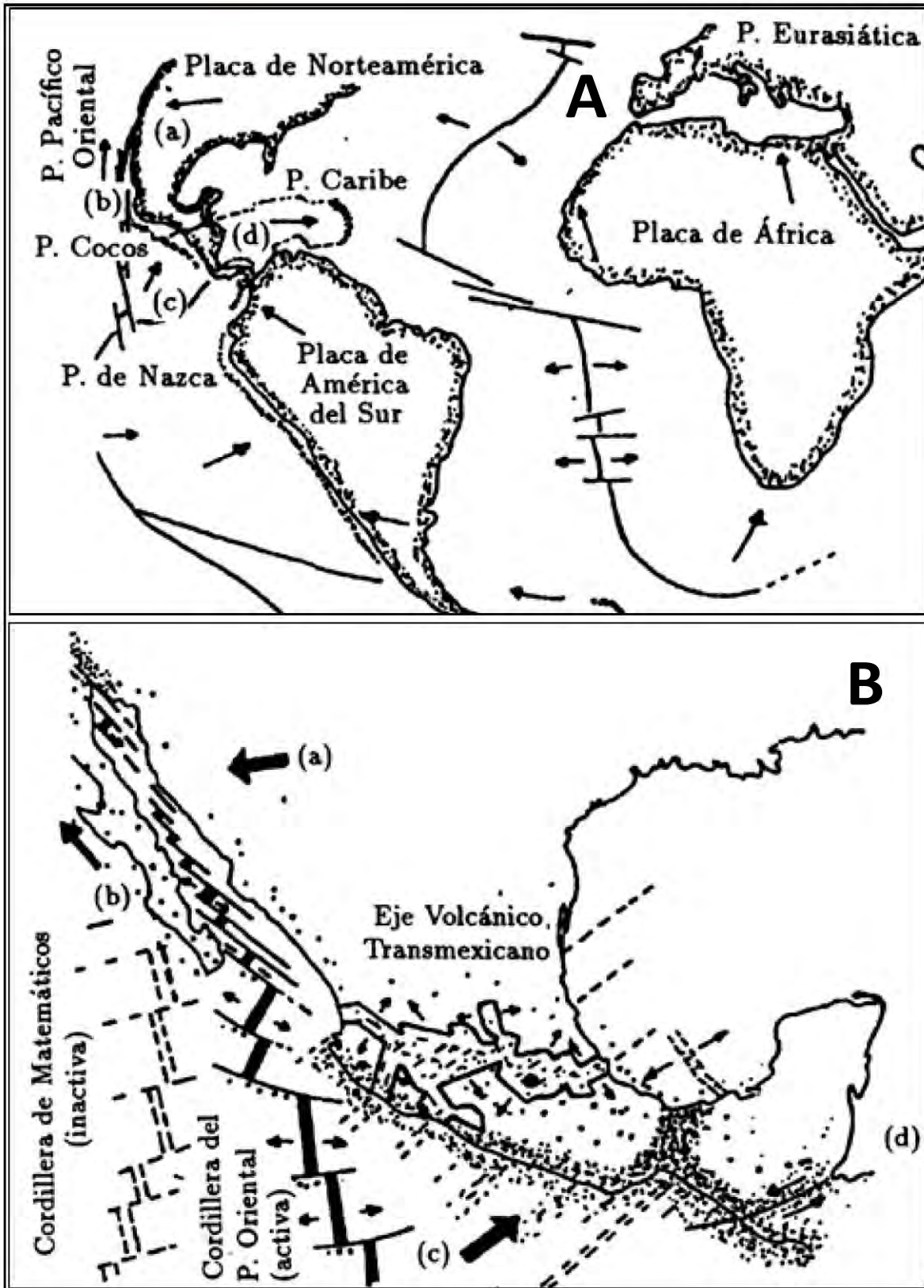


Figura 4.3. Escenario actual de la configuración de México y su tectonismo presente (tomado de J.E. Aguayo y R. Trapaga, 1996).

## Capítulo 5

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO DE LA SECUENCIA  
JURÁSICA DE LA REGIÓN DE SANTO DOMINGO  
TIANGUISTENGO, OAXACA – SANTA CRUZ NUEVO,  
PUEBLA.

### 5.1 Conclusiones.

- ❖ La columna estratigráfica completa de la zona de estudio, está constituida por rocas del Paleozoico (Complejo Acatlán, Tronco de Totoltepec, Gabro Santo Domingo y Unidad Piedra Hueca); del Jurásico Medio-Superior (Unidad Otlaltepec), del Cretácico (Unidad Magdalena y Caliza Coyotepec), del Paleógeno (Unidad Pozo) y del Neógeno (Depósitos Clásticos del Neógeno y Formación Agua de Luna).
- ❖ La Unidad Otlaltepec tiene un espesor de 826.5 m, la cual fue medida en los afloramientos expuestos del Cerro la Colorada, al sur de Santa Cruz Nuevo y sobre el Rio Acatlán, al suroeste de Santo Domingo Tianguistengo.
- ❖ La parte basal de la Unida Otlaltepec está compuesta por un conglomerado, propio de una topografía juvenil, acumulado en las proximidades de las fallas normales que forman un graben; representa un abanico aluvial que está conformado por un conglomerado polimíctico compuesto por fragmentos de rocas del Complejo Acatlán, del Tronco de Totoltepec, del Gabro Santo Domingo y de la Unidad Piedra Hueca.
- ❖ La Unidad Otlaltepec se compone de dos miembros, los cuales se diferencian en su granulometría, su ritmicidad y por la presencia de horizontes de carbón; el miembro inferior se encuentra compuesto por una litología predominantemente de areniscas finas con flujos de escombros y horizontes de carbón; estas areniscas se encuentran intercaladas con material fino de forma rítmica en estratos de 80 cm a 2 m de arenas, con estratos de lutitas de 10 a 30 cm; la matriz promedio de la unidad es de 10 a 20%. En el miembro superior se puede interpretar un aumento de energía y mayor ritmicidad; es notable la ausencia de horizontes de carbón y flujos de escombros; los fósiles encontrados en esta unidad son únicamente de corteza y troncos y en general, la matriz representa en promedio de 10%, su granulometría es generalmente de arenas gruesas a muy gruesas con algunos clastos mayores a 2 mm; a lo largo de la unidad es notable la disminución del cuarzo de origen ígneo (clastos del Tronco de Totoltepec), y un aumento de los componentes metamórficos (esquistos del Complejo Acatlán) y de componentes sedimentarios (clastos de la Unidad Piedra Hueca). En general en toda la unidad, los clastos son subangulosos con una clasificación textural de regular a buena.
- ❖ La Unidad Otlaltepec 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 Bennetiales, *Zamites oaxacensis*, *Otozamites lucerensis*, *Williamsonia Tlazolteotl Wieland*, *Todites* y carbón.
- ❖ La Unidad Otlaltepec representa la acumulación de un sistema fluvial de tipo Saskatchewan, Donjek y Scott, ya que se encontraron litofacies de tipo Gm, Gt, St, Fl, Sr y Sh; los cuales, de acuerdo con Arche (1992), representan facies de abanicos aluviales para el conglomerado basal (secuencias Scott), y para los miembros inferior y superior, facies de ríos meándricos con algunos segmentos de ríos trenzados, siendo el miembro superior de mayor energía. Las secuencias finas pertenecen a depósitos de llanuras de inundación y lagos formados por obstrucciones ocasionadas por flujos de escombros (miembro inferior), lo que originó lagos de reducidas dimensiones, en los que se acumuló abundante materia orgánica, que posteriormente dieron lugar a delgados horizontes de carbón.
- ❖ Se interpreta la ocurrencia de fallas normales jurásicas, las cuales generaron un relieve abrupto, acumulando un gran espesor de sedimentos, a esto se le suma una subsidencia continua, la cual es necesaria para poder explicar un espesor de 826.5 m.
- ❖ El graben del Jurásico en el que se deposita la Unidad Otlaltepec, está asociado a esfuerzos que originaron extensión, producto de la apertura del Golfo de México ocurrida en el Triásico-Jurásico, durante el proceso de “rift” continental, en el que no hubo desarrollo de corteza oceánica.
- ❖ El espesor total de la columna medida fue de 826.5 m los cuales se dividen en 197 m para el miembro inferior y en 629.5 m para el miembro superior; estos fueron medidos en los alrededores del Río Acatlán, al oeste de Santo Domingo Tianguistengo y a lo largo del Cerro la Colorada.
- ❖ El rumbo general de los estratos en las rocas de la Unidad Otlaltepec es hacia el NW de 40 a 50°, con un echado en las partes basales de la Unidad sobre el Río Acatlán, es bastante fuerte, entre 60°-80° al NE y en las proximidades de la Barranca la Virgen, en la cima de la unidad de 0-20° al NE.
- ❖ El contacto inferior de la Unidad Otlaltepec es discordante con la Unida Piedra Hueca del Paleozoico Superior, y en ocasiones se encuentra directamente sobre el Complejo Acatlán, el Tronco de Totoltepec y sobre el Gabro Santo Domingo.

- ❖ Hacia la cima, la Unidad Otlaltepec tiene un contacto de forma transicional, con la Unidad Magdalena del Aptiano-Albiano.
- ❖ La fuente principal de los sedimentos que conforman la Unidad Otlaltepec proviene de las rocas del Complejo Acatlán y en menor proporción del Tronco de Totoltepec, Gabro Santo Domingo y la Unidad Piedra Hueca; así 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 y fragmentos de la Unidad Piedra Hueca. Un rasgo sobresaliente que se puede observar, es que, a medida que se sube estratigráficamente la litología se va haciendo más gruesa, mejor seleccionada, con menor porcentaje de matriz y se puede observar una clara disminución de cuarzo de origen ígneo; lo cual denota que va siendo menor el aporte del Tronco de Totoltepec.
- ❖ La edad de la Unidad Otlaltepec, que aquí se propone tomado en consideración su posición estratigráfica y el gran contenido de plantas fósiles, aunque esa edad no es muy precisa, esa corresponde al Jurásico Medio-Superior.

## 5.2 Recomendaciones.

- ❖ Analizar fotografías aéreas, realizar trabajo de campo y elaborar un mapa geológico del norte y noroeste del área estudiada, para conocer la extensión total de la Unidad Otlaltepec.
- ❖ Realizar búsqueda de material fosilífero en otras localidades, lo que proporcionará una edad más precisa.
- ❖ Realizar un estudio económico de las concreciones de óxido de hierro, para ver su potencial y su posible explotación en el futuro.
- ❖ Realizar un estudio geohidrológico de la Unidad Otlaltepec, ya que es la unidad que puede contener los acuíferos mas importantes de la región.

**Bibliografía**

- Aguayo-Camargo, J. E. y Trapaga-Martinez, R, 1996. “Geodinámica de México y Minerales del Mar”. La Ciencia Para Todos/141, Fondo de Cultura Económica, séptima edición 2001, 104 p.
- Alencaster, G., 1963. “Pelecípodos del jurásico del noreste de Oaxaca y noroeste de Guerrero”. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Paleontología Mexicana No. 15, 52 p.
- Allen, P.A., Allen, J.R., 2005. “Basin Analysis: Principles and Applications”. Blackwell Publishing, 549 p.
- Arche, A., 1992 “Sedimentología vol. I”, Consejo Superior de Investigaciones Científicas Madrid, 103 p.
- Arcos-Hernández J; Cruz-Ocampo. J. C., Girón-García P., Victoria-Morales A. y Cabrera-Ramírez M. A., 2008 “Características litológicas y químicas del gabra Santo Domingo, en el área de San Juan Ixcaquixtla, sur del Estado de Puebla y norte de Oaxaca”, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, , Boletín de Mineralogía 18, 11 – 12 p.
- Arkell, W. J., 1956. “Jurassic Geology of the World”. Oliver and Boyd (Edinburgh).
- Barceló Duarte, J., 1978. “estratigrafía y petrográfica detallada de Tehuacán-San Juan Raya, Estado de Puebla, México”. Universidad Nacional Autónoma de México, facultad de ingeniería. Tesis de licenciatura, 143 p.
- Buitrón, B. E., 1981. “Gasterópodos del Cretácico Temprano de México occidental y sus implicaciones paleobiográficas”. Porto Alegre, Brasil, II Congreso Latinoamericano de Paleontología, Anais, p. 343-357.
- Caballero-Miranda, C., 1990. “Geología y anisotropía magnética del Jurásico continental del área de Huajuapán de León-Petlalingo, estados de Oaxaca y Puebla”. Tesis de maestría, UNAM, Facultad de Ciencias, 142 p.
- Calderón-García, A., 1956 “Estratigrafía del Mesozoico y tectónica del sur del Estado de Puebla”, Mexico, D.F., Cong. Geol. Internal. 20 libro-guía de la excursión A-11, 9-33 p”.

- Cantú-Chapa, A., 1998 “Las transgresiones Jurásicas en México”. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología y Sociedad Geológica Mexicana, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, vol. 15, no. 1, p. 25-37.
- Carrasco-Ramírez R.S., 2003 “Los ammonites del Calloviano de la región Mixteca, Oaxaca, México”, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Tomo LVI, núm. 1, P. 42-55.
- Centeno-García E. Mendoza-Rosales C y Silva-Romo G., 2009 “Sedimentología de la Formación Matzitzi (Paleozoico superior) y significado de sus componentes volcánicos, región de Los Reyes Metzontla-San Luis Atolotitlán, Estado de Puebla” Departamento de Geoquímica, Instituto de Geología, UNAM, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 26, núm. 1, p. 18-36.
- Dávalos-Álvarez, O. G., 2006 “Evolución Tectónica Cenozoica en la porción Norte de la Falla de Oaxaca”. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Geociencias, Juriquilla, Querétaro. Tesis de maestría. p. 17.
- Einsele, G., 2000. “Sedimentology Basins: Evolution Facies and Sediment Budget”. Springer, 792 p.
- Elías-Herrera M., Ortega-Gutiérrez F., Sánchez-Zavala J. L., Macías-Romo C., Ortega-Rivera A., Iriondo Alexander, 2005 “La falla de Coaltepec: raíces expuestas de una frontera tectónica de larga vida entre dos terrenos continentales del sur de México”, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen conmemorativo del centenario, grandes fronteras tectónicas de México Tomo LVII, núm. 1, p. 83-109
- Erben, H. K., 1956. “El jurásico inferior de México y sus amonitas”. Congreso Geológico Internacional, México, 1956, 393 p.
- Erben, H. K., 1956. “El jurásico medio y el Calloviano de México”. Congreso Geológico Internacional., México, 1956, 140 p.
- Ferrusquía-Villafranca, 1970, “Geología del área Tamazulapan-Teposcolula-Yanhuitlán, Mixteca Alta, Estado de Oaxaca”, Sociedad Geológica Mexicana Libro-Guía Excursión México-Oaxaca, p. 97-119.
- Fielding, C. R., 1987. “Coal, depositional models for deltaic and alluvial plain sequences.” *Geology*, 15, 661-664.



- Fries, C., 1960. “Geología del Estado de Morelos y partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México”: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 60, 236 p.
- Fries, C, Jr., Rincón-Orta, Cesar Solorio-Munguía, José, Schmitter-Villada, Eduardo, y Cserna, Zoltan, 1970, “Una edad radiométrica ordovícica de Totoltepec, Estado de Puebla”, México D.F., Soc. Geol. Mexicana, Libro-guía de la excursión México-Oaxaca, 164-166 p.
- Galloway, W.E., 1975. “Process Framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional” Houston Geological Society M.L. Broussard.
- García-Mendoza, 2004. “Biodiversidad de Oaxaca”, 1ra edición, México, Producción editorial Redacta S.A. de C.V., 29-54 p.
- Keppie J.D. 2002, “Deformational history of part of the Acatlán Complex: Late Ordovician– Early Silurian and Early Permian orogenesis in southern Mexico”. Department of Geological Sciences, Ohio University, Athens, USA, Instituto de Geología, UNAM, México, Journal of South American Earth Sciences, Volume 15, Number 5, p. 511-524.
- López Ramos, E. 1983. “Geología de México”. Tomo III, 3era Edición, p. 72-106.
- Meneses-Rocha, J.J., Monroy-Audelo, M.E., Gómez Chavarría, J.C., 1994, “Bosquejo paleogeográfico y tectónico del sur de México durante el Mesozoico” Boletín de Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, vol. XLIV, no. 2, p. 18-45.
- Miall, A. D., 1977. “A review of the braided river depositional environment”. Earth Science. Rev. 13, pp. 1-62.
- Morales Gamez M; Duncan Keppie J., K. W. Lee nad Ortega-Rivera A. 2009, “Paleozoic structures in the Xayacatlan area, Acatlan Comlex, southern Mexico: transtensional rift- and subduction-related deformation along the margin of Oaxaquia” International Geology Review, Vol. 51 No. 4 279-303 p.
- Morán Zenteno, D. J., 1987. “Paleogeografía y paleomagnetismo precenozoicos del Terreno Mixteco”. Tesis de maestría, UNAM, Facultad de Ciencias, 177 p.

- Morán Zenteno, D.J. Bohnel, Harald, Urritia-Fucugauchi, Jaime, 1988. “Paleomagnetismo de rocas jurásicas del norte de Oaxaca y sus implicaciones tectónicas” *Geofísica Internacional*, pp 486-518.
- Moran Zenteno, D. J., Caballero-Miranda, C. I., Silva-Romo, G., Ortega-Guerrero, B., y González-Torres, E., 1993, “Jurassic-Cretaceous paleogeographic evolution of the northern Mixteca terrane, southern Mexico” *Geofísica Internacional*, vol. 32, núm. 3, pp. 453-473.
- Morán Zenteno, D.J. Mariano Cerca, John Duncan Keppie et al., 2005. “La evolución tectónica y magmática cenozoica del suroeste de México: avances y problemas de interpretación”. *Temas Selectos de la Geología Mexicana, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Volumen conmemorativo del primer Centenario, *Temas Selectos de la Geología Mexicana*, **57**, 3, pp 227-285.
- 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, Volumen 2, Número 2. p. 112-131.
- Ortega-Gutiérrez, F., 1981, “Metamorphic belts of southern México and their tectonic significance” *Geofísica Internacional*, v. 20, no. 3, p. 177-202.
- Ortega-Gutiérrez F., 1981 “La evolución tectónica premisisipica de sur de México”. Universidad Nacional Autónoma de México, instituto de geología, rev., vol 5 num 2, 140-157 p.
- Ortega-Guerrero, B., 1989. “Paleomagnetismo y geología de las unidades clásticas mesozoicas del área de Totoltepec-Ixcaquixtla, Estados de Puebla y Oaxaca”. Tesis de maestría no publicada, UNAM, Facultad de Ciencias.
- Pantoja-Alor, J., 1990. “Geología y paleoambiente de la cantera Tlayúa, Tepexi de Rodríguez, estado de Puebla”. Universidad nacional Autónoma de México, instituto de geología, revista, vol 9 número 2, p, 156-159.
- Pérez Ibarquingoitia, 1965. “Reconocimiento geológico del área Petlalcingo-Santa Cruz, Municipio de Acatlán, Estado de Puebla”. *Estratigrafía y Paleontología del jurásico superior del estado de Puebla*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. *Paleontología Mexicana* numero 21, p. 1-22.
- Person, CH. P., 1976. “The middle Jurassic flora of Oaxaca, México”. Universidad de Texas Austin, Ph. D. Diss., XXVII 145 p.

- Ramos Leal, José Alfredo., 1989 “Estratigrafía y Evolución Paleoambiental del Área de San Juan Ixcaquixtla, Estado de Puebla”, UNAM tesis de licenciatura.
- RGB Color Code according to the Commission for the Geological Map of the World (CGMW), Paris, France 2010.
- 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, 51-54 p.
- Sánchez Zavala J.L., 2010 “La Orogenia Mixteca del Devónico del Complejo Acatlán, sur de México”, simposio regional sobre el sur de México 321 p.
- Selley, R.C., 1970. “Ancient sedimentary environments”. Chapman and Hall, 237 p.
- Silva Romo, G. y Mendoza-Rosales C., 2010., “La Unidad Piedra Hueca Secuencia Clástica Paleozoica (sur de Puebla)”, Simposio regional sobre el sur de México. p 325.
- Ordoñez, E., 1906, “Las rocas arcaicas de México” Mem. Soc. Científica Antonio Alzate, v. 22, 315-331 p.
- 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 235, 682–699 p.
- Torrijo-Ehcarri F. J., 2001. “Nódulos y concreciones”, Investigación y Ciencia. p 76-83.
- Uribe Luna Jesús, 2010. “Estratigrafía Espectral y Estructuras del Límite tectónico de los Complejos Oaxaqueño y Acatlán con Sensores Remotos”. Simposio regional sobre el sur de México, p 320.
- Wieland, G. R., 1914. “La flora Liásica de la Mixteca Alta”. Instituto de Geología México, Boletín 31, 162 p.
- Yañez, P., Joaquin-Ruiz, P. Jonathan Patchett, Ortega-Gutierrez and George E. Gehrels, 1991. “Isotopic Studies of Acatlán complex, southern Mexico: Implications for Paleozoic North American Tectonics”. Geo. Soc. Am. Bull., 103. pp. 817-828.

**Referencias electrónicas**

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 1989, 2010. [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx)
- Instituto Nacional de Ecología, 2006,2011. [www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx)
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. 2010  
[www.inafed.gob.mx/](http://www.inafed.gob.mx/)