UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTRATIGRAFÍA Y FACIES DE LA FORMACIÓN XALTIPA, REGIÓN DE HUAYACOCOTLA, VER.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

INGENIERA GEÓLOGA

PRESENTA

MARÍA DE LOS ANGELES VERDE RAMÍREZ

DIRECTOR: M. EN C. GILBERTO SILVA ROMO

CIUDAD UNIVERSITARIA, 2009

AGRADECIMIENTOS

Mi mayor agradecimiento se lo debo a mi director de tesis M. C. Gilberto Silva Romo el cual, por su apoyo, dedicación y paciencia hizo posible la realización de este trabajo, además de hacerlo una experiencia gratificante y amena.

Quiero expresar un reconocimiento especial a la Ing. Claudia Cristina Mendoza Rosales y al M. C. Emiliano Campos Madrigal, cuyo apoyo en el trabajo de campo fue vital e imprescindible y cuyas asesorías, revisiones y comentarios del escrito final ayudaron a mejorar la calidad del mismo.

Agradezco el apoyo y comentarios finales de la Dra. Elena Centeno García para este trabajo, además de su amistad, enseñanzas proporcionadas a lo largo de la licenciatura y por las oportunidades que me ha brindado; al Dr. Joaquín Eduardo Aguayo Camargo por la revisión minuciosa del manuscrito final y sugerencias a la redacción.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme la oportunidad de desarrollarme como ser humano y profesionista, por ser mi segundo hogar, donde encontré conocimiento y esas ansias inagotables de aprender y cultivarme. Es un honor y orgullo ahora ser parte del grupo selecto de egresados de esta casa de estudios, que llevo impresa en mi corazón.

Esta tesis fue desarrollada gracias a los fondos otorgados por el proyecto PAPIIT IN 115208-3.

María de los Angeles Verde Ramírez

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	1
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2 OBJETIVOS	5
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	5
1.2.2 OBJETIVOS PARTICULARES	5
1.3 MÉTODO DE TRABAJO	5
1.4 ESTUDIOS PREVIOS EN EL ÁREA	7
1.5 GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO	12
1.5.1 LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE COMUNICACIÓN	12
1.5.2 FISIOGRAFÍA	15
1.5.3 HIDROGRAFÍA	16
1.5.4 CLIMA Y VEGETACIÓN	16
CAPÍTULO 2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	17
2.1 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL	18
2.1.1 BASAMENTO PRECÁMBRICO	20
2.1.2 PALEOZOICO	21
2.1.3 MESOZOICO	23
2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	30
CAPÍTULO 3. ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN XALTIPA	33
3.1 DEFINICIÓN	33
3.2 DISTRIBUCIÓN	33

3.3 Localidad tipo 34

3.4 Descripción litológica y espesores 34

3.5 Relaciones estratigráficas y edad 37

3.6 Correlación 38

Capítulo 4. Facies y procedencia de la Formación Xaltipa 39

4.1 Análisis de facies 39

4.1.1 Facies sedimentarias 44

4.1.2 Asociaciones de facies y elementos arquitectónicos 52

4.2 Análisis petrográfico 56

4.2.1 Formación Huayacocotla 56

4.2.2 Formación Xaltipa 57

4.3 Análisis Modal 61

4.3.1 Areniscas de la Formación Huayacocotla 62

4.3.2 Areniscas de la Formación Xaltipa 62

4.3.3 Conglomerados de la Formación Xaltipa 63

Capítulo 5. Discusión de resultados 69

5.1 Ambiente de depósito 69

5.2 Procedencia 71

5.3 Inferencias sobre la tectónica 75

Capítulo 6. Conclusiones 76

Bibliografía 78

Apéndice Petrográfico 83

Anexo: mapa geológico escala 1:50,000

RESUMEN

El área de estudio se localiza en el límite entre los estados de Hidalgo y Veracruz, en la región central del Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas, y queda comprendida en el flanco oriental de la estructura conocida como el Anticlinorio de Huayacocotla. Se identificaron seis unidades estratigráficas, una de ellas reconocida como el Gneis Huiznopala, basamento cristalino de la región; las formaciones Tuzancoa, Huayacocotla y Xaltipa de carácter clástico y las formaciones calcáreas San Andrés, Pimienta y el Grupo Tamaulipas.

La Formación Xaltipa está compuesta de estratos de arenisca del tipo de subarcosas y sublitarenitas con lentes de conglomerados hacia la base, en su parte media se conforma de subarcosas y limolitas laminadas, areniscas de grano fino; hacia la cima se encuentran conglomerados y brechas. Los clastos de los conglomerados son de subarcosas, wacka arcósica, arcosas, andesita, granito, cuarzo metamórfico, esquisto, gneis; y varían a lo largo del depósito de la formación, solo se mantienen constantes los de tipo sedimentario. En virtud de sus relaciones espacio-temporales de la Formación Xaltipa con las otras unidades expuestas, se infirió que su edad probable corresponde al Jurásico Superior (Kimmeridgiano).

Con base en el análisis modal de las areniscas de la unidad, se estableció que su procedencia corresponde a un orógeno reciclado, particularmente de un antepaís exhumado; el cual se asocia a un cinturón de pliegues y cabalgaduras. Por otra parte, los estudios de procedencia establecieron que los clastos sedimentarios de la Formación Xaltipa tienen como probable fuente de aporte a la Formación Huayacocotla y al basamento de la región; los clastos volcánicos probablemente proceden de la Formación Tuzancoa y además se presenta una fuente de tipo granítica. La Formación Huayacocotla tiene procedencia de bloques continentales que se depositaron sobre cratones estables, probablemente en plataforma estable o hacia el interior del continente. La existencia de clastos y gravas de la Formación Huayacocotla en los conglomerados de la Formación Xaltipa, permiten inferir que el depósito de esta última, es posterior y que las capas rojas triásicas descritas como Formación Huizachal no se encuentran en la región, como otros autores lo habían sugerido.

En afloramientos y en la columna estratigráfica medida, fueron reconocidas nueve facies sedimentarias las cuales, se agruparon en cinco asociaciones de facies, con las que se construyó el modelo de facies, en el que se interpretó que el ambiente de depósito es un abanico aluvial cuyo sistema distributario es un sub-ambiente de tipo fluvial trenzado. Hacia la cima de la formación se reconocieron las facies propias de un río de tipo “Gravas estratificadas trenzadas con depósitos de flujos de sedimentos por gravedad”; esta superposición se debe quizás a un reactivamiento de una falla normal asociada a la formación del abanico aluvial. Este tipo de ambientes son encontrados frecuentemente en cuencas con régimen extensional, asociados a una margen divergente.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se llevó a cabo dentro del marco del proyecto PAPIIT IN 115208-3 "Análisis de cuencas sedimentarias y caracterización de ambientes tectónicos del Jurásico de la Mixteca y la Huasteca Hidalguense: ¿transición de un rift a un arco continental?" cuyo principal objetivo es definir la naturaleza y variaciones espacio-temporales de la sedimentación durante el Jurásico Tardío y el Cretácico Temprano de la región e interpretar su relación con la evolución del Golfo de México.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La región del Anticlinorio de Huayacocotla, debido a su diversidad geológica y riqueza fósil, ha sido objeto de numerosas investigaciones, tanto regionales como locales, con diversos objetivos; sin embargo, existen discrepancias en la posición estratigráfica de algunas formaciones que la integran, la interpretación paleoambiental de las mismas, y por ende, la paleogeografía de la región, en especial para los límites Triásico - Jurásico y Jurásico - Cretácico Temprano. Un problema aún no resuelto se presenta en lo referente a el origen y edad de las capas rojas (Figura 1.1), ya que la asignación de sus edades se ha realizado con base en su posición estratigráfica respecto a otras unidades y en correlaciones con secuencias expuestas al norte del país; esto debido a la escasez o inexistencia de registro fósil en las mismas. A continuación se hace una breve reseña de las publicaciones que han generado la polémica alrededor de la edad de las capas rojas, en particular en la región de Huayacocotla y cómo se abordará esta problemática en el presente trabajo.

En 1948 Imlay *et al.*, describen a las formaciones jurásicas en la región de la Huasteca y definen formalmente a la Formación Huizachal en el valle del mismo

nombre, en las cercanías de Ciudad Victoria, Tamps.; le asignaron una edad jurásica debido a su superposición a las rocas marinas de la Formación Huayacocotla (Jurásico Inferior) y en algunos casos a rocas paleozoicas y precámbricas. Describieron el contacto inferior con el Jurásico Inferior como una discordancia erosiva y su contacto superior, como una discordancia angular con rocas del Oxfordiano-Kimmeridgiano. La Formación Huizachal fue descrita principalmente como una sucesión de lutitas, limolitas, areniscas cuarcíferas y conglomerados con un espesor total aproximado de 350 m.

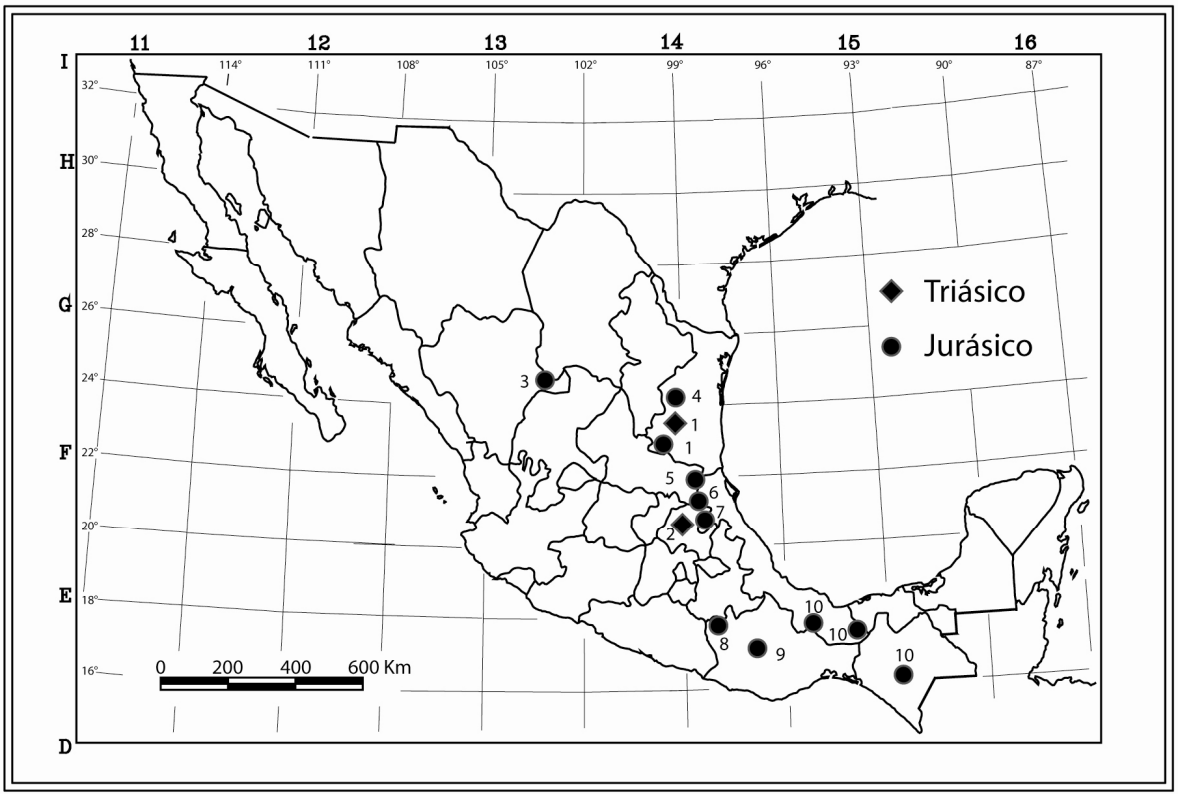


Figura 1.1 *Mapa de principales localidades triásicas y jurásicas de lechos rojos en la República Mexicana. 1. Alogrupo Los San Pedros (formaciones Huizachal y La Boca). 2. Formación Huizachal. 3. Formación Nazas. 4. Formación La Joya. 5. Formación Rosario. 6. Formación Cahuasas. 7. Formación Xaltipa. 8. Grupo Consuelo. 9. Grupo Tecocoyunca. 10. Formación Todos Santos. Basado en Rueda-Gaxiola (1998).*

Carrillo-Bravo (1961, 1965) definió la columna estratigráfica en los anticlinorios de Huizachal-Peregrina y Huayacocotla; determinó que la relación entre las unidades Huizachal y Huayacocotla estaba invertida y estipuló que la edad de la primera era

triásica y no jurásica, como se había propuesto anteriormente. En el Anticlinorio de Huayacocotla no sólo hizo referencia a lechos rojos debajo de las rocas del Jurásico Inferior, que nombró como Formación Huizachal, sino también sobre él, a estos últimos los denominó con el nombre de Formación Cahuasas.

Posteriormente, Erben (1956) y Kuegelgen (1956) regresan a la estratigrafía propuesta por Imlay *et al.* (1948), al determinar la existencia de lechos rojos entre las formaciones Huayacocotla y Tepexic en el Anticlinorio de Huayacocotla, a los que renombraron como Formación Huizachal.

En su tesis de licenciatura Hernández-Bernal y Hernández-Treviño (1991) reportaron a la Formación Huizachal abajo de la Formación Huayacocotla en el área de este estudio y además propusieron a la Formación Xaltipa, como equivalente al Jurásico Medio, esta denominación tuvo un carácter informal.

Ochoa-Camarillo (1996) en su tesis de maestría y Ochoa-Camarillo *et al.* (1998, 1999) abordan esta misma problemática en la región de Molango y proponen la inexistencia de las rocas triásicas en la región. No obstante, Cantú-Chapa (1998), Silva-Pineda *et al.* (1999), se refieren a los lechos rojos aflorantes como Huizachal (Triásico) y Cahuasas (Jurásico Medio). En otras regiones del país, principalmente hacia el norte, se ha descrito a la Formación Huizachal y se ha establecido con relativa certidumbre su edad triásica (Carrillo-Bravo, 1961; Rueda-Gaxiola *et al.*, 1993); sin embargo su presencia en el Anticlinorio de Huayacocotla ahora se descarta.

Este estudio se enfoca a describir por primera vez la estratigrafía, facies y procedencia de las capas rojas jurásicas que sobreyacen a la Formación Huayacocotla y que fueron denominadas como Formación Xaltipa (Facultad de Ingeniería, 1990; Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991), teniendo como hipótesis que parte de los clastos que conforman a los lentes conglomeráticos tienen como fuente de aporte a la Formación Huayacocotla y al basamento de la región. La presencia de lechos rojos triásicos en el área está en controversia y con el trabajo cartográfico se pretende demostrar su inexistencia en el área, como otros autores lo han sugerido anteriormente (Ochoa-Camarillo, 1996; Ochoa-Camarillo *et al.*, 1998).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

El presente trabajo tiene como objetivo general, identificar y caracterizar a la Formación Xaltipa, con base en sus características estratigráficas, paleosedimentarias y petrográficas.

1.2.2 Objetivos particulares

- Elaborar el mapa geológico de la zona de estudio escala 1:50,000, a fin de determinar las relaciones estratigráficas entre las unidades representadas y los rasgos estructurales mayores del área, haciendo énfasis en la relación entre la Formación Xaltipa y las unidades que están en contacto con ella.
- Determinar la distribución general de la Formación Xaltipa en el área.
- Definir las facies y asociaciones de facies presentes en la Formación Xaltipa.
- Establecer el modelo de facies que defina el ambiente de depósito de la Formación Xaltipa.
- Realizar un análisis de procedencia mediante estudios petrográficos cualitativos y cuantitativos para caracterizar la fuente de aporte y el ambiente tectónico asociado al depósito de la Formación Xaltipa.
- Hacer inferencias sobre el ambiente de depósito y relieve del área fuente.

1.3 Método de trabajo

El proceso de trabajo para esta investigación inició con la compilación de trabajos geológicos y paleontológicos previos de la zona, además de mapas geológicos

publicados por dependencias oficiales o en informes técnicos. Se realizaron tres visitas a campo en total, las dos primeras fueron para determinar el área específica de trabajo dentro de la región de Huayacocotla tomando en cuenta su acceso y la exposición de afloramientos adecuados para el estudio.

Una vez definida el área, se analizaron fotografías aéreas escala 1:75,000 de las líneas 170 y 171, de las cuales se ocuparon las fotografías 5, 6 y 7 de la primera y 11, 12 y 13 de la segunda, para realizar el mapa fotogeológico previo; a continuación se editó la base topográfica digital de la carta Zacualtipán (F14-D-62) (INEGI). Posteriormente, se realizó la fotointerpretación a escala 1:50,000 de las líneas 18, 19 y 20, fotografías 1-5, 1-4, y 1-3 respectivamente, para afinar detalles.

El trabajo de campo consistió principalmente en la cartografía geológica general del área y registro de datos estructurales. Descripción detallada de los afloramientos, contactos y relaciones estratigráficas entre las unidades expuestas. Medición de una columna estratigráfica en la que se registraron estructuras sedimentarias, litología y facies. Clasificación y colecta de cuarenta muestras representativas, de las cuales, se seleccionaron diez para análisis petrográfico, tanto de la Formación Xaltipa como de las unidades que están en contacto con ella. Determinación de la composición de sus componentes con el fin de reconstruir las posibles fuentes de aporte de sedimento. Análisis estadístico con base en conteo de puntos en afloramiento para la caracterización de procedencia y facies.

Con base en la columna estratigráfica levantada en campo, sus características y las observaciones en los afloramientos, se establecieron asociaciones de facies para determinar el ambiente sedimentario de la formación. La columna se digitalizó a fin de presentarla en este texto.

Se hizo el análisis petrográfico de diez láminas delgadas, de las cuales, cinco se usaron para llevar a cabo el análisis modal para su clasificación en diagramas ternarios, con la finalidad de determinar su ambiente tectónico y comprobar la procedencia de los conglomerados y areniscas (Apéndice Petrográfico).

Toda la información se procesó, digitalizó, analizó e interpretó para la redacción de la tesis y la elaboración del mapa geológico final y la sección estratigráfica-estructural.

1.4 ESTUDIOS PREVIOS EN EL ÁREA

La región del Anticlinorio de Huayacocotla, como ya se mencionó, ha sido estudiada a lo largo de varios años con diversos objetivos; la estratigrafía y el estilo de deformación han sido algunos de los principales intereses para la comunidad científica y para los sectores productivos, así como su contenido fósil; sin embargo, aún existen discrepancias notables entre varias publicaciones, debido a la dificultad de acceso a ciertas zonas y a lo complejo de su evolución geológica.

De acuerdo con la bibliografía consultada, los estudios previos principales realizados, algunos de carácter regional y otros más específicos, y que abarcan parte del área de interés, pueden resumirse cronológicamente de la siguiente manera:

Imlay *et al.* (1948) describen a las formaciones jurásicas en la región de la Huasteca en los estados de Veracruz, Hidalgo y Puebla y en el área entre Ciudad Victoria, Tamps. y Catorce, S. L. P. Se enfocan principalmente a la estratigrafía, características litológicas y correlación de las formaciones Huayacocotla y Huizachal. Cabe destacar que en este trabajo se denominó formalmente a la Formación Huizachal y sus características, las cuales servirían para describirla en otras áreas geográficas de la República Mexicana (Figura 1.1).

Imlay (1953) sintetiza los trabajos realizados en el Jurásico de México, describiendo la litología, estratigrafía y distribución a lo largo del país de las formaciones más representativas de este período.

Kuegelgen (1958) describe seis unidades estratigráficas, desde el basamento cristalino precámbrico hasta las rocas volcánicas cenozoicas. Sus principales aportaciones son la descripción petrográfica del basamento y el reporte de lechos rojos jurásicos sobre la Formación Huayacocotla.

Carrillo-Bravo (1965) establece la columna estratigráfica del Anticlinorio de Huayacocotla y determina la litología, distribución y relaciones estratigráficas de las formaciones presentes en la estructura, desde el Precámbrico hasta el Cretácico, y propuso que la Formación Huizachal descrita por Imlay (1948), cambiara su edad del Jurásico al Triásico.

Cantú-Chapa (1971) en los estados de Puebla, Hidalgo, Veracruz y San Luis Potosí, describe la litología, contenido fósil y el paleoambiente de las formaciones Tepexic, Santiago, Tamán y Pimienta; a las cuales agrupa con el nombre de "La Serie Huasteca". Documenta evidencia de avances sucesivos del mar sobre el relieve mexicano jurásico y de la comunicación de la cuenca centro oriental de México con el Mar de Tethys.

Pedrazini y Basañez (1978) describen la litología, espesores, facies y el paleoambiente de las formaciones Cahuasas, Huehuetepec, Tepexic, Santiago, Tamán, Chipoco, San Andrés y Pimienta en la región comprendida entre Huayacocotla, Ver. y Chicontepec Ver.

Pérez-Ramos (1978) estudia la bioestratigrafía y litología de las formaciones paleozoicas, entre Zacualtipán y Tianguistengo, Hgo. Reporta la existencia de equinodermos, crinoides, gasterópodos, braquiópodos, briozoarios, espículas de esponja, foraminíferos y fusulínidos, cuyas asociaciones indican un depósito somero marino para estas unidades estratigráficas.

López-Ramos (1981) compila la información existente del Mesozoico de México y lo integra como una síntesis de la paleogeografía. Incluye descripciones de la estratigrafía de diversas formaciones y su interpretación ambiental y sedimentaria.

Moreno-Cano y Patiño-Ruiz (1981) elaboran su tesis de licenciatura en el área de Calnali, Hgo. Se enfocan principalmente al Paleozoico de la región, aunque también mencionan la presencia de lechos rojos triásicos, identificados como la Formación Huizachal.

La Facultad de Ingeniería de la UNAM (1990) elabora el "Prospecto Zacualtipán" para PEMEX, en el cual, elaboran la cartografía geológica, describen la estratigrafía y geología estructural de las hojas Metztitlán (F14-D-61) y Zacualtipán (F14-D-62) de INEGI, y se evalúan las posibilidades económicas petroleras de sus formaciones.

Buitrón-Sánchez *et al.* (1987) realizan estudios en las rocas paleozoicas (Mississipico-Pensilvánico) expuestas en el Municipio de Calnali, Hgo. Se enfocaron principalmente a la descripción de los fragmentos de crinoides y establecen la edad del contenido fósil en las formaciones Vicente Guerrero y Del Monte.

Silva-Pineda (1987) describe los fósiles de plantas de la Formación Guacamaya en el Municipio de Calnali, Hgo., asociando su poca preservación con litología y fauna a un ambiente marino donde fue transportada la vegetación.

Suter (1987) se enfoca a describir la geometría y estilo de deformación de la Sierra Madre Oriental a lo largo del Río Moctezuma, el cual atraviesa principalmente las plataformas calcáreas de El Doctor y la de Valles-San Luis Potosí.

Rodríguez-Osorio (1990) elabora su tesis de licenciatura entre los poblados de Huayacocotla y Zontecomatlán, Ver., donde describe las formaciones presentes a partir del Jurásico y a la geología estructural del área. En este trabajo se consideró que la sucesión expuesta en la carretera entre Huayacocotla y Zontecomatlán, Ver. desde un kilómetro antes de la terracería hacia La Selva hasta Zilacatipán, Ver., corresponde a la Formación Huizachal.

Hernández-Bernal y Hernández-Treviño (1991) elaboraron su tesis de licenciatura en los estados de Hidalgo y Veracruz, en la cual, realizaron la cartografía geológica de las cartas Metztitlán (F14-D-61) y Zacualtipán (F14-D-62) de INEGI. Describen la litología y las relaciones estratigráficas y estructurales de las unidades presentes en el área y su evolución geológica.

Michalzik (1991) describe detalladamente las facies y la procedencia de los sedimentos de las formaciones Huizachal y la Joya, en el estado de Tamaulipas al noreste de México y les asigna edades triásicas y jurásicas, respectivamente; apoyado en esta información, propone la configuración tectónica durante la apertura del Golfo de México.

Rueda-Gaxiola *et al.* (1993) por medio del método de palinoestratigrafía, determinan la cronología de los lechos rojos del Anticlinorio Huizachal-Peregrina en el Valle de Huizachal, Tamps. y agrupa a las formaciones Huizachal y La Boca en el Alogrupo Los San Pedros. Proponen las condiciones de depósito de las formaciones mencionadas.

Ochoa-Camarillo (1996) elabora su tesis de maestría en la región de Molango, Hgo., en la cual describe la estratigrafía, la extensión jurásica y la deformación laramídica del Anticlinorio de Huayacocotla; con estos elementos el autor discute las edades y posiciones estratigráficas de las formaciones presentes en el área y describe

la tectónica regional. Es importante mencionar que este autor no registró la presencia del Triásico en la región y propuso a la Formación Tuzancoa.

Arellano-Gil *et al.* (1998) describen las facies y evolución tectónica de las unidades pérmicas y jurásicas del área comprendida entre Pemuxco y Jalapa Hgo., haciendo énfasis en las formaciones Guacamaya y Huizachal. La primera se describió como una sucesión depositada en una cuenca profunda cercana al talud continental y la segunda, como una sucesión de lechos rojos asociada a depósitos fluviales meándricos relacionados a la disgregación del supercontinente Pangea. Las rocas denominadas en este trabajo como Formación Guacamaya, son renombradas por Ochoa-Camarillo (1996) como Formación Tuzancoa por considerar que la litología no corresponde a la de dicha formación y fue descrita como una secuencia vulcanosedimentaria compuesta de brechas volcánicas con lentes calcáreos, conglomerados volcánicos y areniscas tobaceas intercaladas con lutitas.

Barboza-Gudiño *et al.* (1998) asocian rocas volcánicas triásicas y jurásicas, así como algunas capas rojas del noreste de México, a una margen continental activa y no pasiva, como generalmente se describen, apoyándose en estudios petrológicos y geoquímicos; cambiando con esto el marco paleogeográfico usualmente aceptado para esta área del territorio mexicano.

Cantú-Chapa (1998) presenta una reseña de las transgresiones ocurridas en territorio mexicano durante el periodo Jurásico, con las cuales, describe la apertura del Golfo de México. Su interpretación se basa en el estudio de secuencias sedimentarias marinas que afloran tanto en el borde este del país, como en el centro y suroeste del mismo.

Ochoa-Camarillo *et al.* (1998) describen la litología y contenido fósil de las formaciones jurásicas Huayacocotla, Cahuasas, Tepexic, Santiago, Chipoco y Pimienta, en la región de Molango, Hgo., determinando así, su distribución y paleoambiente; además distinguen tres eventos tectónicos principales en el área, desde el Jurásico hasta el Plioceno.

Rueda-Gaxiola (1998) establece el método palinoestratigráfico aplicado a la datación de los lechos rojos. Con base en esta metodología elabora un modelo tectónico sobre la apertura del Golfo de México, dividiendo la zona en tres grandes

bloques que atraviesan el territorio mexicano en dirección NE – SW; cuya interacción define la paleogeografía jurásica mexicana. Los lechos rojos pertenecientes al Anticlinorio de Huayacocotla, son algunas de las formaciones consideradas en este modelo.

Ochoa-Camarillo *et al.* (1999) describen la estratigrafía y contenido fósil de las formaciones Tepexic y Cahuasas en el área de Molango Hgo.; se presenta la interpretación de cada una de ellas y se propone que en el área, hay repeticiones de secuencias asociadas a fallas inversas.

Silva-Pineda y Buitrón-Sánchez (1999) describen la flora contenida en las formaciones Huizachal, Huayacocotla, Cahuasas y Tepexic, asignándole a la primera, una edad triásica y jurásica a las restantes.

Eguiluz *et al.* (2000) establecen los diferentes estilos de deformación estructural de la Sierra Madre Oriental (SMO). Hacen una revisión general de la estratigrafía y de los modelos paleogeográficos, y dividen a la cordillera en siete sectores para explicar la deformación tectónica. Uno de ellos es el sector Huayacocotla, el cual se ubica en el extremo SE de la SMO y es descrito como un anticlinorio de grandes dimensiones con orientación hacia el NNW – SSE, cuyo fallamiento principal es de tipo inverso de bajo ángulo, con vergencia hacia el NE en el cual ocurren despegues a nivel de las secuencias clásticas y calcáreas del Jurásico-Cretácico. La deformación se considera como del tipo de cobertura delgada, en la que se calcula un acortamiento del 47% al 54%.

Rueda-Gaxiola (2004) basado en análisis palinoestratigráficos y geoquímicos de diversas formaciones a lo largo del este del territorio mexicano, construye un modelo de la apertura del Golfo de México conformado por tres principales periodos de apertura de cuencas. Con base en su modelo, propone posibles zonas de interés económico petrolero en la cuenca del golfo.

Centeno-García (2005) recopila e interpreta la estratigrafía y naturaleza de los terrenos tectonoestratigráficos que conforman la República Mexicana y de su posible interpretación paleogeográfica durante el Mesozoico. El área de estudio se ubica dentro del terreno Sierra Madre.

Esquivel-Macías *et al.* (2005) reportan por primera vez, la existencia de nuevos géneros de amonitas e isocrínidos bentónicos en la Formación Despi, considerada

dentro del Grupo Huayacocotla, en la región de Temapa, Hgo. Este registro fósil permite determinar tres asociaciones fósiles principales que corresponden a edades sinemurianas.

Rosales-Lagarde y Centeno-García (2005) renombran a la Formación Guacamaya en el área de Calnali, Hgo. y proponen en su lugar a la Formación Tuzancoa, describiéndola como una intercalación de flujos de lava andesítica-basáltica, turbiditas siliciclásticas y volcanoclásticas; lentes de conglomerado y depósitos calcáreos, que los asocian a la presencia de un arco continental submarino pérmico, reportado por primera vez por las autoras.

1.5 GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO

1.5.1 LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

La zona de estudio se localiza en el límite de los estados de Hidalgo y Veracruz en el noreste de México; comprende una superficie aproximada de 238 km², la cual queda incluida en la carta topográfica Zacualtipán (F14-D-62), escala 1:50,000 de INEGI (2008,a) (Figura 1.2). Las coordenadas de los vértices que la delimitan son las siguientes (Figura 1.3):

VÉRTICES		
A	14Q546531 m E	2286557 m N
B	14Q 558000 m E	2294588 m N
C	14Q 567750 m E	2280662 m N
D	14Q 556282 m E	2272632 m N

* Elipsoide GRS80. Datum ITRF92.

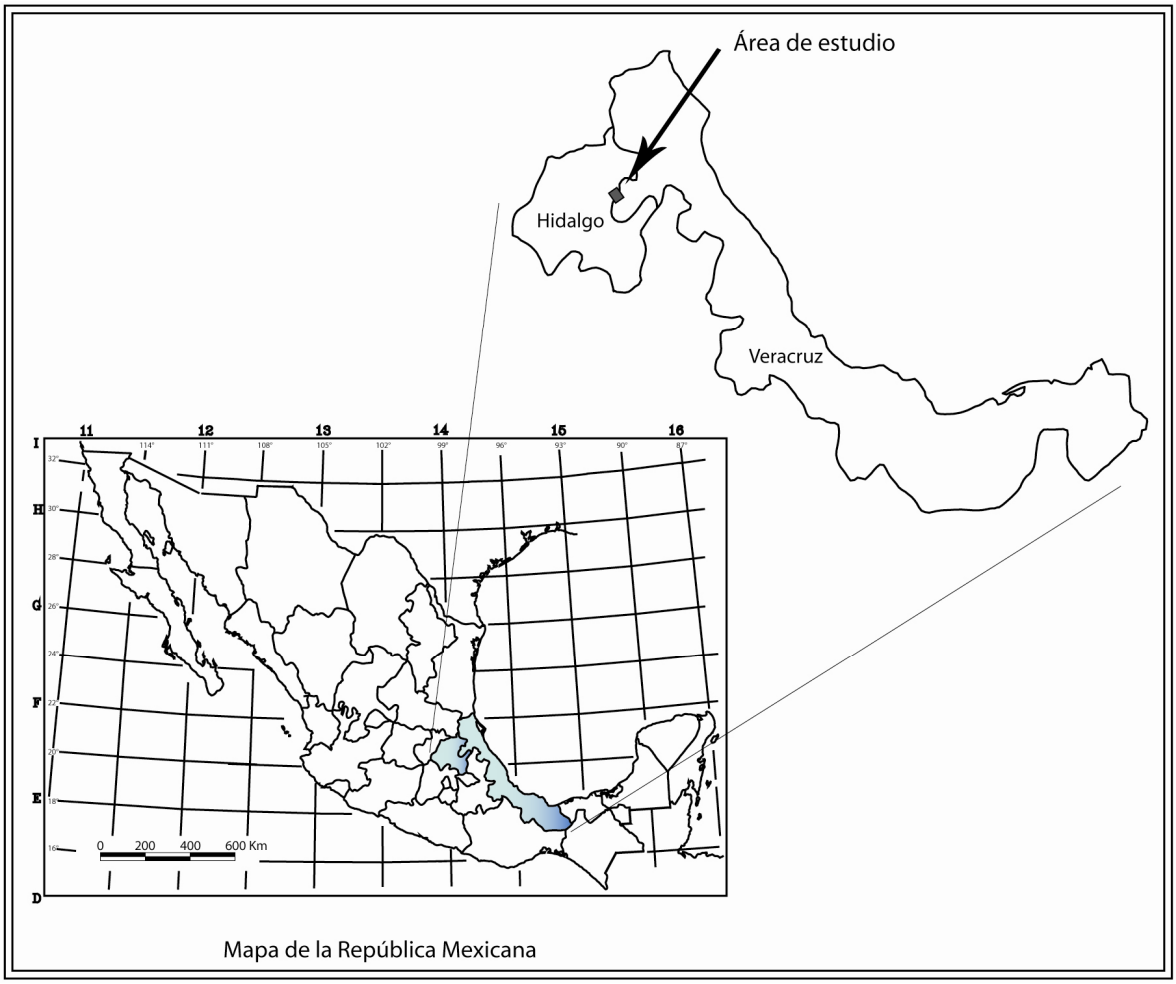


Figura 1.2 *Mapa de localización del área de estudio*

Dentro del área se encuentran incluidos parcialmente los Municipios de Huayacocotla e Ilamatlán, pertenecientes al estado de Veracruz y sus poblaciones correspondientes son: Buena Vista, Chapala, Corcovado, El Bopo, El Dota, El Plan, El Reparo, Helechales, Los Charcos, Los Ocotes, Miguel Lerdo, Tenango, Tzimentey, Zilacatipán y Zonzonapa para el primero, y Apachitla, Chiyahual, Conquextla, Panohuaya, San Mateo, Tecapa y Xaltipa para el segundo. Únicamente del Estado de Hidalgo se ubica el Municipio de Zacualtipán con los poblados Chinancáhuatl, Huichohuaya, Jalapa, Maxala, Mimiaguaco, Olonteco, Tetzimico y Xoluapa (Figura 1.3).

Esta área es accesible por las Carreteras Federales 85 y 132 desde la Ciudad de México. A lo largo de toda la zona hay numerosas terracerías y brechas que comunican

a los pequeños poblados con los principales, ubicados a lo largo de la red carretera principal.

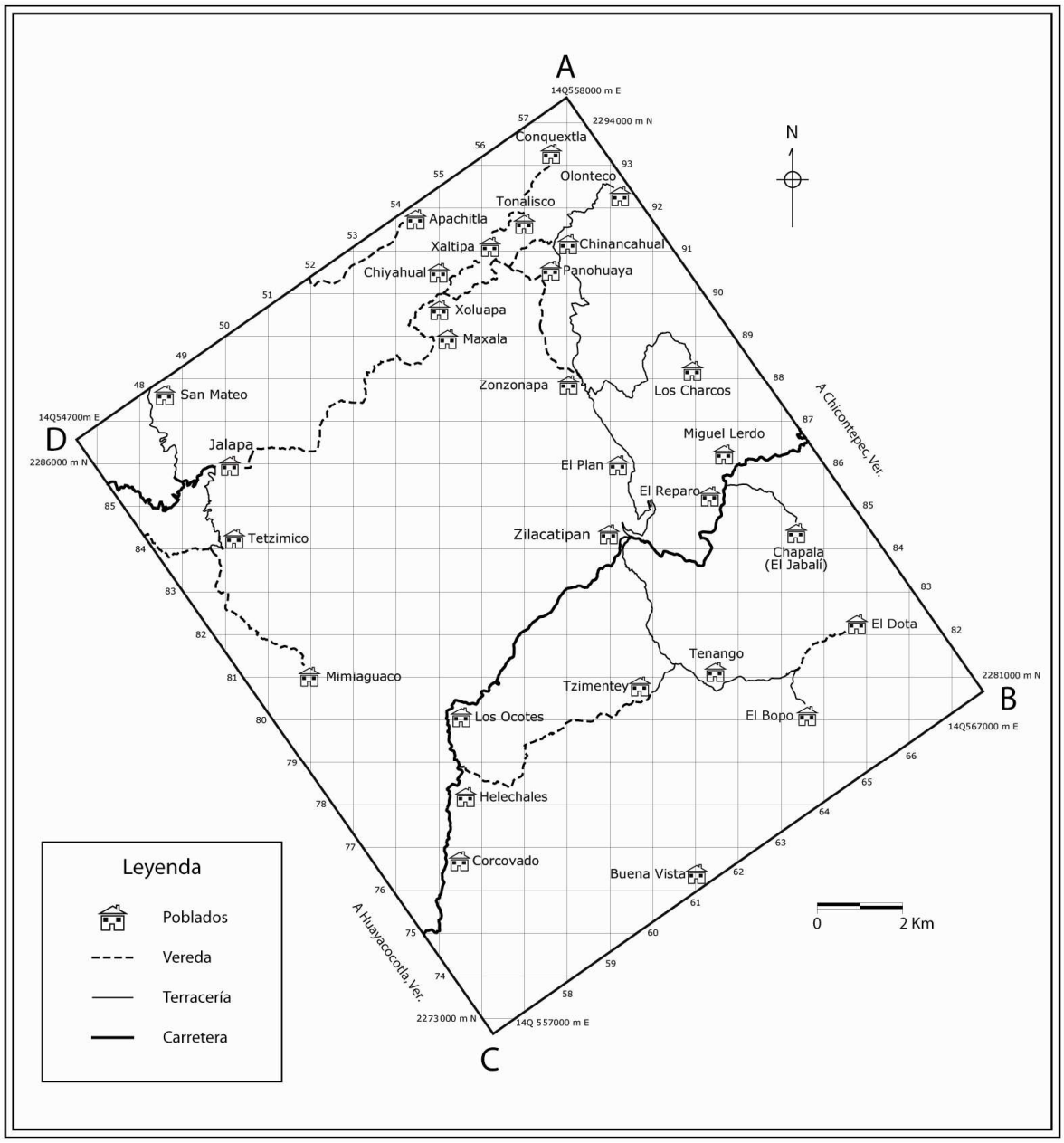


Figura 1.3. *Vías de comunicación y poblados dentro del área de estudio. Modificado de base topográfica carta Zacualtipán F14-D-62 (INEGI, 2008a).*

Desde la Ciudad de México se accede por la Carretera Federal 85 hasta Pachuca, Hgo., donde comienza la carretera 105 en dirección norte. Sobre esta última antes de

llegar al poblado de Zacualtipán, Hgo., se toma la desviación hacia el poblado de Carpinteros, Hgo., se continúa por este camino hasta la Carretera Estatal 51 la cual lleva directamente hacia Zilacatipán, Ver. Desde este lugar es relativamente sencillo acceder a las localidades estudiadas por las numerosas terracerías que comunican a los poblados comprendidos en el área de estudio (Figura 1.3). También es posible llegar por la Carretera 132, tomando la Carretera Federal 130 hacia Tulancingo Hgo., de la cual, en el kilómetro 12, inicia la Carretera Estatal 51 en dirección norte hacia Huayacocotla Ver., una vez pasando este poblado se continúa hasta Zilacatipán Ver.

1.5.2 Fisiografía

Fisiográficamente, el área de interés se ubica en la provincia Sierra Madre Oriental y, a su vez, en la subprovincia del Carso Huasteco (INEGI, 2008f y 2008g) (Figura 1.4).

Figura 1.4. *Mapa de provincias fisiográficas. Modificado de INEGI (2008h).*

Esta provincia está conformada por sierras plegadas cuyos constituyentes principales son rocas calcáreas. De acuerdo a la clasificación de Raisz (1964), la zona de estudio se sitúa en la Sierra Madre Oriental.

1.5.3 HIDROGRAFÍA

La zona de estudio, pertenece a la vertiente del Golfo de México, específicamente a la Región Hidrológica Río Panuco y, a su vez, a la Cuenca del Río Moctezuma, la cual destaca por su gran extensión y cantidad de afluentes (INEGI, 2008i y 2008j). Los patrones de drenaje representativos son de tipo dendrítico y subdendrítico, cuya densidad es alta en toda el área. Los principales ríos que atraviesan la zona son el Chichiquila-Garcés y el Mimiaguaco-Garcés en la parte norte y el Río Chiquito hacia la parte sur.

1.5.4 CLIMA, VEGETACIÓN Y SUELO

El clima predominante en la zona de interés, es templado húmedo con lluvias todo el año, el cual se presenta gracias a la influencia de corrientes que provienen del Golfo de México, con una temperatura media anual que oscila de 12° a 20° C y precipitación total anual de 500 a 2500 mm (INEGI, 2008d y 2008e).

La vegetación predominante corresponde a bosque tipo caducifolio y bosque pino-encino; el primero compuesto principalmente por especies de Carpinus, Magnolia, Quercus, Ostrya y Ulmus, cuya distribución es homogénea y el segundo, representado por los géneros Quercus y Pinus. En lo referente a la agricultura se encuentran cultivos de naranja, café, maíz, tabaco, frijol, chile, cebada, caña de azúcar, maguey pulquero, cacahuate, alfalfa, mango, aguacate y nuez principalmente (INEGI, 2008b y 2008c).

Los tipos de suelos predominantes son los andosoles, derivados de cenizas volcánicas, luvisoles arcillosos y feozems, caracterizados por su alto contenido de materia orgánica y coloración oscura (INEGI, 2008f y 2008g).

CAPÍTULO 2

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La zona de estudio se encuentra enclavada en la región central de la provincia geológica conocida como el Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992), cercana a los límites de la margen pasiva del Golfo de México.

La Sierra Madre Oriental es una faja montañosa que está constituida principalmente por sucesiones sedimentarias mesozoicas que sobreyacen a un basamento de edad precámbrica y paleozoica; estos últimos usualmente observados en ventanas erosiónales de la secuencia mesozoica plegada (Móran-Zenteno, 1984). Parte de esta sierra se desarrolla sobre el terreno tectonoestratigráfico Sierra Madre, que forma parte del Bloque de Oaxaquia (Figura 2.1), donde se encuentra el área de este estudio; el basamento de este terreno son los Gneis Novillo y Huiznopala, expuestos en Ciudad Victoria, Tamps. y Molango, Hgo., sobre los cuales se depositó una sucesión paleozoica turbidítica de areniscas intercaladas con lutitas y limolitas (Centeno-García, 2005). Durante el Jurásico, en esta porción de México, se depositaron capas rojas, pero en la región de Huayacocotla, Ver. la sedimentación fue de tipo marino para cambiar posteriormente a continental. Hacia finales del Jurásico ocurrió una transgresión marina que dio origen al grueso paquete de carbonatos del Cretácico. A finales del Cretácico Tardío el régimen de sedimentación cambió de nuevo por el mayor aporte de detríticos asociados a la actividad volcánica y plutónica y al retroceso de los mares hacia el oriente, así las plataformas calcáreas fueron sobreyacidas por sucesiones de terrígenos (Móran-Zenteno, 1984).

En la región se reportan tres principales eventos tectónicos; el primero, se reconoció como una fase extensiva iniciada en el Jurásico Inferior y finalizada en el Jurásico Medio, la cual dio lugar a la formación de fallas normales con rumbo NNW-SSE y N-S que delimitan fosas tectónicas en las cuales se llevó a cabo la sedimentación. El segundo evento tectónico ocurrió durante el Cretácico Superior y el Eoceno con la

Orogenia Laramide que originó pliegues y cabalgaduras que dieron lugar a estructuras como el Anticlinorio de Huayacocotla donde hay despegues al nivel de la Formación Huayacocotla, gracias a su disposición sobre el basamento precámbrico y también sobre formaciones mecánicamente incompetentes como la Santiago y Pimienta; la reactivación de fallas normales como inversas se considera también como otra consecuencia de la orogenia. Como último evento tectónico se habla de la fase extensiva posterior al Plioceno, evidenciado por fallas normales con rumbo NW-SE limitando el Graben de Molango (Ochoa-Camarillo, 1998).

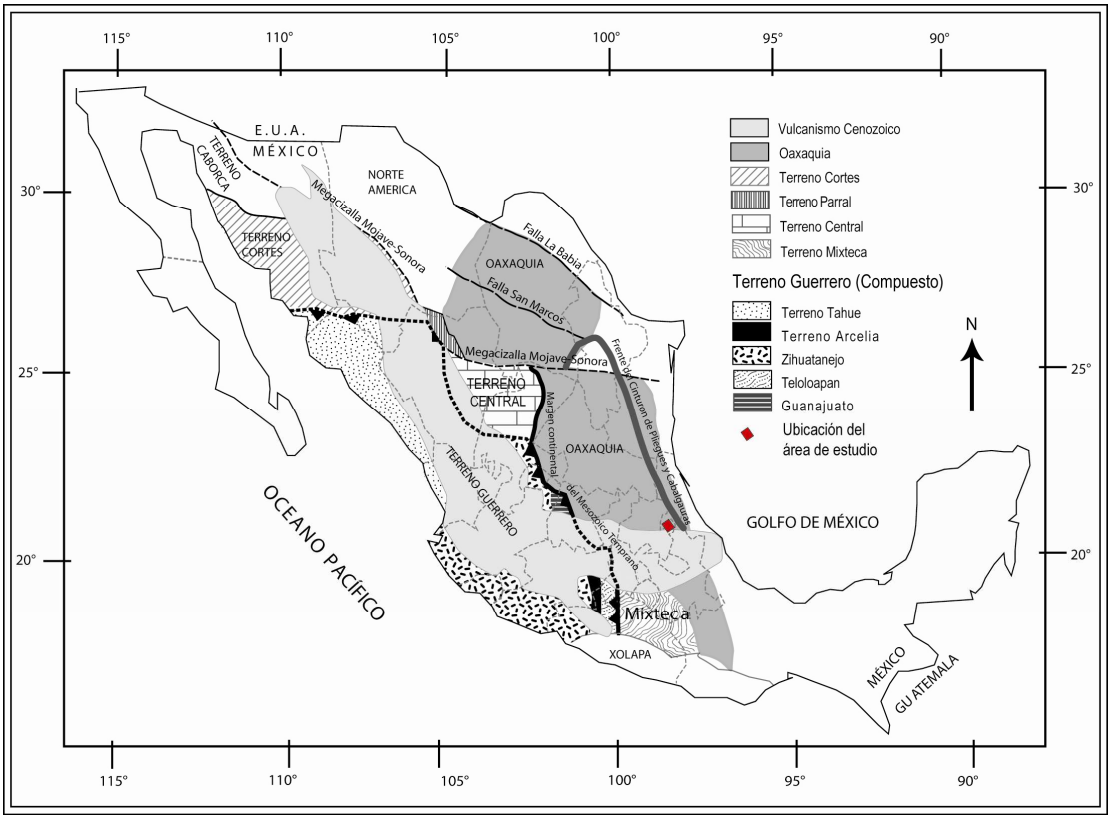


Figura 2.1 *Ubicación del área de estudio, referenciada al marco de los terrenos tectonoestratigráficos de México. Modificado de Centeno-García et al. (2008).*

2.1 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL

Las unidades estratigráficas que afloran en el área de estudio comprenden desde rocas metamórficas Precámbricas hasta sedimentarias del Cretácico Inferior-Superior,

lo cual indica cambios notables en la historia geológica de la región, asociados principalmente a la formación y desmembramiento de Pangea y a la apertura del Golfo de México (Centeno-García, 2005). A continuación se resumen las características principales de seis de las siete unidades presentes en el área investigada; la Formación Xaltipa, que constituye el objeto de estudio de este trabajo, será tratada más adelante con detalle en el Capítulo 3 (Figura 2.2).

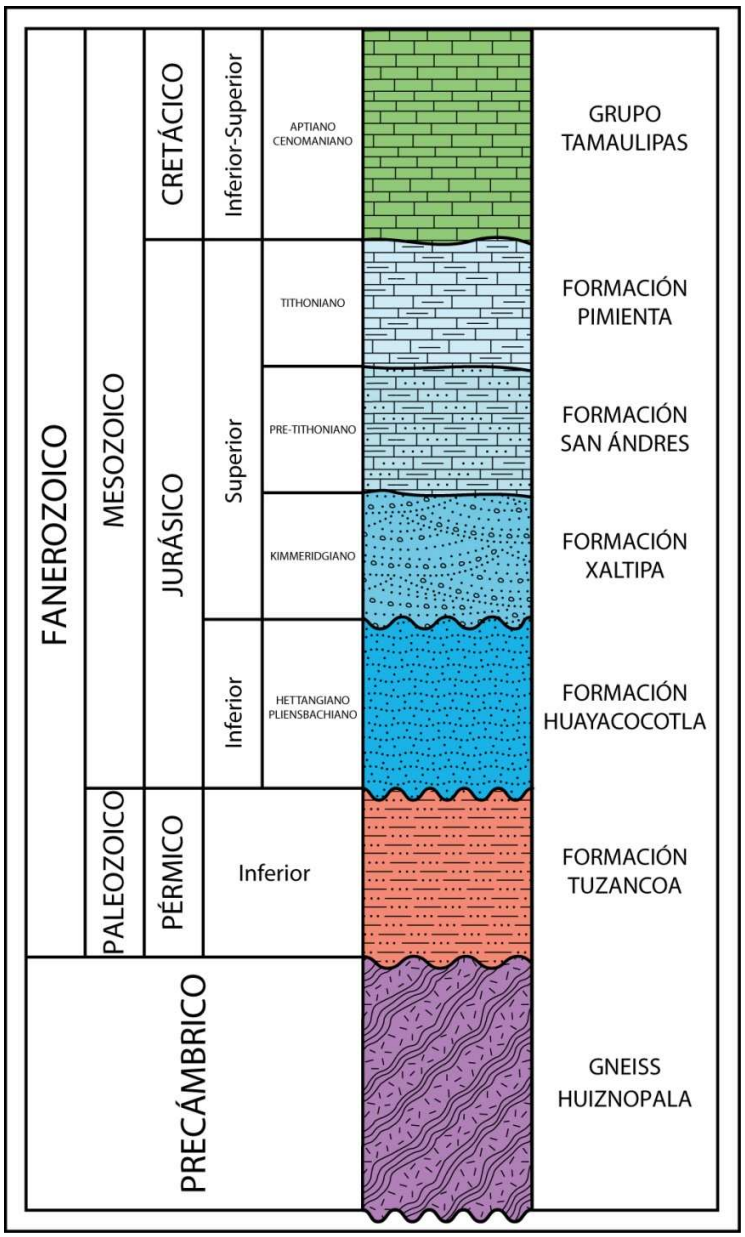


Figura 2.2 *Columna estratigráfica del área de estudio.*

2.1.1 Basamento Precámbrico

Gneis Huiznopala

Definición

El Gneis Huiznopala fue descrito por primera vez por Kuegelgen (1958), en la parte central del Anticlinorio de Huayacocotla, como gneis de textura blastomilonítica conformado de cuarzo con extinción ondulante, ortoclasa, plagioclasa, biotita, apatita y circones; posteriormente se han realizado otros estudios donde se ha descrito como gneis bandeado en facies de granulita (Martínez-Pérez, 1962; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1997); ortogneis (granítico y gabróico) (Ochoa-Camarillo, 1996); ortogneis, complejo gabro-anortosítico y paragneis (Lawlor *et al.*, 1999); su definición formal fue dada por Fries y Rincón-Orta (1965). El Gneis Huiznopala se asocia a la orogenia Grenvilliana de distribución mundial (Lawlor *et al.*, 1999).

Distribución

El Gneis Huiznopala se encuentra en las cercanías del poblado de Molango, Hgo., (Lawlor *et al.*, 1999) al noroeste fuera del área de estudio; le sobreyace una cobertura pérmica y jurásica en seis principales localidades (Ochoa-Camarillo, 1996). Este trabajo reporta por primera vez los afloramientos expuestos en el lecho del Río Chichiquila, entre los poblados de Xoluapa, Hgo. y Xaltipa, Ver. en un área pequeña, no mayor a 0.2 km^2.

Descripción litológica

El Gneis Huiznopala está conformado por tres unidades litológicas mayores que fueron expuestas a deformación dúctil y metamorfismo en facies de granulita, con una posterior regresión a facies de esquisto verde. Así, el Gneis Huiznopala incluye a) capas bandeadas metasedimentarias de gneis cuarzo feldespático con granates y grafito, b) una secuencia de meta-anortositas de andesina con gneis de tipo gabroico y

charnokitas y c) algunas granulitas (Lawlor *et al.*, 1999). En el área de estudio se encuentra como un gneis cuarzo feldespático bandeado.

RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS Y EDAD

Ochoa-Camarillo (1996) reporta que el Gneis Huiznopala está cubierto discordantemente por la Formación Santiago, en la región de Huiznopala y por las formaciones Huayacocotla y Pimienta en la región de Molango, Hgo. Hacia Otlamalacatla, Hgo. subyace igualmente a la Formación Pimienta y a la Formación Tamaulipas Inferior; también se encuentra en contacto tectónico con rocas de edad paleozoica. En el área de estudio el gneis se encuentra adyacente a la Formación Xaltipa, y presenta dos tipos de contactos, uno estratigráfico discordante y el otro estructural por una falla normal, que se interpreta como de crecimiento.

CORRELACIÓN

Estas rocas han sido correlacionadas con el Gneis Novillo, también de edad grenvilliana, que aflora en las cercanías de Ciudad Victoria, Tamps. (Carrillo-Bravo, 1961); y con el Complejo Oaxaqueño, reconocido como el afloramiento de rocas grenvillianas más extenso de México (Solari *et al.*, 2004).

2.1.2 PALEOZOICO

FORMACIÓN TUZANCOA

DEFINICIÓN

El nombre de Formación Tuzancoa fue propuesto por Ochoa-Camarillo (1996) para las rocas que afloran al sur del poblado del mismo nombre en el estado de Hidalgo, y las describió como brechas volcánicas con lentes calcáreos con fusulínidos y crinoides; conglomerados de clastos volcánicos calcáreos con fusulínidos y crinoides; y areniscas tobaceas con lutitas. Anteriormente estas rocas han sido consideradas como

la Formación Guacamaya (Carrillo-Bravo, 1965; Facultad de Ingeniería, 1990; Arellano-Gil *et al.*, 1998).

DISTRIBUCIÓN

En la región de la Huasteca Hidalguense se ha reportado cerca de los poblados de Tuzancoa, Otlamalacatla, Tianguistengo y Calnalli, Hgo., (Ochoa-Camarillo, 1996; Rosales-Lagarde y Centeno-García, 2005) En el área de estudio se ubica en el sector noroccidental cerca de los poblados de Jalapa y Tetzimico, Hgo.

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA Y ESPESORES

Según Rosales-Lagarde y Centeno-García (2005), sobre el Río Tlacolula en las cercanías de Otlamalacatla, Hgo., la formación consta de una sucesión de flujos de lava andesíticos y basálticos intercalados con brechas y tobas, turbiditas siliciclásticas, turbiditas volcánicas, flujos de detritos calcáreos y conglomerados, que se repiten y dan lugar a una sucesión rítmica. El espesor total de esta formación es de aproximadamente 700 m.

EDAD Y RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

Esta formación es de edad Pérmico Inferior (Wolfcampiano-Leonardiano) según su contenido fósil (algas, braquiópodos, crinoides, fusulínidos, micro-foraminíferos, pelecípodos, plantas y trilobites) (Rosales-Lagarde y Centeno-García, 2005).

La Formación Tuzancoa se encuentra en contacto tectónico con el Gneis Huiznopala, sin embargo se asume que el contacto original fue de tipo deposicional; hacia la cima en contacto concordante con areniscas y lutitas jurásicas de la Formación Huayacocotla (Rosales-Lagarde y Centeno-García, 2005). En el área de estudio se encuentra en contacto con la Formación Huayacocotla hacia Jalapa, Hgo.; y en contacto tectónico con las formaciones Huayacocotla, Xaltipa, San Andrés, Pimienta y con el Grupo Tamaulipas, por medio de la Falla Huichohuaya.

AMBIENTE DE DEPÓSITO

De acuerdo con Rosales-Lagarde y Centeno-García (2005) esta formación se depositó en una cuenca marina que se asoció a un arco volcánico submarino extendido sobre la región oriental de México. Sin embargo, otros autores (Arellano-Gil *et al.*, 1998) que la han descrito como la Formación Guacamaya han asociado su depósito a un talud continental ubicado frente a una plataforma marina somera que al denudarse contribuyó al deposito calcáreos y que además recibió aportes de rocas andesíticas asociadas a la actividad volcánica de una margen convergente hacia el occidente.

2.1.3 MESOZOICO

FORMACIÓN HUAYACOCOTLA

DEFINICIÓN

Esta unidad fue definida por Imlay *et al.* (1948) en la región norte de los estados de Veracruz y Puebla y hacia el este de Hidalgo. Fue descrita como intercalaciones de arenisca y conglomerado con lentes de caliza. Su localidad tipo se encuentra a lo largo del Río Vinazco, hacia el sur del poblado de Huayacocotla, Ver.

DISTRIBUCIÓN

Se encuentra aflorando en los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz, en el denominado Anticlinorio de Huayacocotla. En el área de estudio aflora desde la parte central hasta la región suroccidental a lo largo de la carretera estatal 51 hasta el poblado de Zilacatipán, Ver. y sobre el afluente Toluca hasta su confluencia con el tributario La Colmena, sobre el Río Vinazco. En la parte noroccidental del área, aflora en la terracería que va de Tlahualompa a Jalapa, Hgo. y en el cerro Huacanco cercano a Jalapa, Hgo.; y sobre el lecho del Río Garcés como núcleo del Anticlinal Texcatepec.

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA Y ESPESORES

Erben (1956) la describió como una sucesión calcáreo arcillosa que dividió en nueve unidades, basado en su contenido paleontológico. Para Carrillo-Bravo (1965) la unidad consiste en arenisca de grano fino a medio que cambia a lutita y limolita. Hacia la cima en ocasiones se presenta como carbonatos y en la base como conglomerados. En la región de Molango, Hgo., Ochoa-Camarillo (1996) la describe como depósitos rítmicos y semi-rítmicos de arenisca y lutita con algunos estratos de conglomerado, que en ocasiones se presenta con concreciones arenosas con impresiones de amonitas, en general sin presentar carbonatos. Ochoa-Camarillo (1996) la dividió en tres unidades principales: la inferior de conglomerado, arenisca, limolita y lutita con fósiles retrabajados de fusulínidos y crinoides; la intermedia que consta de conglomerado, arenisca, limolita y lutita con amonitas y la superior de arenisca, limolita, lutita y conglomerado, donde se reportó el horizonte conocido como lutita con plantas (Erben, 1956). En la carretera entre Huayacocotla y Zilacatipán, Ver., se presenta en estratos tabulares de cimas onduladas de areniscas con alto contenido de cuarzo. Ochoa-Camarillo (1996) reporta espesores de 1,000 m.

EDAD Y RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

Originalmente su edad fue considerada Sinemuriano-Pliensbaquiano (Imlay *et al.*, 1948), posteriormente se ha precisado su alcance estratigráfico como Hettangiano-Pliensbachiano (Carrillo-Bravo, 1965; Ochoa-Camarillo, 1999). Carrillo-Bravo (1965) reportó que la Formación Huayacocotla sobreyace discordantemente a la Formación Huizachal en las cercanías del poblado Las Minas, Ver., al sur del Corcovado, Ver.; sin embargo, en dicha localidad el contacto es transicional (Facultad de Ingeniería, 1990) y la unidad subyaciente corresponde a un paquete areno-conglomerático de la misma Formación Huayacocotla, con lo cual, se manifiesta el acuerdo con Ochoa-Camarillo (1996) que descartó la presencia de la Formación Huizachal en el Anticlinorio de Huayacocotla. En el área de estudio se encuentra sobreyaciendo a la Formación Tuzancoa y subyace discordantemente a la Formación Xaltipa; por otra parte, las fallas Zilacatipán y Huichohuaya yuxtaponen a la Formación Huayacocotla con las formaciones Tuzancoa, Xaltipa, Pimienta, San Andrés y con el Grupo Tamaulipas.

AMBIENTE DE DEPÓSITO

De acuerdo a Ochoa-Camarillo *et al.* (1998), los tres miembros que conforman a está unidad corresponden a tres ambientes de depósito diferentes; el miembro inferior constituido de conglomerados y brechas, sugiere que los clastos fueron transportados por corrientes de alta energía que los depositaron cerca de su lugar de origen en abanicos aluviales. El miembro intemedio se interpreta como un ambiente marino muy cercano a la costa. Para el miembro superior se sugiere un ambiente fluvial.

FORMACIÓN SAN ANDRÉS

DEFINICIÓN

Hernández-Bernal y Hernández-Treviño (1991) elevaron al rango de formación al Miembro San Andrés de la Formación Tamán por considerarse que aflora lo suficiente para ser cartografiable en el área de estudio. Esta unidad fue descrita por primera vez por Buckhardt (1930) y fue definida como "calizas con nerineas". Cantú-Chapa (1971) describe el Miembro San Andrés como cuerpos de calcarenita que cambian a micrita de manera horizontal y vertical en las cercanías del Río San Marcos, hacia el sureste fuera del área de estudio. La localidad tipo de esta formación se ubica al sureste de Poza Rica, Ver., donde se realizó la descripción por primera vez en el pozo San Andrés Nº. 8 del cual extrajeron núcleos (Campa, 1970).

DISTRIBUCIÓN

La Formación San Andrés aflora sobre el lecho del Río Apulco, en el estado de Puebla y a 20 km del Río Pantepec en las cercanías de Pie de la Cuesta, Ver. (Cantú-Chapa, 1971). Esta unidad se distribuye en el área de estudio hacia el norte, entre los poblados de Tonalisco y Panohuaya, Ver.; y sobre la terracería, entre Chinancáhuatl y Olonteco, Hgo. Puede observarse también en la terracería que parte de la carretera estatal 51 al poblado de Chapala (El Jabalí), Ver. Se encuentra expuesta hacia el sureste en los poblados de Tenango y El Dota, Ver. (ver Mapa Geológico anexo).

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA Y ESPESORES

En la base, la formación consiste de caliza arenosa y conglomerática con fragmentos angulosos de cuarzo y hacia la cima incluye bancos calcáreos con nerineas. Se estima que tiene un espesor de 250 m en el área de estudio (Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991).

RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS Y EDAD

Esta unidad subyace concordantemente a la Formación Tamán en el Río Apulco; subyace a la Formación Pimienta y se encuentra en discordancia sobre sedimentos de origen continental, que se infiere se tratan de la Formación Xaltipa, en el estado de Puebla y en el poblado de Pie de la Cuesta, Ver. (Cantú-Chapa, 1971). En el área de estudio sobreyace en contacto transicional a la Formación Xaltipa y subyace a la Formación Pimienta con un contacto nítido. También se encuentra en contacto tectónico con la Formación Huayacocotla mediante la Falla Zilacatipán. Su edad estimada, dado su contenido paleontológico y relaciones estratigráficas, es Pre-Tithoniano (Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991).

AMBIENTE DE DEPÓSITO

Se considera que esta unidad fue acumulada en un ambiente mixto con aportes de clásticos finos y en plataforma de aguas cálidas (Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991).

FORMACIÓN PIMIENTA

DEFINICIÓN

Se conoce como Formación Pimienta a la unidad de calizas negras y blancas de estratos delgados, con abundantes horizontes de pedernal (Heim, 1926), cuya localidad tipo se encuentra al norte del poblado Pimienta, entre los kilómetros 337 y 338 de la carretera México-Laredo.

DISTRIBUCIÓN

La unidad aflora en la región de Tamán, S. L. P. y Río Apulco, Pue., (Cantú-Chapa, 1971) y está presente en el Anticlinorio de Huayacocotla en dos franjas de rumbo SE-NW (Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991). En el área de estudio se encuentra hacia el norte, en las cercanías del poblado de Tonalisco, Ver., y pueden verse algunos afloramientos en la terracería entre Zonzonapa, Ver. y Chinancáhuatl, Hgo., sobre la carretera entre Zilacatipán y Chicontepec, Ver., y sobre la vereda entre Huichohuaya y Maxala, Hgo. Hacia el sureste del área se encuentra en las cercanías del poblado Tenango, Ver. (ver Mapa Geológico anexo).

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

Esta unidad ha sido descrita como caliza micrítica arcillosa alternada con lutitas y capas delgadas de bentonita hacia la cima. Se reportan también lentes de pedernal (Cantú-Chapa, 1971). Esta formación tiene un carácter arcillo-calcáreo y presenta intercalaciones de areniscas, limolitas y horizontes verdosos identificados como bentonitas. Su parte calcárea se describió como mudstone y wackestone con presencia de calpionelas; las areniscas son líticas y muestran estratificación gradada. El espesor estimado para el área de estudio es de 200 m (Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991).

EDAD Y RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

A la Formación Pimienta se le ha asignado una edad de Tithoniano Superior (Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991) con base en su contenido fosilífero de amonitas y tintínidos (Cantú-Chapa, 1971). Cantú-Chapa (1971) la designó como representante de todo el Tithoniano en la región de Huehuetla, Hgo. Esta formación es transicional y concordante con la Formación Tamán en su localidad tipo y subyace concordante y transicionalmente a la Formación Tamaulipas Inferior hacia la región de Tamán, S. L. P. (Cantú-Chapa, 1971). En el área de estudio sobreyace a la Formación San Andrés y subyace concordante y transicionalmente al Grupo Tamaulipas (Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991).

AMBIENTE DE DEPÓSITO

Se infiere que se depositó en una plataforma con aportes de material arcilloso, que paulatinamente se profundizó y recibió flujos turbidíticos. La existencia de los estratos de bentonita indican la existencia de actividad volcánica hacia el sector occidental de México (Salvador, 1991).

GRUPO TAMAULIPAS

DEFINICIÓN

El término Formación Tamaulipas se utilizó por primera vez por Stephenson (1922), para referirse a la secuencia calcárea que aflora en la Sierra de Tamaulipas. Posteriormente, esa unidad se subdividió en las formaciones Tamaulipas Inferior y Tamaulipas Superior separadas por el Miembro Otates (Muir, 1936) de tipo calcáreo-arcilloso. La localidad tipo para la Formación Tamaulipas Inferior no se ha establecido; para el Horizonte Otates y la Formación Tamaulipas Superior se ubica en el Cañón de la Borrega perteneciente a la Sierra de Tamaulipas (Muir, 1936). En el área de estudio no es posible separar cartográficamente a las tres unidades por lo que se utiliza la unidad Grupo Tamaulipas propuesto por la Facultad de Ingeniería (1990).

DISTRIBUCIÓN

Estas unidades tienen una amplia distribución en la Sierra Madre Oriental hacia el noreste de la Mesa Central; en el estado de Hidalgo en la región de Molango (Ochoa-Camarillo, 1996). En el área de estudio se encuentra hacia el sector noroccidental en las cercanías del poblado Apachitla, Ver., entre los poblados de Huichohuaya y Maxala, Hgo. Hacia el noreste aflora en los poblados de El Plan, Los Charcos, Ver. y sobre la carretera, entre los poblados de Zilacatipán. y Miguel Lerdo, Ver. y la terracería, entre Zilacatipán y Zonzonapa, Ver. (ver Mapa Geológico anexo).

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA Y ESPESORES

La Formación Tamaulipas Inferior se ha descrito como calizas de grano fino amarillentas con nódulos esféricos y elongados de pedernal amarillo (Muir, 1936). También se ha referido como calizas color gris claro y amarillento en capas medianas con estilolitas bien desarrolladas y nódulos (Carrillo-Bravo, 1965). El Horizonte Otates se ha reconocido como calizas arcillosas, de color gris a negro, con intercalaciones de lutita laminar que en ocasiones presenta pedernal negro (Muir, 1936), o como calizas wackestone, calizas arcillosas y lutitas grises con nódulos de pedernal negro (Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991). La Formación Tamaulipas Superior consta de calizas blancas con pedernal blanco y calizas grises con pedernal negro (Muir, 1936). Está ultima también ha sido descrita como calizas wackestone y packestone gris claro con nódulos de pedernal (Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991). En la región de Molango, Hgo., cercana al área de estudio, tienen un espesor aproximado de 291 m, 80 m y 300 m respectivamente (Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991).

EDAD Y RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

Su edad es Berriasiano-Aptiano para la Formación Tamaulipas Inferior, Albiano-Cenomaniano para la Formación Tamaulipas Superior, con base en su contenido de microfósiles (Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991). Este Grupo se ha considerado que sobreyace transicionalmente a la Formación Pimienta (Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991); subyace transicionalmente a la Formación Agua Nueva en la región de Molango, Hgo. (Ochoa-Camarillo, 1996). En el área de estudio sobreyace a la Formación Pimienta y se encuentra en contacto tectónico (Falla Zilacatipán) con la Formación Huayacocotla, entre los poblados de Zilacatipán y El Plan, Ver. En el área no se observó su relación estratigráfica superior.

AMBIENTE DE DEPÓSITO

El depósito de la Formación Tamaulipas Inferior se ha interpretado de un ambiente de mar abierto; el Horizonte Otates se interpreta que ocurrió en un ambiente de plataforma abierta con aporte de terrígenos; y la Formación Tamaulipas Superior se

ha sugerido que se depositó en un ambiente de mar abierto (Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991).

2.2 Geología Estructural

En el área de estudio se identificaron varias estructuras regionales que a continuación se describen.

Anticlinorio de Huayacocotla

El Anticlinorio de Huayacocotla es un conjunto de pliegues de rumbo general al NW-SE delimitado al norte por el Lineamiento Tlamaya-Huichihuayán, al oriente por la Cuenca Tampico-Misantla y hacia el occidente por la Plataforma Valles-San Luis Potosí (Suter, 1984). En la región representada en la Hoja Zacualtipán, su rumbo general es de N40ºW (Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991). El Anticlinorio de Huayacocotla muestra claramente asimetría estratigráfica en las formaciones que conforman sus flancos occidental y oriental; en el primero aflora la sucesión paleozoica y jurásica compuesta por las formaciones Tuzancoa, Huayacocotla, Cahuasas, Tepexic, Santiago, Tamán y Pimienta; y en el segundo las formaciones Tuzancoa, Huayacocotla, Xaltipa, San Andrés, Pimienta y el Grupo Tamaulipas (Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991).

Anticlinal Ixtatetla

Este anticlinal se localiza se encuentra en hacia el oriente de la zona de estudio, en el flanco noreste del Anticlinorio de Huayacocotla y tiene una longitud de 9.5 km y un ancho de 2.4 km, su rumbo general es de N30ºW (Hernández-Bernal y Hernández-

Treviño, 1991). Esta estructura abarca las formaciones Xaltipa, Pimienta, San Andrés y el Grupo Tamaulipas.

Anticlinal Texcatepec

Esta estructura se localiza en la parte oriental del área de estudio dentro del flanco noreste de la megaestructura conocida como el Anticlinorio de Huayacocotla, tiene una extensión de aproximadamente 25 km y un ancho de 3 km, su rumbo general es de N28ºW (Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991). Dentro del área de investigación comprende a las formaciones Huayacocotla, Xaltipa, Pimienta, San Andrés y el Grupo Tamaulipas. En el anticlinal está definida una bifurcación hacia la región de Chinancáhuatl, Hgo. y a esta estructura se le conoce como Anticlinal Ixtatetla (Facultad de Ingeniería, 1990).

Falla Zilacatipán

La Falla Zilacatipán es uno de los rasgos estructurales más notables de la zona de estudio, tiene un rumbo general de N31ºW con el bloque de techo hacia el noreste y una extensión aproximada de 24 km. Se ha caracterizado como una falla de tijera, con un salto estimado de 1720 m hacia el sur, notable en las cercanías del poblado de Huayacocotla, Ver., y de 1400 m en las cercanías del poblado de Zilacatipán, Ver. (Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991). Esta falla se presenta como el límite entre la Formación Huayacocotla y las formaciones Xaltipa, Pimienta, San Andrés y el Grupo Tamaulipas. A esta falla se asocian otro par de fallas, la primera en las cercanías del poblado de Tenango, Ver. con una orientación noreste de aproximadamente 1 km de extensión con bloque de techo al noroeste; la segunda parte desde el Río Chiquito, siguiendo la orientación del tributario La Colmena con rumbo hacia el noroeste, tiene una extensión de aproximadamente 2 km y bloque de techo hacia el noreste.

Falla Huichohuaya

La Falla Huichohuaya se extiende en la parte noroccidental del área de estudio y tiene un rumbo general N12ºW con bloque de techo hacia el noreste; tiene una extensión de aproximadamente 13 km. Se ha reportado un salto de 1500 m hacia su parte norte y hacia el sur de 1180 m (Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991). La Falla Huichohuaya yuxtapone a la Formación Tuzancoa con las formaciones Huayacocotla, Xaltipa, San Andrés y Pimienta, entre los poblados de Huichohuaya y Jalapa, Hgo. y sobre el lecho del Río Chichiquila. La falla pone en contacto estructural a las formaciones Huayacocotla y Xaltipa en las cercanías del poblado Mimiaguaco, Hgo., sobre el arroyo El Jonote (ver Mapa Geológico anexo).

Sinclinal San Miguel Lerdo

Esta estructura se extiende entre los anticlinales Texcatepec e Ixtatetla y paralela a los mismos. Su orientación general es N28ºW y tiene una longitud de 6.3 km y un ancho de 2.5 km. En esta estructura afloran las rocas de las formaciones Xaltipa y San Andrés, Pimienta y el Grupo Tamaulipas.

CAPÍTULO 3

ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN XALTIPA

3.1 DEFINICIÓN

Hernández-Bernal y Hernández-Treviño (1991) en su tesis de licenciatura, denominaron como Formación Xaltipa a la secuencia de capas rojas que afloran en la estructura conocida como el Anticlinorio de Huayacocotla; en dicho trabajo consideraron a esas rocas como de edad Pre-Tithoniano Superior debido a sus relaciones estratigráficas. Cuando fue propuesta esta formación se reconoció que sobreyacía discordantemente a la formación triásica Huizachal de Carrillo-Bravo (1961) y subyacía transicionalmente a la Formación San Andrés (Pre-Tithoniano; Cantú-Chapa, 1971). La Formación Xaltipa fue descrita como brechas y conglomerados masivos de clastos de arenisca, conglomerado y limolitas, provenientes de la considerada Formación Huizachal, hacia la base, y areniscas y conglomerados de gravas subangulares de cuarzo en una matriz calcárea, hacia la cima; en general estas litologías se presentan en tonos rojizos y verdes. Cantú-Chapa (1971) reconoció esta unidad y la describió en Pie de la Cuesta, Ver., como sedimentos de origen continental en contacto discordante con la Formación San Andrés, proponiendo su edad como Pre-Tithoniano, sin embargo no le dio carácter litoestratigráfico formal.

3.2 DISTRIBUCIÓN

La Formación Xaltipa aflora en el norte del área de estudio, en las cercanías de los poblados Conquextla, Ver. y Olonteco, Hgo., sobre el lecho del Río Garcés. Hacia el noroeste en los lechos de los ríos Chichiquila y Mimiaguaco cerca de los poblados de Xoluapa, Hgo. y Xaltipa, Ver., de donde toma su nombre. Hacia el sureste se encuentra

expuesta en el lecho del Río Chiquito, desde la confluencia del Río Toluca y el afluente La Colmena. Además se encuentra aflorando en la terracería entre los poblados de Tenango, Ver. y El Bopo, Ver. (ver Mapa Geológico anexo).

3.3 Localidad tipo

La localidad tipo propuesta informalmente por Hernández-Bernal y Hernández-Treviño (1991), se encuentra en los cortes de la terracería hacia Texcatepec, Ver., antes del poblado El Tomate, Ver. En este trabajo se visitó dicho lugar y se considera que las rocas expuestas no tienen la calidad vista en otras localidades de la Formación Xaltipa, por esta razón se propone como localidad tipo a los afloramientos expuestos en el lecho del Río Chichiquila entre los poblados de Xoluapa, Hgo. y Xaltipa, Ver. hacia el noroeste de Zilacatipán, Ver.

3.4 Descripción litológica y espesores

La Formación Xaltipa consiste, hacia la base, de areniscas con lentes de conglomerado y hacia la cima, de brechas y conglomerados de tonos rojizos y verdes. Más a detalle, la parte basal consta de subarcosas y sublitarenitas de grano medio a grueso subangular, en estratos granodecrecientes que varían de 0.40 a 1.5 m de espesor y que muestran estratificación cruzada planar. En ocasiones, se presentan algunas gravas, intraclastos de lutita rojiza (2.3 a 20 cm) y nódulos subesféricos de arena entre 1.5 y 5 cm de diámetro (Figura 3.1). En la unidad se reconocen lentes conglomeráticos que tienen como máximo 1.1 m de espesor y no más de 1 m de ancho, en los cuales la composición de los clastos, en orden de abundancia, es: subarcosas (máximo 7 cm), líticos subangulares de origen ígneo (5 cm en promedio) y cuarzo lechoso bien redondeado (1-8 cm); estos se encuentran embebidos en una matriz de arenas medias a gruesas cuya composición principal es de cuarzo y feldespato (Figura 3.2). Puede también presentarse como conglomerados soportados por matriz con clastos similares a los descritos anteriormente. También presenta, con menor

frecuencia, estratos bien definidos de limolitas rojizas, de 0.3 a 1.1 m de espesor y areniscas de grano fino con laminación paralela en estratos tabulares.

Figura 3.1 *Fotografía donde se aprecia claramente la estratificación cruzada y la disposición de los intraclastos de lutita rojiza, de tamaño variado. Hacia la base se observa uno de los lentes de conglomerado; los clastos grisáceos corresponden a subarcosas y los blancuzcos a gneis. Afloramiento en el lecho del Río Chichiquila, en las cercanías del poblado de Xoluapa, Hgo. Corresponde al nivel estratigráfico 24 metros en el Segmento A de la columna estratigráfica (Capítulo 4). Dimensión de la navaja 9 cm.*

Hacia la cima, está conformada por brechas soportadas por clastos, burdamente estratificadas (4 m en promedio); los clastos y bloques corresponden a subarcosas y wackas arcósicas angulares de grano fino que presentan estratificación cruzada y que varían de 11 a 34 cm; clastos de subarcosas y arcosas angulares y subangulares de 9 a 45 cm y algunos clastos de conglomerado, los cuales se encuentran embebidos en una matriz de arena (Figura 3.3). Tiene un espesor que se estima de 1,500 m; sin embargo, hacia la parte sur, cercano al poblado El Bopo, Ver., se observa un adelgazamiento notable, de unos 110 m de espesor. En este trabajo se midió una columna estratigráfica

de 210 metros en dos segmentos de 100 (A) y 110 m (B), los cuales se describen a detalle en el Capítulo 4 referente a facies.

Figura 3.2 *Lente de conglomerado intercalado con areniscas donde se aprecia la variedad litológica, clasificación moderada, forma y redondeamiento de los clastos; los grisáceos corresponden a subarcosas y los blancos a fragmentos de roca metamórfica. Afloramiento en el lecho del Río Chichiquila, en las cercanías del poblado de Xoluapa, Hgo. Corresponde al nivel estratigráfico 23 metros en el Segmento A de la columna estratigráfica (Capítulo 4). Dimensión de la navaja 9 cm.*

Figura 3.3 *Brecha perteneciente a la cima de la Formación Xaltipa. Se aprecian bloques angulosos de subarcosas que presentan clara estratificación cruzada, embebidos en una matriz de arena. Afloramiento sobre el lecho del Río Chichiquila cerca de la confluencia con el Río Mimiaguaco. Corresponde al nivel estratigráfico 109 metros en el Segmento B de la columna estratigráfica (Capítulo 4). Dimensión de la navaja 9 cm.*

3.5 Relaciones estratigráficas y edad

La Formación Xaltipa descansa discordantemente sobre la Formación Huayacocotla del Hettangiano-Pliensbachiano (Ochoa-Camarillo, 1999). Este contacto se observó en la terracería de Zilacatipán hacia Tenango, Ver. y en las cercanías del poblado El Bopo, Ver., como una falla normal, la cual se reconoció como la Falla Zilacatipán y fallas asociadas (Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991). Sobre la Formación Xaltipa yace concordante y transicionalmente la Formación San Andrés, como se observó en las cercanías del poblado Xaltipa, Ver., sobre el lecho del Río Chichiquila y en las cercanías del poblado Chinancáhual, Hgo., sobre la terracería hacia Olonteco, Hgo. (Figura 3.4).

Figura 3.4. *Contacto transicional entre las formaciones Xaltipa y San Andrés (línea punteada). Afloramiento sobre el lecho del Río Chichiquila cerca de la confluencia con el Río Mimiaguaco. Dimensión del martillo 40.5 cm.*

En la zona se observó un afloramiento pequeño del basamento regional reconocido como el Gneis Huiznopala del Precámbrico (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1997), a lo largo de 350 m sobre el lecho del Río Chichiquila donde se observó el contacto con la Formación Xaltipa, el cual se identificó de dos tipos: el contacto occidental es discordante y el oriental se presenta como una falla normal de crecimiento (N60ºW). El contacto con el Paleozoico, representado por la Formación Tuzancoa (Pérmico; Ochoa-Camarillo, 1996), es la Falla Huichohuaya (Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991) entre los poblados Huichohuaya y Jalapa, Hgo.

Gracias a la relación espacio-temporal de la Formación Xaltipa con las formaciones Huayacocotla y San Andrés, se infiere que su edad probable es Jurásico Superior (Kimmeridgiano). No se encontró contenido fósil que refute o confirme esta edad.

3.6 CORRELACIÓN

La Formación Xaltipa puede correlacionarse tentativamente con la Formación Todos Santos (Kimmeridgiano) (Gutiérrez-Galicia, 1984) hacia la parte meridional y occidental de la cuenca Chiapas-Tabasco-Campeche; y con la Formación La Joya (Oxfordiano) (Carrillo-Bravo, 1961) en el Anticlinorio de Huizachal-Peregrina.

CAPÍTULO 4

FACIES Y ANÁLISIS DE PROCEDENCIA DE LA FORMACIÓN XALTIPA

4.1 ANÁLISIS DE FACIES

Sobre el lecho del Río Chichiquila, entre los poblados de Xoluapa, Hgo. y Xaltipa, Ver., se midió una columna estratigráfica con un espesor total de 210 m, medido en dos segmentos (A y B) de 100 m y 15 m respectivamente; al segmento B se le agregaron 95 m de espesor estimado (Figuras 4.1 a 4.5). La medición se inició en los estratos más viejos expuestos en el lecho del río. Además se realizó la caracterización de facies en afloramiento entre los poblados de El Bopo y Tzimentey, Ver., (ver Mapa Geológico anexo); como resultado del trabajo de campo se identificaron nueve facies sedimentarias (Tabla 4.1), basadas en la clasificación de Miall (2006), cinco asociaciones de facies y dos ambientes sedimentarios, para el depósito de la Formación Xaltipa, los cuales se describen a continuación.

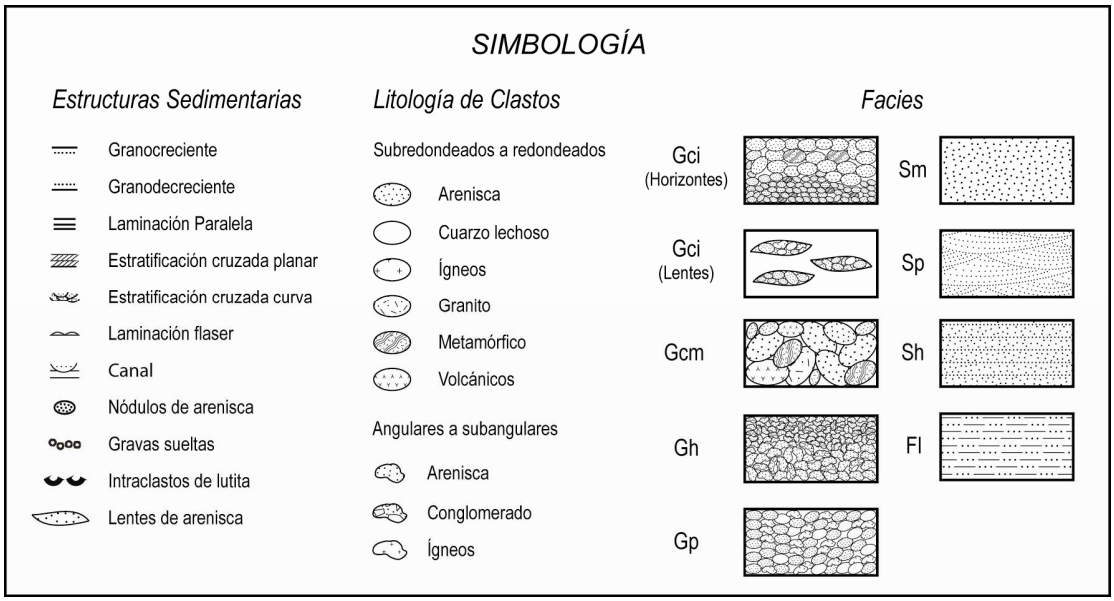


Figura 4.1 *Simbología de la columna estratigráfica.*

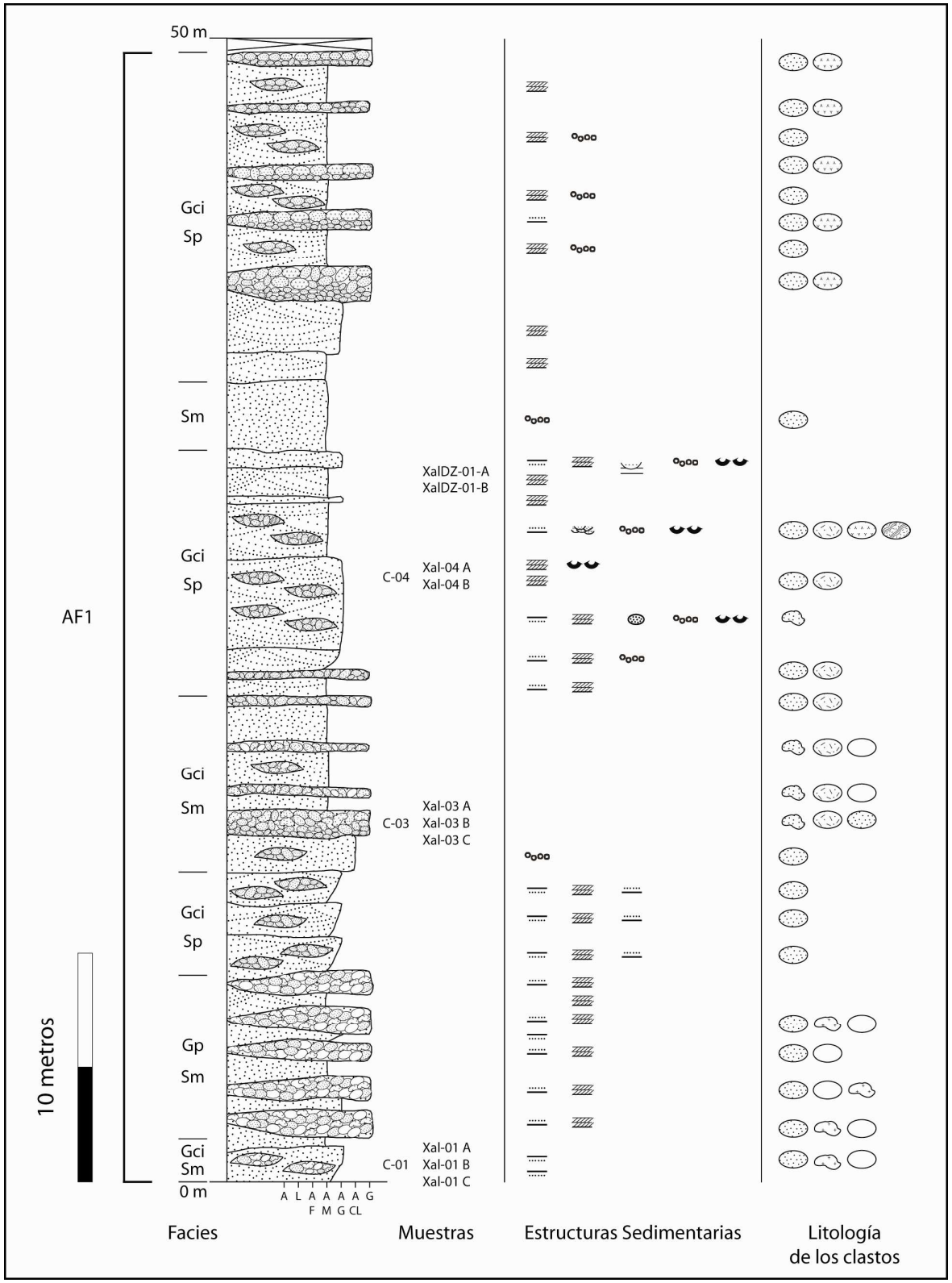


Figura 4.2 *Segmento A de la columna estratigráfica. De 0 a 50 m.*

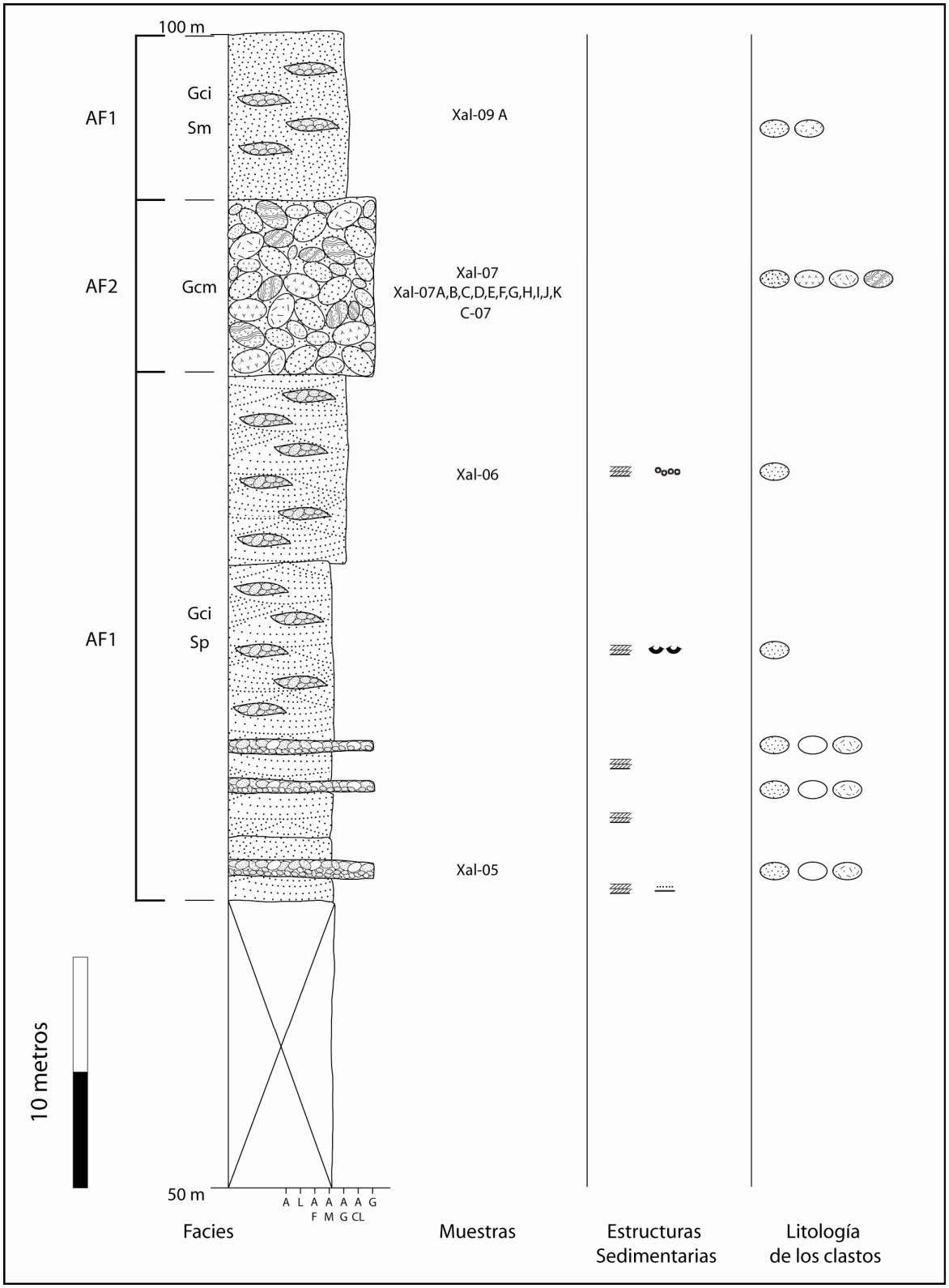


Figura 4.3 *Segmento A de la columna estratigráfica. De 50 a 100 m.*

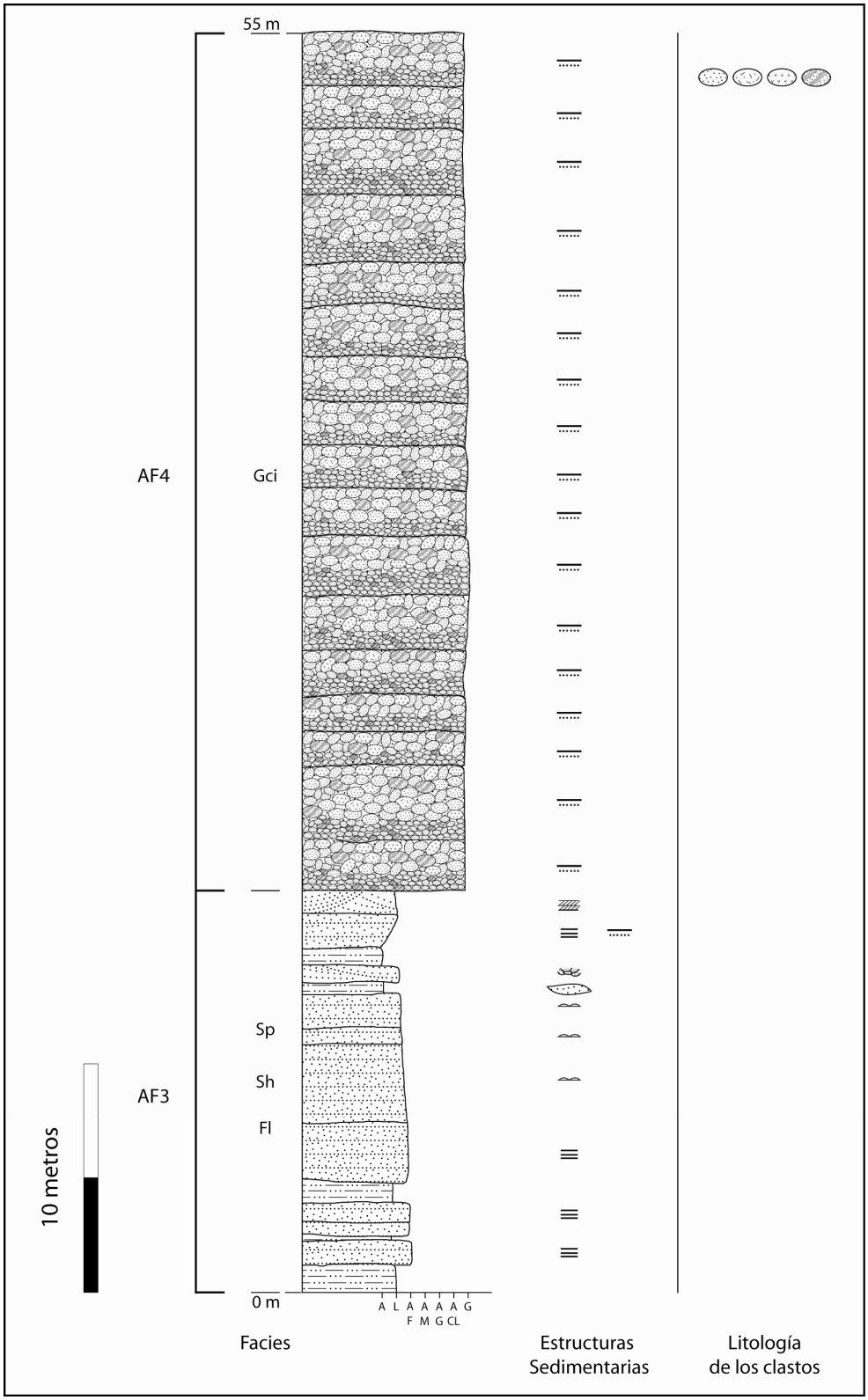


Figura 4.4 *Segmento B de la columna estratigráfica. De 0 a 55 m.*

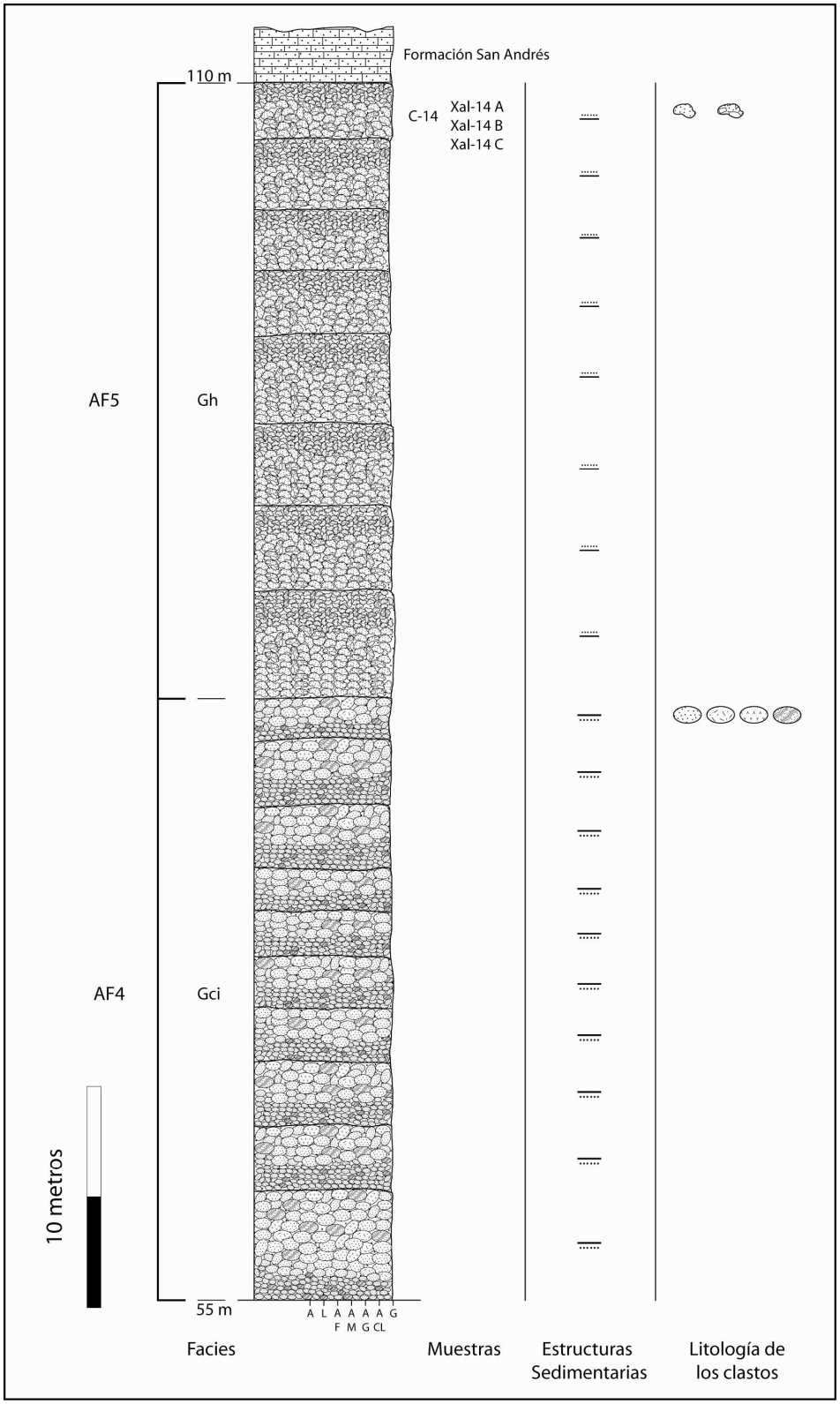


Figura 4.5 *Segmento B de la columna estratigráfica. De 55 a 110 m.*

4.1.1 Facies Sedimentarias

Facies Gmm

La facies Gmm está constituida por brechas masivas, matriz soportadas, con matriz de arenas finas a limos conformados principalmente de cuarzo. Las gravas constan principalmente de clastos de arenisca rojiza y verdosa, subangular a angular de máximo 35 cm, prismáticas, y de cuarzo redondeado de máximo 5 mm (Figura 4.6). Esta facies se reconoció sobre la terracería entre Tzimentey y El Bopo, Ver. (ver Mapa Geológico anexo).

Figura 4.6 *Conglomerados de la facies Gmm en la Formación Xaltipa. Se observa claramente la forma angular de los clastos ígneos y de arenisca, soportados por la matriz de arenas. Terracería entre los poblados Tzimentey y El Bopo, Ver. Dimensión del martillo 40.5 cm.*

Facies Gci

La facies Gci forma de lentes y horizontes delgados de conglomerado soportado por clastos. Los lentes van de 0.21 hasta 1.3 m de espesor y hasta 2 m de ancho, y en

ocasiones son granocrecientes. Los horizontes de conglomerado masivo, burdamente estratificados tienen un espesor máximo de 1.10 m y mínimo de 10 cm. En orden de abundancia, los clastos están formados por: arenisca de grano medio de subredondeada a redondeada, con tamaño entre 0.5 a 12 cm, de subprismoidal a esférica, granodecreciente; arenisca rojiza de subangular a subredondeada, con tamaño variable entre 2.5 y 21 cm, esencialmente subprismoidales; granito subredondeado a redondeado con tamaño entre 2.4 a 12 cm, subprismoidales; volcánicos (andesitas) subredondeados a redondeados de 1 a 8 cm de tamaño, esféricos; cuarzo lechoso de origen metamórfico, redondeado, de 1 a 7 cm, y ligeramente subprismoidal; y arenisca de máximo 2 cm, subprismoidal, esta última escasa. La matriz es de arenas medias a gruesas, conformada principalmente de cuarzo (Figura 4.7). Esta facies se registró a lo largo de la medición de la columna estratigráfica, en ambos segmentos (Figuras 4.2 a 4.5).

Figura 4.7 *Conglomerados de la facies Gci intercalados con la facies Sp. Es notable la variación de tamaño y composición en las gravas y su redondez. En la fracción arenosa es clara la estratificación cruzada y hacia la parte superior de la fotografía se aparecen algunos intraclastos de lutita rojiza. Afloramiento en el lecho del Río Chichiquila, en las cercanías del poblado de Xoluapa, Hgo. Corresponde al nivel estratigráfico 23 metros del Segmento A de la columna estratigráfica. Dimensión del martillo 40.5 cm.*

FACIES Gcm

La facies Gcm se caracterizó como conglomerado masivo, soportado por clastos, con una matriz de arenisca muy gruesa. Los clastos están bien redondeados de 2 a 35 cm, subprismoidales, y son de areniscas verdes y rojizas; y volcánicos; ígneos oscuros, redondeados, de 3.5 a 14 cm, esféricos; arenisca subangular a subredondeada de 18 cm, subprismoidal; y metamórficos poco abundantes de 20 cm máximo (Figura 4.8). Esta facies se registró en el nivel estratigráfico de 84 a 93 metros del Segmento A de la columna estratigráfica (Figura 4.3).

Figura 4.8 *Facies Gcm de conglomerados masivos soportados por clastos de tamaños variables de redondeados a bien redondeados, alargados. En el centro a la derecha del martillo, se observa un clasto redondeado de gneis, los clastos grisáceos más pequeños corresponden a areniscas. Afloramiento sobre el lecho del Río Chichiquila, en las cercanías del poblado Chiyahual, Ver. Corresponde al nivel estratigráfico 91 metros del Segmento A de la columna estratigráfica. Dimensión del martillo 40.5 cm.*

FACIES Gh

La cima de la Formación Xaltipa está representada por brechas correspondientes a la Facies Gh. Esta facies es clasto-soportada, y las gravas son de arenisca angular a

subangular con estratificación cruzada de 9 hasta 45 cm de tamaño, subprismoidal, arenisca de grano fino angular, de 11 a 34 cm de tamaño y algunos clastos de conglomerado. En general, se encuentra burdamente estratificada con espesores promedio de 4 m. Presenta laminación burda paralela a la estratificación y es granodecreciente (Figura 4.9). Esta facies se encuentra en la cima del Segmento B de la columna estratigráfica, desde el nivel 83 a los 110 metros y sobre la terracería, entre los poblados de Tzimentey y El Bopo, Ver. (Figura 4.5).

Figura 4.9 *Cima de la Formación Xaltipa representado por la facies Gh de gravas angulosas de areniscas dispuestas en estratos gruesos (4 m) con granulometría granodecreciente. Afloramiento sobre el lecho del Río Chichiquila, en las cercanías del poblado de Xaltipa, Ver. Corresponde al nivel estratigráfico 108 metros del Segmento B de la columna estratigráfica. Dimensión del martillo 40.5 cm.*

FACIES Gp

La facies Gp representa a los lentes de conglomerado con burda estratificación cruzada y granodecrecientes, los cuales van de 1 a 1.5 m de espesor y 60 cm de ancho. Los clastos, son de areniscas, cuarzo lechoso y algunos de origen ígneo, con las características anteriormente descritas, variando únicamente la abundancia del cuarzo

y los de origen ígneo. La matriz es de arenas gruesas, conformada principalmente de cuarzo. Esta facies se encuentra hacia la base del Segmento A de la columna estratigráfica (Figura 4.2).

FACIES Sm

La facies Sm está representada por areniscas grisáceas masivas de grano medio a grueso de redondeado a bien redondeado y bien clasificado, en ocasiones presenta marcas de carga, forma estratos discontinuos no paralelos, cuyo espesor varía de 0.40 a 1.6 m. Su composición es esencialmente cuarcífera. En general esta facies no presenta estratificación definida. Contiene algunas gravas aisladas de arenisca bien redondeada y subangular, su tamaño promedio es de 3 cm, subesféricas (Figura 4.10). Esta facies se encuentra en el Segmento A de la columna estratigráfica (Figuras 4.2 y 4.3) y sobre la terracería entre Tzimentey y El Bopo, Ver.

Figura 4.10 *Marcas de carga en el contacto entre las facies Sm de areniscas rojizas y la Gmm de gravas. Terracería entre los poblados de Tzimentey y El Bopo, Ver. Dimensión de la navaja 9 cm.*

FACIES SP

La facies Sp se caracterizan como areniscas grisáceas y rojizas, de grano medio a grueso, con granos bien redondeados y bien clasificados; se observa una intercalación de estratos con gradación normal e inversa, no paralelos entre sí y con espesor promedio de 1.5 m, presenta algunos clastos erráticos de arenisca rojiza subredondeadas a bien redondeadas, de máximo 7 cm, subesféricas. En esta facies predomina la estratificación cruzada planar, pero en ocasiones puede encontrarse estratificación cruzada curva. En las areniscas se observan intraclastos de lutita rojiza prismáticos y angulares que varían de 2.3 a 20 cm y algunos se encuentran orientados; nódulos subesféricos de arenisca de 1.5 a 4 cm de diámetro (Figuras 4.7 y 4.11). Esta facies se encuentra en el Segmento A de la columna estratigráfica y hacia la base del Segmento B (Figuras 4.2 a 4.4).

Figura 4.11 *Facies Sp, en la fotografía se observa el cambio de arenas gruesas a medias. Se observa estratificación cruzada, intraclastos de lutita rojiza, algunas gravas sueltas de origen ígneo y hacia la parte superior la formación de algunos nódulos subesféricos de arena. Afloramiento sobre el lecho del Río Chichiquila, cerca del poblado de Xoluapa, Hgo. Corresponde al nivel estratigráfico 21 metros del Segmento A de la columna estratigráfica. Dimensión de la navaja 9 cm.*

FACIES Sh

Esta facies se puede encontrar como areniscas rojizas de grano fino que en ocasiones presentan laminación flaser y laminación paralela. Son en ocasiones granocrecientes. Los estratos son tabulares y continuos con espesores variables entre 0.3 y 2.90 m, cuyas superficies de estratificación son planas. Esta facies se encuentra en la base del Segmento B de la columna estratigráfica (Figura 4.4).

FACIES Fl

La facies Fl está compuesta por limolitas rojizas en estratos tabulares y continuos con espesores de 0.3 a 1.10 m, cuyas superficies de estratificación son planas. Hay algunos lentes de arenisca de 3 cm de ancho hacia la base de los estratos. Esta facies se encuentra en la base del Segmento B de la columna estratigráfica (Figura 4.4).

FACIES	ASOCIACIONES DE FACIES	TAMAÑO DE GRANO	ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS Y OBSERVACIONES	INTERPRETACIÓN MIALL (2006).
Gmm	AF5	Brecha de gravas	Gravas de arenisca, cuarzo.	Flujo plástico de detritos (viscoso, alta densidad).
Gci	AF1 AF2	Conglomerado de gravas	Granocrecientes. Clastos de arenisca, granito, volcánicos y cuarzo.	Flujo de detritos rico en clastos (alta densidad) o flujo de detritos pseudoplásico (viscoso, baja densidad).
Gcm	AF2	Conglomerado de gravas	Clastos de arenisca y vólcanicos.	Flujo de detritos seudo plásticos (carga de fondo inerte, flujo turbulento).
Gh	AF5	Brecha de gravas	Estratificación cruzada, laminación burda perpendicular a la estratificación, granodecreciente. Estratos discontinuos de 4 m en promedio. Clastos de arenisca y conglomerado.	Barras longitudinales, depósitos por rezago, depósitos clasificados.
Gp	AF1	Conglomerado de gravas	Burda estratificación cruzada, granodecreciente. Lentes de 1 a 1.5 m de espesor y 60 cm de ancho. Clastos de arenisca, volcánico y cuarzo.	Barras transversales, crecimientos deltaicos de antiguas barras remanentes.
Sm	AF1 AF5	Areniscas de grano medio a grueso	Granocreciente, masiva. Estratos discontinuos no paralelos, cuyo espesor varía de 0.40 a 1.6 m.	Depósitos de flujo gravitatorio.
Sp	AF1 AF3	Areniscas de grano medio a grueso	Estratificación cruzada planar, estratificación cruzada curva, intraclastos de lutita rojiza, nódulos de arena, canales, granocreciente. Estratos tabulares y continuos con espesores variables entre 0.3 y 2.90 m.	Lechos en forma linguoidal (dunas 2-D) y transversa.
Sh	AF3	Areniscas de grano fino	Laminación paralela y flaser. Estratos tabulares y continuos, con espesores de 0.3 a 2.9 m.	Flujo de capas planas (flujo crítico).
Fl	AF3	Limo	Lentes de arenisca, laminación. Estratos bien definidos con espesores de 0.3 a 1.10 m.	Planicie de inundación, canales abandonados.

Tabla 4.1 *Características de las facies reconocidas en la Formación Xaltipa de acuerdo a Miall (2006).*

4.1.2 Asociaciones de facies y elementos arquitectónicos

Dado el carácter clástico de la Formación Xaltipa, a las facies reconocidas, a la disposición de las litologías que las conforman, sus texturas y estructuras sedimentarias, se interpreta su depósito como de tipo aluvial y fluvial, cuyos elementos arquitectónicos se describen a continuación:

Asociación de facies AF1

Esta primera asociación de facies está compuesta por las facies Gci, Gp, Sm y Sp, y tiene un espesor aproximado de 94 m en el Segmento A y se encuentra hacia la base y la cima de la columna estratigráfica (Figuras 4.2 y 4.3). Entre sus características principales encontramos la intercalación entre las facies arenosas y conglomeráticas, las cuales se repiten por pares de facies, Gci-Sp, Gci-Sm y Gp-Sm, siendo el primero el que presenta los mayores espesores y el último el más escaso. El porcentaje de conglomerados contra areniscas es de 42%-58%. AF1 se encuentra intercalada con AF2 (Figura 4.7). Esta asociación se ha interpretado como depósitos de relleno de canales (elemento arquitectónico CH) debido a la diversidad de facies que presenta y las características de cada una de ellas. Las facies presentes indican variaciones en el régimen de flujo, que puede presentarse como flujo de detritos (Gci), barras transversales (Gp), depósitos de flujo gravitatorio (Sm) y lechos en forma linguoidal (Sp). No se observó la geometría de este elemento, por lo cual se infiere que el ancho de los canales era considerable, pero sin complejos de canales menores. Este elemento suele asociarse con barras y estratos de gravas (elemento arquitectónico GB). Dentro de este elemento pueden encontrarse elementos arquitectónicos asociados a acreciones laterales (elemento arquitectónico LA), que se caracterizan por la presencia de gran variedad de facies con estratificación cruzada y laminación (Sp, Gci, Gp) (Miall, 2006).

Asociación de facies AF2

La asociación AF2 presenta la facies Gcm exclusivamente, tiene un espesor aproximado de 6 m en el Segmento A, donde se observa su intercalación con AF1. Esta

facies está conformada exclusivamente por conglomerados soportados por clastos (Figura 4.7), que puede interpretarse como el resultado de la formación de barras de gravas (elemento arquitectónico GB), ocurrido en un régimen de flujo de detritos turbulentos con baja concentración de sedimentos finos (arenas); esto se infiere por la ausencia de estratificación y el tamaño variado de sus clastos bien redondeados (Miall, 2006). Por no contar con un arreglo de sus componentes se infiere que la barra tendería a ser de tipo longitudinal o diagonal (Hein y Walker, 1977); estos elementos se ubican con frecuencia en la confluencia de corrientes fluviales (Miall, 2006).

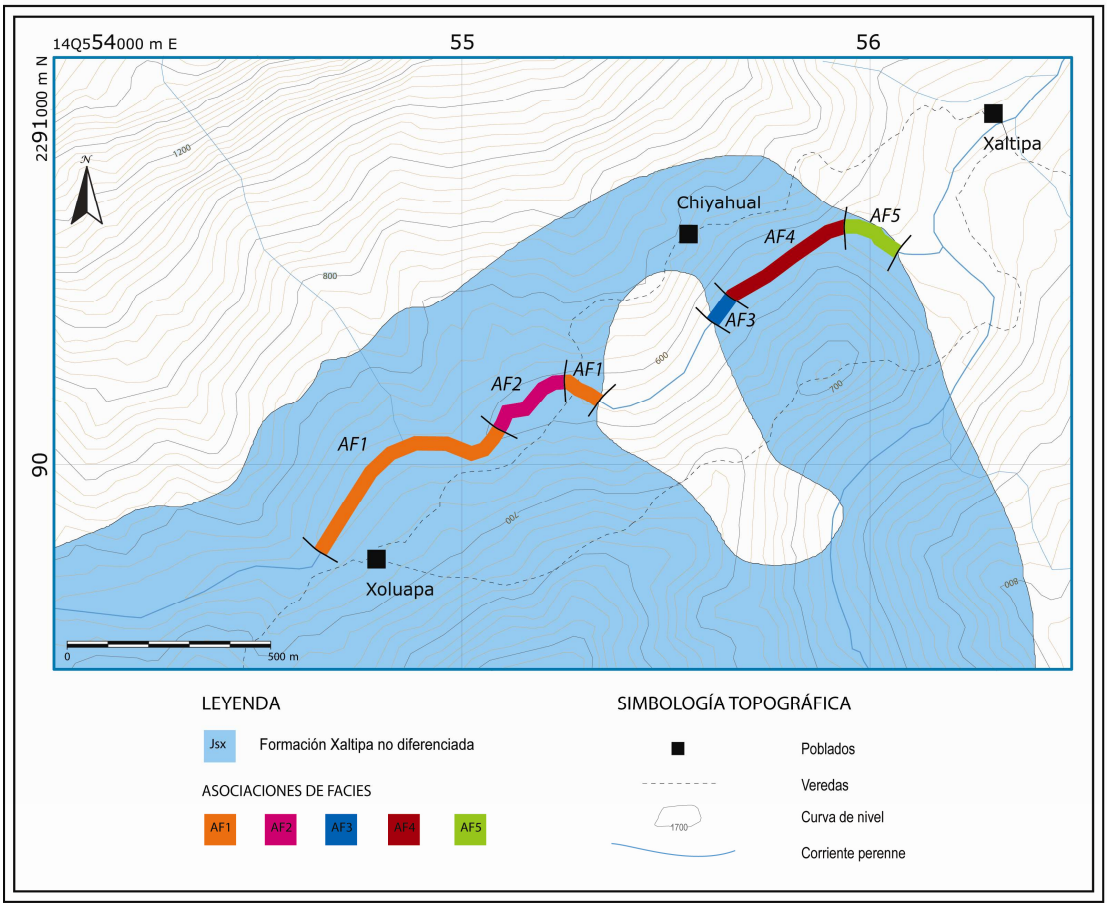


Figura 4.12 *Distribución de las asociaciones de facies AFI, AF2, AF3, AF4 y AF5 en los Segmentos A y B (lecho del Río Chichiquila).*

ASOCIACIÓN DE FACIES AF3

AF3 es una asociación conformada por las facies Sp, Sh y Fl, su espesor en el Segmento B de la columna estratigráfica es de 17 m y se encuentran hacia la base del

mismo (Figura 4.4). La facies Fl se encuentra en la parte basal de la asociación como estratos delgados intercalados con la facies Sh y hacia la parte superior las tres facies se intercalan entre sí. Lo más notable de esta asociación son las laminaciones paralelas. El porcentaje de arenas contra limos es de 80%-20%. Subyace a AF4 (Figura 4.7). Esta asociación se interpreta como areniscas laminadas (elemento arquitectónico LS) producto de flujos rápidos de arena, depositados bajo condiciones de flujo laminar, lo cual daría lugar a las facies de areniscas con laminación horizontal (Sh) en las que la orientación de la alineación es paralela al flujo; pueden relacionarse con facies de areniscas con estratificación cruzada (Sp) que estarían hacia la cima de la columna indicando una disminución en las condiciones del flujo (Miall, 2006). Al encontrar hacia la base de AF3 litologías finas (Fl), puede indicar que el régimen de flujo aumentó posteriormente para dar lugar al depósito de las areniscas.

Asociación de facies AF4

La asociación AF4 se compone exclusivamente de la facies Gci y se encuentra representada en el Segmento B con un espesor de 65 m (Figuras 4.4 y 4.5). Se conforma exclusivamente de conglomerados soportados por clastos, granocrecientes; sobreyace a AF3 y subyace a AF5 (Figura 4.7). La AF4 compuesta por sólo un tipo de facies, es interpretada como estratos de gravas (elemento arquitectónico GB) el cual suele formarse por flujo de detritos (Gci) con bajas concentraciones de sedimentos. Los clastos depositados por corrientes de tracción presentan una fábrica regular y burda estratificación (Miall, 2006).

Asociación de facies AF5

Esta asociación tiene ocurrencia en dos regiones del área de estudio y será descrita por separado para mejor claridad. En el Segmento B de la columna estratigráfica (Figura 4.5), tiene 27 m de espesor y representa la cima de la Formación Xaltipa, puesto que se encuentra en contacto con la Formación San Andrés. Está compuesta únicamente por la facies Gh en estratos gruesos (4 m) de brechas; sobreyace a la AF4. En la terracería entre los poblados de Tzimentey y El Bopo, Ver., representa también la cima de la Formación Xaltipa y está compuesta de las facies Gmm, Gh y Sm

con un espesor estimado de 110 m; no se observó estratificación en la zona, por lo cual, no se puede establecer un espesor preciso (Figura 4.13). La facies más frecuente es la Gmm, con una extensión aproximada de 618 m sobre la terracería, le sigue la Sm con 206 m y por último Gh con 183 m. En el registro de facies del sureste al noroeste Gmm y Sm se encuentran intercaladas para después terminar con Gh. El porcentaje de conglomerados contra areniscas es del 79.5%-20.5.

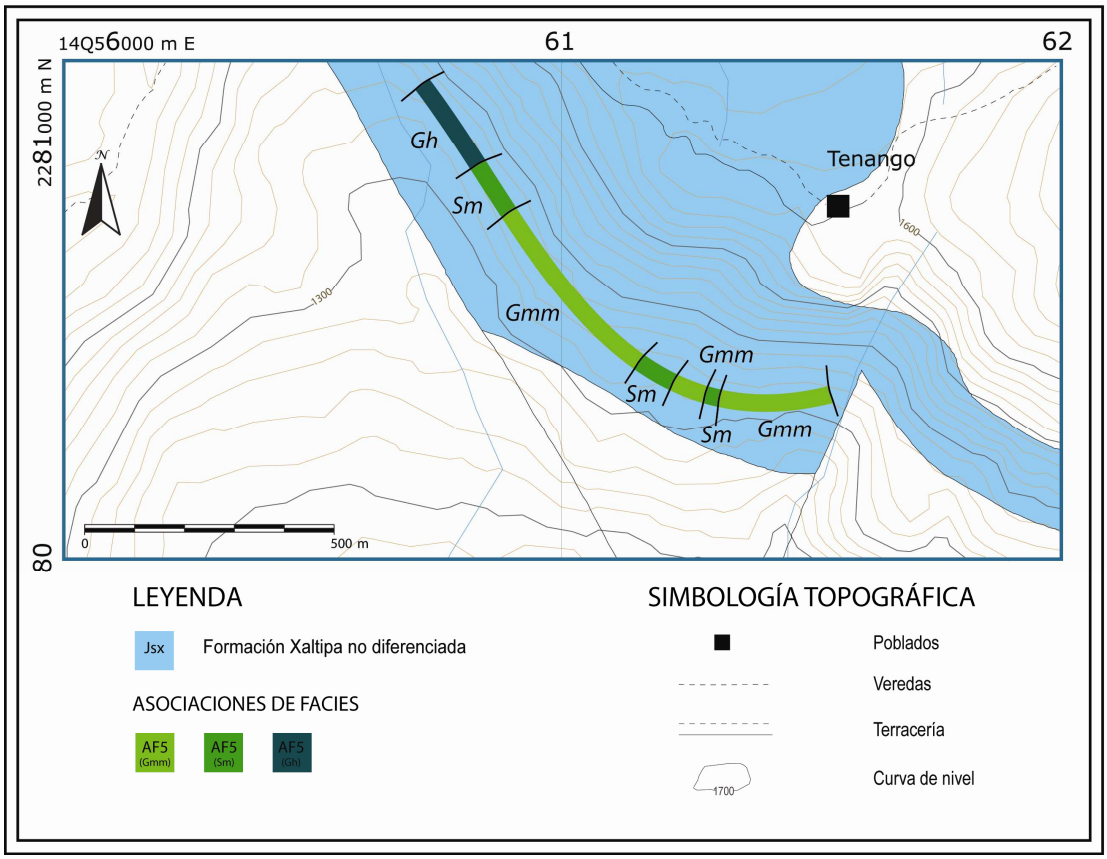


Figura 4.13 *Distribución de la asociación de la facies AF6 de acuerdo al análisis realizado en el corte de la terracería entre los poblados de Tzimentey y El Bopo, Ver.*

Esta asociación puede interpretarse como flujos de sedimentos por gravedad (elemento arquitectónico SG), que representan eventos de depósito catastróficos; suelen ser parte de depósitos fluviales en partes proximales de abanicos aluviales; estos ocurren cuando grandes masas de sedimentos son movilizados por acción de la licuefacción o en una superficie con pendiente, comúnmente ocurren bajo acción del agua, típicamente en época de lluvias. El flujo puede comenzar como un deslizamiento

de tierra y posteriormente continuar en una corriente fluvial, el movimiento cesa al llegar a una superficie con poca o nula pendiente y al perder el agua que actúa como lubricante. Como resultado, se tiene un depósito sin aparente orden y mal clasificado de brechas (Miall, 1992). Típicamente están intercalados con elementos GB. Usualmente los eventos de flujos ocupan canales erosionados previamente o rellenan la topografía irregular. Se ha descrito esta facies como este elemento por la angulosidad de sus clastos, y la poca presencia de estructuras sedimentarias. En el caso de los conglomerados con estratificación burda, esta indica que se puede dividir en flujos individuales que al perder energía generarían fricción "interna" entre los clastos y podrían dar lugar a la formación de laminaciones. La gradación inversa es común en este tipo de elementos. Las facies de arenas masivas (Sm) frecuentemente se asocian a elementos SG (Miall, 2006).

4.2 Análisis Petrográfico

Como parte de los estudios de procedencia llevados a cabo en esta investigación se realizó el análisis petrográfico de diez láminas delgadas (Apéndice Petrográfico). Las muestras seleccionadas se colectaron en afloramientos frescos, cuya ubicación estratigráfica es clara como se puede ver en las Figuras 4.2 a 4.5 y su tamaño de grano es de arena gruesa a media.

4.2.1 Formación Huayacocotla

Se analizó una muestra de arenisca (Xal-DZ-02) perteneciente a la Formación Huayacocotla a fin de servir como comparación al hacer inferencias de la fuente de aporte para la Formación Xaltipa; fue colectada en el Cerro Barro Colorado sobre la carretera 51 entre los poblados de Zilacatipán y Los Ocotes, Ver., (ver Mapa Geológico anexo).

DESCRIPCIÓN DE LAS ARENISCAS (Xal-DZ-02)

El tamaño de grano es de arena fina a media, su clasificación es moderada y se caracteriza por la ausencia de matriz, por lo cual, tiene una fábrica muy compacta y los contactos son tangenciales y cóncavo-convexos, aunque también se presentan suturas. Los granos son en su mayoría de subangulares a subredondeados de forma alargada. Su porosidad es muy baja, intergranular. Uno de los componentes de esta muestra es cuarzo de tipo monocristalino con extinción ondulante, subangular. Pueden encontrarse también algunos granos de tipo policristalino con extinción ondulante y contactos suturados, formando granos subangulares a subredondeados. El feldespato potásico tiene de 0.1 a 0.2 mm de diámetro, angular y alargado con alteraciones notables de arcillas, aunque puede encontrarse con poca alteración. Hay microclina angular, alargada (0.25 mm) con alteraciones y plagioclasas angulares con poca alteración (0.15 mm). Hay escasos fragmentos líticos de origen metamórfico. Como minerales accesorios se encuentran algunos opacos escasos y circones detríticos. Por su composición se clasificó esta muestra como una subarcosa (Figura 4.14) (Apéndice Petrográfico).

4.2.2 FORMACIÓN XALTIPA

Se analizaron tres muestras (Xal-06, Xal-DZ-01A, Xal-DZ-01B) procedentes de las areniscas de la Formación Xaltipa. Todas ellas ubicadas en el Segmento A de la columna estratigráfica, en la asociación de facies AF1, particularmente en la facies Sm (Figuras 4.2 y 4.3).

DESCRIPCIÓN DE LAS ARENISCAS (Xal-06, Xal-DZ-01A, Xal-DZ-01B)

El tamaño de grano en las muestras es de arena gruesa a media (0.25-1 mm). Su clasificación es de moderada a excelente, el porcentaje de matriz es bajo (5.8 %-7.6%); cuando esta se presenta, es fina y consiste principalmente de cuarzo detrítico. Los granos van de angulares a subredondeados, de forma alargada a discoidal en ocasiones irregulares. Los contactos son principalmente tangenciales y en ocasiones puntuales,

por lo cual, se presenta una fábrica compacta. La porosidad es baja, intergranular. Su composición es homogénea, siendo el cuarzo y el feldespato los minerales más abundantes, seguidos por los fragmentos líticos y escasos minerales accesorios. El cuarzo monocristalino se presenta de angular a subredondeado, con extinción ondulante; su granulometría es de arena gruesa a media y en general es el componente más importante en la muestra; su color de interferencia es de primer orden y con luz paralela incoloros. El cuarzo policristalino es subangular a redondeado de cristales suturados de extinción ondulante y de máximo 1 mm de tamaño. El feldespato potásico en general, es angular y alargado, aunque puede encontrarse subredondeado y discoidal, suele presentarse de ligera a intensamente alterado a arcillas y clorita. Las plagioclasas son en promedio los componentes más pequeños y son angulares, se presentan desde inalteradas y con alteración intensa. Los líticos corresponden a esquisto milonítico redondeado a subangular con tamaño promedio de 0.5 mm; volcánicos de composición máfica a intermedia, subredondeados a redondeados; granitos compuestos de feldespato y cuarzo, areniscas de grano fino subredondeadas, fragmentos de rocas metamórficas, posiblemente charnokitas. Como minerales accesorios predominan los opacos, algunos de ellos, posibles óxidos que se encuentran bordeando a los líticos y cristales de piroxeno alterándose a clorita. Hay calcita presente como relleno de fracturas. Las muestras fueron clasificadas como subarcosas (Xal-06, Xal-DZ-01A) y sublitarenitas (Xal-DZ-01B) (Figura 4.14) (Apéndice Petrográfico).

DESCRIPCIÓN DE LOS CLASTOS (Xal-01A, Xal-01B, Xal-07A, Xal-07i, Xal-14A, Xal-14B)

Se llevó a cabo el análisis petrográfico de seis muestras pertenecientes a clastos de la Formación Xaltipa; de las cuales, cinco (Xal-01A, Xal-01B, Xal-07i, Xal-14A, Xal-14B) corresponden a areniscas y una de ellas a un clasto de origen ígneo (Xal-07A). Dos de las muestras (Xal-01A, Xal-01B) se encuentran en la base del Segmento A de la columna estratigráfica (Figura 4.2), en la facies Gci correspondiente a AF1. Dos más (Xal-07A, Xal-07i) también se encuentran en el Segmento A (Figura 4.3), en la AF2, compuesta por la facies Gcm. Las dos restantes pertenecen a la brecha de la cima de la Formación Xaltipa, en la Segmento B, facies Gh de AF5 (Figura 4.5).

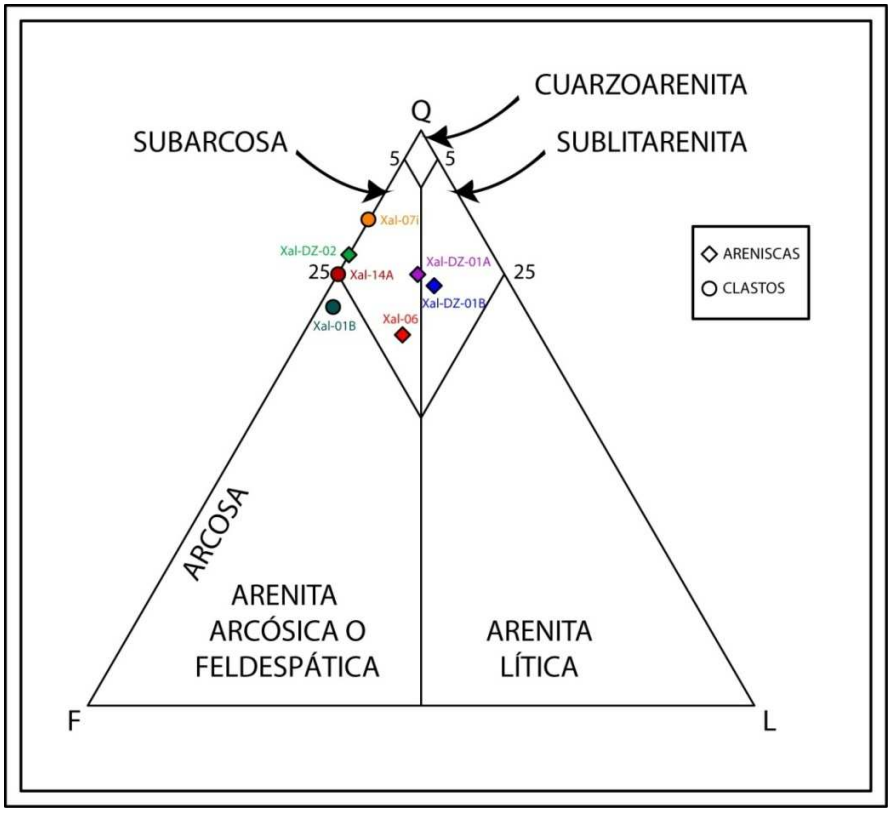


Figura 4.14 *Clasificación de areniscas texturalmente maduras (<15% de matriz) donde se ubican las muestras de las formaciones Xaltipa y Huayacocotla, de acuerdo a Dott, 1964 y Pettijohn et al., 1972.*

CLASTOS DE ARENISCAS

El tamaño de grano en las muestras es muy variable de 0.05 - 1 mm (arena fina a media), destacando la Xal-07i por sus granos mas finos (arena muy fina). La clasificación va de pobre (Xal-01A) a excelente (Xal-14A). Los granos varían de angulares a subredondeados de forma alargada y discoidal. Los contactos predominantes son los tangenciales y los puntuales para el caso de clasificación pobre. La matriz, cuando está presente es de tipo cuarzo-feldespática, del tamaño de limos. En un par de muestras se encontró la presencia de cementante calcáreo (Xal-14A, Xal-14B) y metamorfismo incipiente. Su porosidad es intergranular, baja. Su composición es muy homogénea, el cuarzo es el principal componente variando su porcentaje en las muestras entre 65% y 84%, este mineral se presenta en granos que varían de angulares a subredondeados, de 0.13 a 0.25 mm, principalmente con extinción ondulante, aunque pueden encontrarse algunos con extinción recta; algunos presentan inclusiones. El

cuarzo policristalino tiende a ser subangular y subredondeado, en ocasiones prismático o irregular, de extinción ondulante. Puede encontrarse dispuesto en forma de bandas de granos finos y gruesos intercaladas, donde los contactos tienden a ser tangenciales, el tamaño de los cristales varía de 0.05 a 0.5 mm (Xal-01B). Hay algunos cuarzos de textura pertítica de posible origen ígneo (granitos), subredondeados y angulares. El feldespato potásico se puede encontrar en dos modalidades, en ocasiones presentes ambas en una misma muestra (Xal-01B, Xal-14A), la primera de subangular a subredondeado poco alterado y el otro subangular muy alterado, alargado o discoidal. Las plagioclasas son escasas, varían de angulares a subredondeadas, con alteraciones. Los fragmentos de roca son de esquisto subangular a subredondeado, de máximo 0.25 mm. Los minerales accesorios son poco abundantes, y se trata de micas, opacos (posibles óxidos) y circones detríticos. Las muestras se clasificaron como arcosas (Xal-01B), subarcosas (Xal-07i, Xal-14A) y wackas arcósicas (Xal-01A, Xal-14B) (Figuras 4.14 y 4.15) (Apéndice Petrográfico).

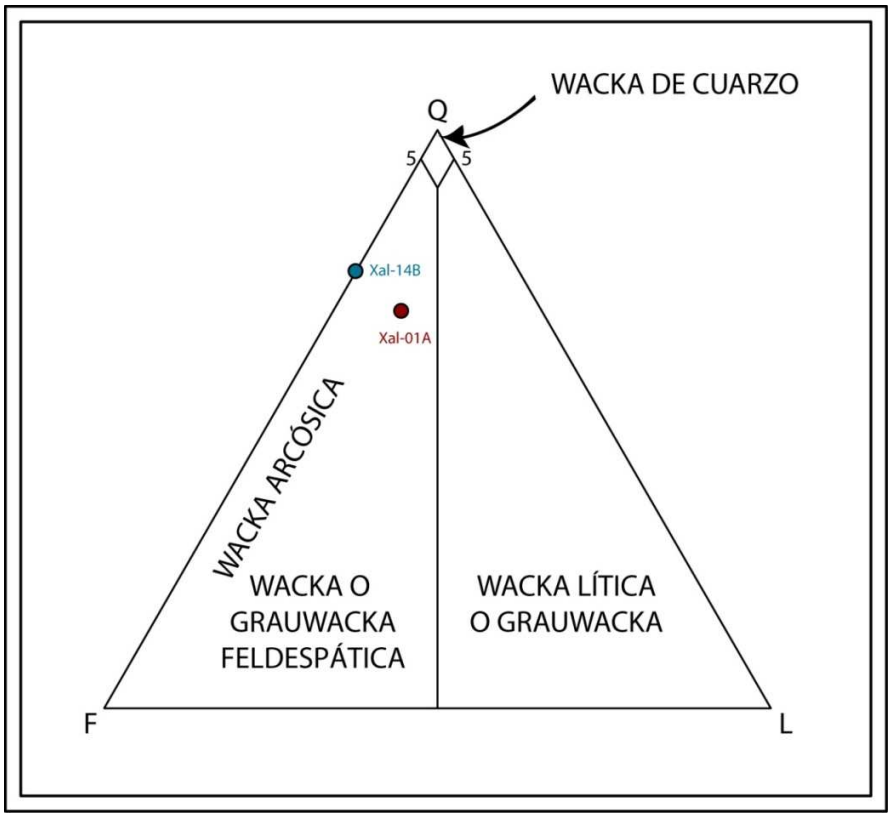


Figura 4.15 *Clasificación de areniscas texturalmente inmaduras (>15% de matriz) donde se ubican las muestras de la Formación Xaltipa, de acuerdo a Dott, 1964 y Pettijohn et al., 1972.*

CLASTOS ÍGNEOS

Se observan grandes fenocristales de feldespato sanidino y plagioclasa, dispersos en una matriz de microlitos de feldespato que, a su vez, yacen en material vítreo. Estos pequeños cristales forman remolinos alrededor de los fenocristales. Los remolinos indican que los fenocristales han sufrido un desplazamiento relativo (caída o ascenso) en la lava aún fluida. Esta textura se denomina traquítica. La muestra se clasificó como andesita (Xal-07A) (Apéndice Petrográfico).

4.3 ANÁLISIS MODAL

Se llevó a cabo el análisis modal de cinco láminas delgadas con el objetivo de conocer sus componentes y con base en ellos, asignar su procedencia por medio de diagramas ternarios (Dickinson, 1985), así como determinar la evolución de los mismos a lo largo del depósito de la Formación Xaltipa. En la selección de las muestras para el conteo de puntos, se consideró que tuvieran un tamaño de grano adecuado y buena clasificación, así como poca o nula alteración. Una de las muestras pertenece a la Formación Huayacocotla y la intención de su análisis fue para utilizarla como un parámetro de comparación con los clastos de la Formación Xaltipa. El método utilizado para el análisis modal fue el de Gazzi-Dickinson (Ingersoll *et al.*, 1984).

En el análisis modal de las láminas delgadas se contaron 500 puntos por cada una; sus componentes y porcentajes se muestran en la Tabla 4.2 y la Figura 4.16. Se contaron la misma cantidad de puntos en las láminas a pesar de su variación de tamaño (Xal-DZ-01A, Xal-DZ-01B corresponden a arena media a gruesa; Xal-06, Xal-07i y Xal-DZ-02, son de arena media a fina) ya que el método Gazzi-Dickinson se considera el más independiente del tamaño de grano.

El conteo de puntos permitió la clasificación precisa de las muestras en el diagrama ternario Q-F-L (basado en Dott, 1964 y Pettijohn *et al.*, 1972) (Figuras 4.14 y 4.15).

4.3.1 Areniscas de la Formación Huayacocotla

La muestra de la Formación Huayacocotla (Xal-DZ-02) corresponde a una arenisca de variedad subarcosa (Figura 4.14); se conforma principalmente de cuarzo (77%) del cual, el 92% del total corresponde al de tipo monocristalino. El feldespato potásico ocupa el 13% y las plagioclasas el 7.6%. Se reconoció la existencia de líticos de tipo metamórfico, aunque muy escasos (1%). Como minerales accesorios se tienen circones (0.6%), algunos opacos (0.6%) y fragmentos no identificados (0.2%).

4.3.2 Areniscas de la Formación Xaltipa

ARENISCAS

Se analizaron tres muestras de esta formación (Xal-06, Xal-DZ-01A, Xal-DZ-01B), en las cuales el componente más abundante es el cuarzo variando entre 16.2% y 35.6% en las muestras, del cual el porcentaje mayor corresponde a cuarzo monocristalino para la muestra Xal-06 (67% del total de cuarzo) y cuarzo policristalino para las muestras Xal-DZ-01A y Xal-DZ-01B (75% y 60% respectivamente), lo cual refleja un aumento en el cuarzo de tipo monocristalino en el depósito de la Formación Xaltipa, ya que, la muestra Xal-06 corresponde a un nivel más joven dentro de la columna estratigráfica que el de las muestras Xal-DZ-01A y Xal-DZ-01B. Los feldespatos totales de las muestras varían entre 8.6% y 16.2% siendo el feldespato potásico más abundante con respecto a las plagioclasas. Los fragmentos líticos identificados son exclusivamente metamórficos y su porcentaje máximo es de 13%. Como minerales accesorios se encuentran micas con un porcentaje máximo de 2.6%, algunos piroxenos alterándose a clorita (< 1%) y minerales opacos, en su mayoría óxidos con 2.6% y 3.8% en las muestras Xal-DZ-01A y Xal-DZ-01B y 5.4% en la muestra Xal-06. La matriz varía entre 5.8% y 7.6%. Estas muestras se clasificaron como subarcosas (Xal-06, Xal-DZ-01A) y sublitarenitas (Xal-DZ-01B) (Figura 4.14).

CLASTOS

Se analizó un clasto de la Formación Xaltipa (Xal-07i) que corresponde a una arenisca, específicamente del tipo subarcosa. Esta muestra está conformada principalmente de cuarzo monocristalino (77.2%) y feldespato potásico (13%). El cuarzo policristalino es poco abundante (5.3%); las plagioclasas son escasas (1.6%); los líticos también son muy escasos (0.2%). Como minerales accesorios se encuentran escasos circones, micas y algunos opacos (2.7%) (Figura 4.14).

4.3.3 CONGLOMERADOS DE LA FORMACIÓN XALTIPA

Se realizaron nueve análisis modales en los conglomerados, directamente en afloramiento, de los cuales, cuatro se ubican en el Segmento A y uno en el Segmento B de la columna estratigráfica (Figuras 4.2 a 4.5). Los cuatro restantes pertenecen a afloramientos visitados (ver Mapa Geológico anexo). Los conteos fueron realizados con mallas impresas en acetato de 2 y 5 cm de separación, las cuales se utilizaban de acuerdo al tamaño de las gravas. La cantidad de puntos tomada en los afloramientos varió entre 57 y 130 debido a la dimensión, la separación y variedad litológica de las gravas (Tabla 4.3 y Figura 4.17).

Los análisis C-01, C-03, C-04 y C-25 se ubican en la facies Gci, los tres primeros en la base Segmento A de la columna estratigráfica (Figura 4.2). El conteo C-07 corresponde a la facies Gcm y se ubica cercano a la cima del Segmento A (Figura 4.3); y el C-14 está ubicado en la cima de la Formación Xaltipa (Figura 4.5) y corresponde a la facies Gh. Los conteos C-22A, C22-B y C-24 se encuentran en la facies Gmm (ver Mapa Geológico anexo).

Los conglomerados de la facies Gci (C-01, C-03, C-04 y C-25) muestran un porcentaje de matriz variable entre 41.68% y 47.4%. Del total del porcentaje acumulado de clastos para esta facies, la mayor parte corresponde a clastos de arenisca; no se especificó la variedad a la que corresponden estos, ya que se trató de una evaluación de campo, aunque se considera que las variedades corresponden a las mismas de las muestras analizadas por petrografía (arcosas y wackas arcósicas) (Apéndice

Petrográfico). Algunos de los clastos encontrados son de tipo volcánico y plutónico, estas variedades no suelen encontrarse en un mismo estrato o lente, según los conteos y sus porcentajes varían entre 6% y 10%. Otro de los componentes en la facies Gci es el cuarzo, presumiblemente de origen metamórfico con porcentajes entre 6.8% y 7%.

La facies Gcm (C-07) tiene 25.3% de matriz, el cual es bajo, comparado con las otras facies. La litología de los clastos corresponde a areniscas (36.78%), volcánicos (36.78%) y cuarzo metamórfico (1.14 %). Uno de los clastos volcánicos se clasificó como andesita (Apéndice Petrográfico).

La facies Gh (C-14) consta del 31.6% de matriz y el total de sus clastos se identificaron como areniscas (68.4%) en el conteo, y de acuerdo a los análisis petrográficos corresponden a subarcosas y wackas arcósicas. Aunque solo se identificaron clastos de arenisca en el conteo, también se registró la presencia de clastos de conglomerado en los afloramientos.

Por otro lado, la facies Gmm (C-22A, C22-B y C-24) tiene como mínimo de 51.7% y máximo de 63.78% de matriz. Los clastos de arenisca son abundantes (36.7% y 43.3%) para dos de los conteos (C-22A y C-24) y el cuarzo tiene como máximo 5% en los mismos. Sin embargo, para el conteo C-22B los clastos sedimentarios son escasos (7.09%) y el cuarzo metamórfico ocupa un porcentaje mayor que en cualquiera de los otros conteos (29.13%). Cabe mencionar que en el conteo C-24 fue identificado un 8.3% de clastos volcánicos.

En general, los datos obtenidos en los análisis modales en afloramiento, muestran que los aportes de clastos sedimentarios se mantuvieron relativamente constantes en el depósito de la Formación Xaltipa (excepto el C-22B) y los aportes de clastos de tipo ígneo y metamórfico variaron a través del depósito; el significado de estas variaciones será discutido con mas detalle en el Capítulo 5 de resultados. En campo también se observaron clastos de gneis, sin embargo no están presentes en las localidades de conteo.

FORMACIÓN	XALTIPA								HUAYACOCOTLA	
CLASTOS/MUESTRA	Xal-DZ-01A		Xal-DZ-01B		Xal-06		Xal-07i		Xal-DZ-02	
	Puntos	%	Puntos	%	Puntos	%	Puntos	%	Puntos	%
Cuarzo Monocristalino	81	16.2	127	25.4	178	35.6	375	75	356	71.2
Cuarzo Policristalino	245	49	188	37.6	86	17.2	26	5.2	27	5.4
Feldespato Potásico	34	6.8	32	6.4	69	13.8	63	12.6	65	13
Plagioclasa	13	2.6	11	2.2	12	2.4	8	1.6	38	7.6
Líticos	55	11	65	13	66	13.2	1	0.2	5	1
Micas	4	0.8	13	2.6	2	0.4	2	0.4	0	0
Piroxenos	0	0	1	0.2	5	1	0	0	0	0
Circones	0	0	0	0	0	0	6	1.2	3	0.6
Opacos	13	2.6	19	3.8	27	5.4	5	1	2	0.4
Matriz	38	7.6	34	6.8	29	5.8	3	0.6	1	0.2
Cementante (Calcita)	17	3.4	7	1.4	1	0.2	11	2.2	2	0.4
Fragmentos No Identificados	0	0	3	0.6	5	1	0	0	1	0.2
Puntos Contados	500	100	500	100	500	100	500	100	500	100
Aumento	5x		5x		5x		10x		10x	

Tabla 4.2 *Resultados del análisis modal.*

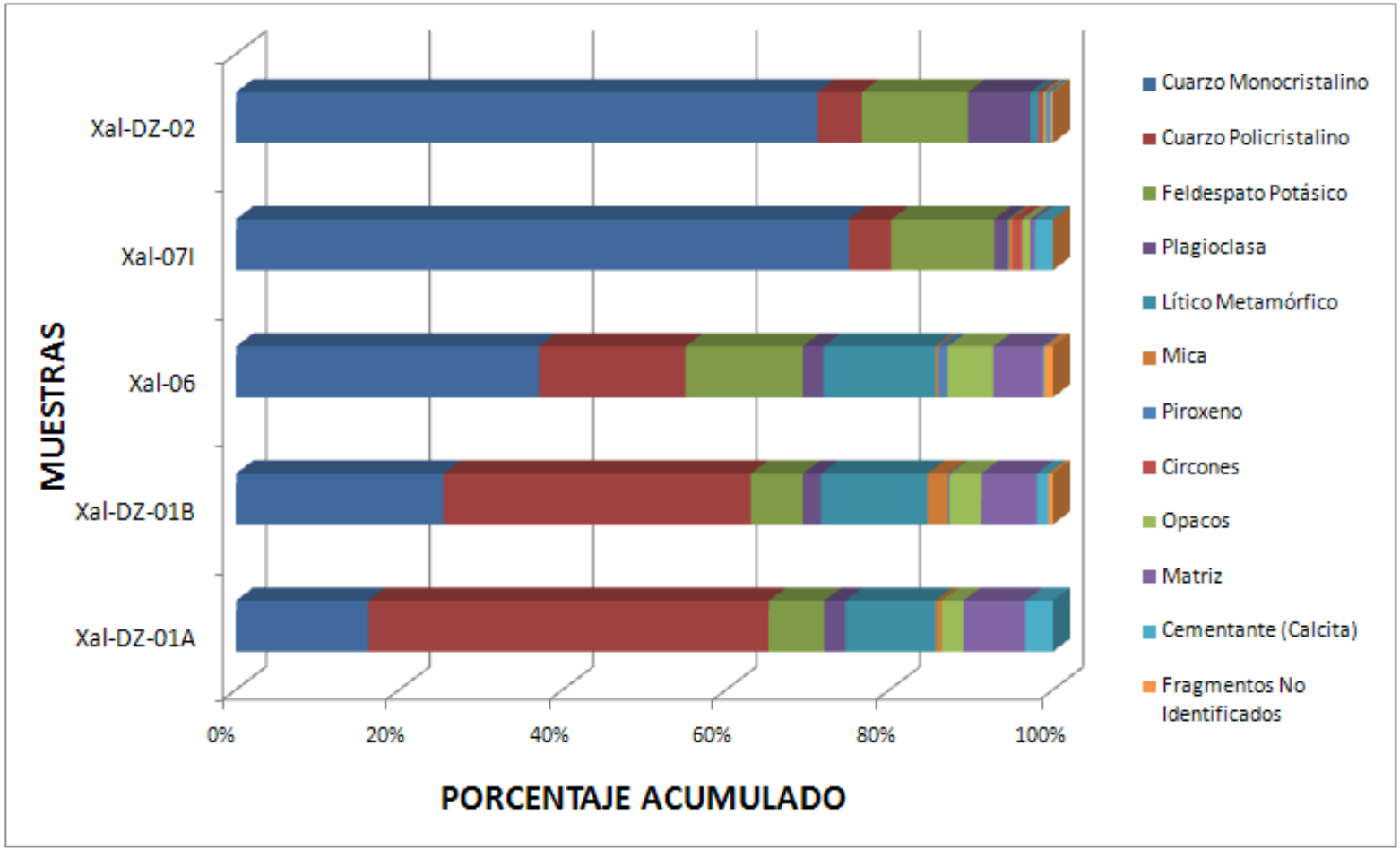


Figura 4.16 *Porcentaje acumulado de todos los componentes de las muestras. Se observa la clara variación del cuarzo en las areniscas de la Formación Xaltipa (Xal-DZ-01A, Xal-DZ-01B Xal-DZ-02 y Xal-06) y la semejanza en los porcentajes entre el clasto de la Formación Xaltipa (Xal-07i) y la muestra de la Formación Huayacocotla (XalDZ-02).*

Clastos/ Muestra	C-01		C-03		C-04		C-07		C-14		C-22A		C-22B		C-24		C-25	
	Puntos	%	Puntos	%	Puntos	%	Puntos	%	Puntos	%	Puntos	%	Puntos	%	Puntos	%	Puntos	%
Arenisca	51	39.1	25	43.8	29	48.32	32	36.78	41	68.4	26	43.3	9	7.09	22	36.7	52	45.6
Cuarzo Metamórfico	9	6.8	0	0	0	0	1	1.14	0	0	3	5	37	29.13	2	3.3	8	7
Volcánicos	13	10	0	0	0	0	32	36.78	0	0	0	0	0	0	5	8.3	0	0
Plutónicos	0	0	8	14.1	6	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Matriz	57	44.1	24	42.1	25	41.68	22	25.3	19	31.6	31	51.7	81	63.78	31	51.7	54	47.4
TOTAL																		
Total de clastos	73	56.1	33	57.8	35	58.32	65	74.7	41	68.4	29	48.3	46	36.22	29	48.3	60	52.6
Total de puntos	130		57		60		87		60		60		127		60		114	
Malla (cm)	2		5		5		5		5		5		2		5		2	

Tabla 4.3 *Resultados del análisis de composición de los conglomerados de la Formación Xaltipa.*

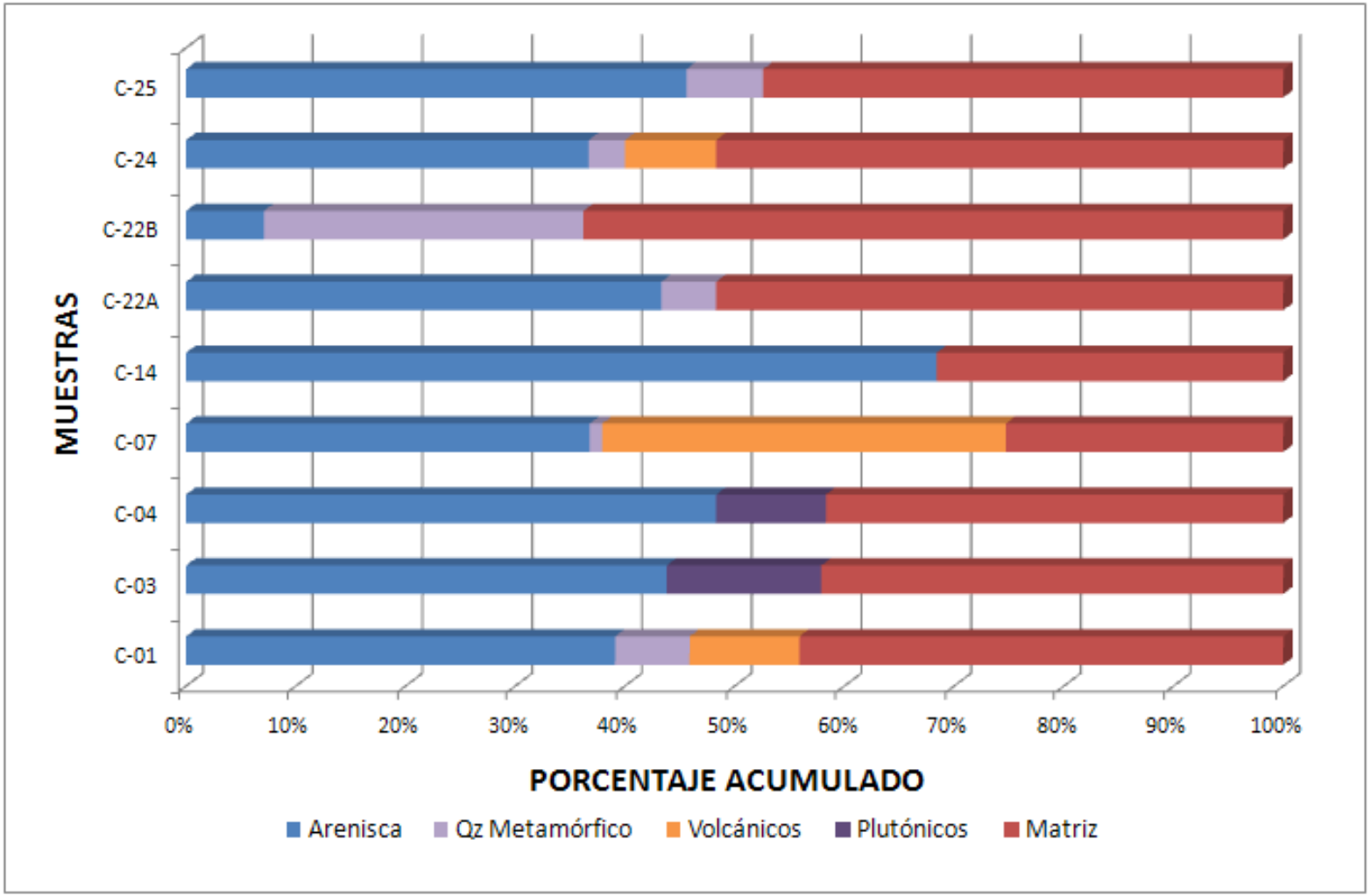


Figura 4.17 *Tipos de clastos presentes en los conglomerados de la Formación Xaltipa. Se observa la abundancia de matriz y la variación de la litología de las gravas en la columna estratigráfica.*

CAPÍTULO 5

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con base en la columna estratigráfica medida en campo, los registros de facies, el reconocimiento de asociaciones de facies y los estudios petrográficos se realizó la interpretación de los ambientes de depósito de la Formación Xaltipa y su probable procedencia, los cuales se presentan a continuación.

5.1 AMBIENTES DE DEPÓSITO

Las cinco asociaciones de facies presentes en la Formación Xaltipa se han considerado para elaborar un modelo de facies compuesto por un ambiente sedimentario y un sub-ambiente, que se complementan entre sí. La columna estratigráfica y los registros de facies en afloramiento se compararon con las columnas tipo de los dieciséis estilos fluviales discutidos por Miall (2006) y con los modelos de abanicos aluviales propuestos por Blair y McPherson (1994) y Bridge (2006). Las facies y asociaciones presentes en la Formación Xaltipa corresponden a las de un abanico aluvial con un sistema distributario de tipo fluvial trenzado.

Los procesos de transporte más comunes dentro de un abanico aluvial pueden dividirse en dos tipos principales: flujos de corriente y flujos de detritos (Galloway, 1983), los cuales pueden presentarse de manera independiente o conjunta. En el caso de la Formación Xaltipa se encuentran estos dos procesos; las asociaciones de facies AF1, AF2 y AF3, que se encuentran en los Segmentos A y B de la columna estratigráfica (Figuras 4.2 a 4.5), pueden interpretarse como flujos de corriente, los cuales producen diferentes tipos de depósitos de granulometría variada según se estudie la parte proximal, media o distal del abanico aluvial (Figura 5.1).

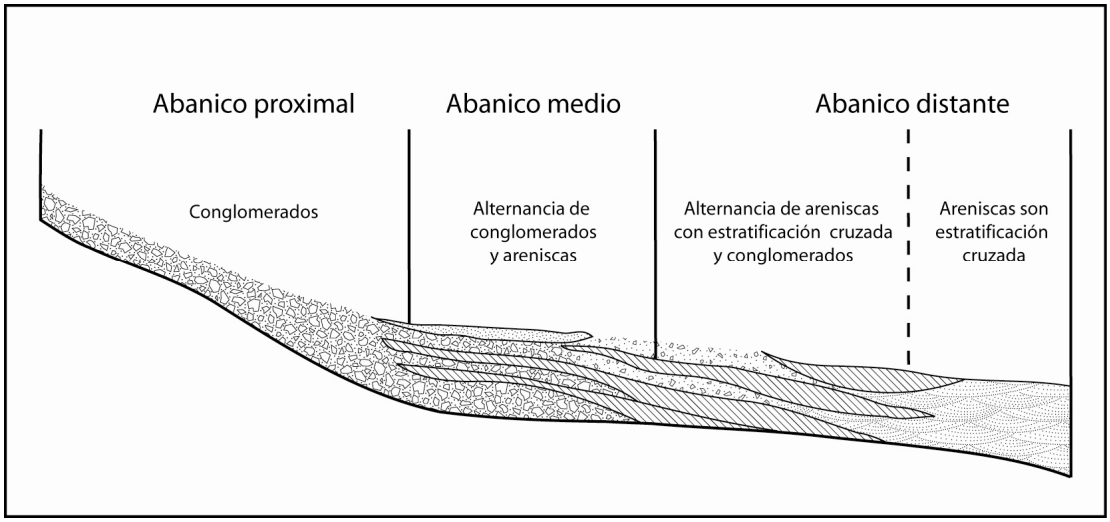


Figura 5.1. *Perfil idealizado de las litologías presentes en un abanico aluvial y su distribución a lo largo del mismo. Modificado de Galloway, 1983.*

Los canales (CH, AF1), estarán compuestos por sedimentos de diferente tamaño (Gci, Gp, Sp, Sm), la intercalación de arenas y gravas se presentan en la parte media de los abanicos aluviales (Figura 5.1) y suelen formar patrones trenzados (Galloway, 1983). Dentro de los canales se pueden encontrar barras (GB, AF2) de depósitos gruesos que forman cuerpos alargados (Gcm) (Miall, 2006) y hacia los bordes pueden encontrarse acreciones laterales (LA) de sedimentos con estratificación cruzada y laminaciones (Sp, Gci, Gp). Al encontrar areniscas y limos laminados (LS, AF3) (Sp, Sh, FL), puede inferirse un decremento en la carga de sedimentos que alimentaban el abanico.

Los flujos de detritos, que se presentan comúnmente en regiones áridas o semiáridas donde se tienen lluvias poco frecuentes, pero violentas y de poca duración (Galloway, 1983), se pueden caracterizar por el predominio de fracciones gruesas (GB, AF4) (Gci). Otros depósitos catastróficos son los flujos de sedimentos por gravedad (SG, AF5) (Gmm, Gh) que representan los depósitos de alta energía y la escasa presencia de depósitos finos (Sm) indicarían una disminución en la energía (Miall, 2006), este último par de procesos de sedimentación se observan en el Segmento B de la columna estratigráfica (Figuras 4.4 y 4.5). Los sistemas fluviales trenzados de baja sinuosidad se relacionan estrechamente con los abanicos aluviales y las asociaciones de facies AF4 y AF5 pueden interpretarse como un sistema de tipo fluvial “Gravas estratificadas

trenzadas con depósitos de flujos de sedimentos por gravedad" (Miall, 2006) (Figura 5.2).

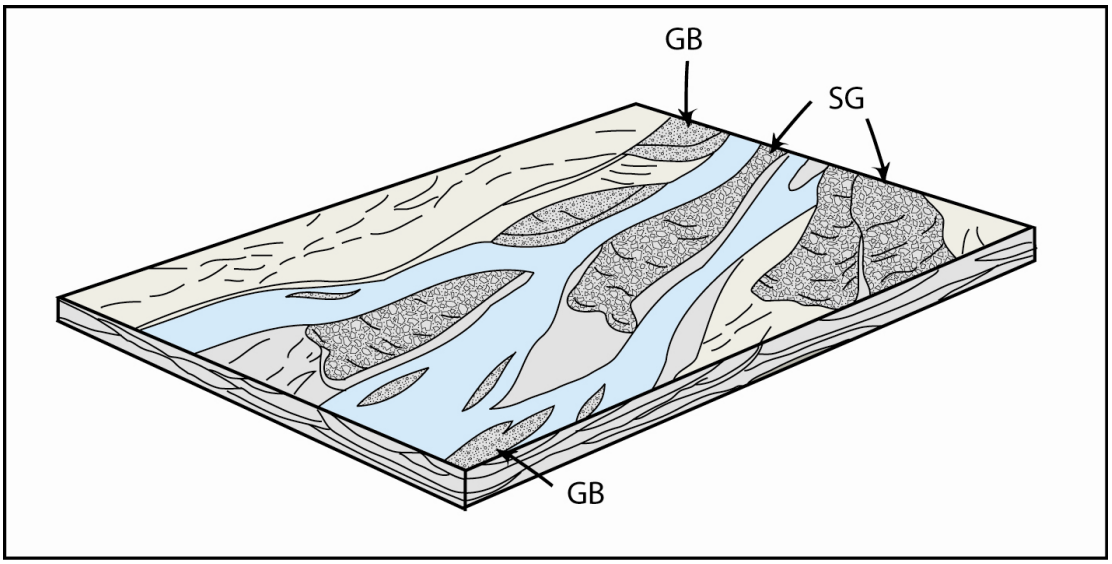


Figura 5.2 *Modelo arquitectónico del río de tipo "Gravas estratificadas trenzadas con depósitos de flujos de sedimentos por gravedad". Se observa la posible disposición de las asociaciones de facies presentes en el Segmento B de la columna estratigráfica y en el registro de facies de campo. Modificado de Miall, 2006.*

5.2 PROCEDENCIA

De acuerdo con los resultados de la procedencia, tanto del análisis modal en láminas delgadas como de los conteos de puntos en afloramiento, se caracterizaron tres principales fuentes de aporte para la Formación Xaltipa que en orden de abundancia son las siguientes:

- Líticos de origen sedimentario, probablemente correspondientes a las areniscas de la Formación Huayacocotla, lo cual se basa en la comparación del clasto Xal-07i con la muestra Xal-DZ-02, que mostró una composición similar.
- Líticos de tipo metamórfico, consistentes principalmente en fragmentos de esquisto y charnokitas detectados en las láminas delgadas, clastos de gneis y cuarzo de tipo policristalino, este último encontrado tanto en las láminas delgadas como en los afloramientos que tienen como probable fuente de aporte al Gneis Huiznopala (basamento de la región).

- Líticos de tipo ígneo, tanto de origen volcánico de composición máfica a intermedia, como plutónico (granitos), que no suelen presentarse en los mismos estratos ni lentes de conglomerado. Estos son escasos en la columna estratigráfica, los volcánicos tienen como probable fuente a la Formación Tuzancoa.

La evolución de los componentes anteriormente mencionados a lo largo de la columna estratigráfica registrada, indica que hacia la base de la Formación Xaltipa en la facies Gci, predominan los clastos de tipo sedimentario (69.9%) sobre los volcánicos (17.8%) y metamórficos (cuarzo) (12.3%), posteriormente, aumentó el contenido de sedimentarios (79.3%) y aparecen los de tipo plutónico (20.7%), presumiblemente de tipo granítico, por la clasificación de campo, cuyo porcentaje varía ligeramente. Posteriormente, en el depósito de la facies Gcm, disminuyó el contenido de areniscas (49.2%) y desaparecen los clastos plutónicos, el contenido de clastos volcánicos (49.2%), presumiblemente de andesitas, es igual de las areniscas y el de cuarzo metamórfico de 1.6 %. Finalmente, hacia la cima de la formación los clastos de la facies Gh son exclusivamente de tipo sedimentario, el mayor porcentaje de areniscas de la Formación Huayacocotla y algunos clastos de conglomerado (Figura 5.3).

El tamaño de las gravas sugiere poco transporte y al encontrar a las areniscas procedentes de la Formación Huayacocotla en la mayor parte de la sucesión, se infiere que esta unidad se mantuvo en constante denudación a lo largo del depósito de la Formación Xaltipa, al igual que la unidad metamórfica de la que procede el cuarzo de los conglomerados y el cuarzo policristalino de las areniscas, que posiblemente corresponda al basamento de región (Gneis Huiznopala).

En los análisis modales de conglomerados se detectó una composición similar a los análisis descritos anteriormente, con excepción de la muestra C-22B, la cual muestra un contenido de cuarzo metamórfico inusual (80.4%) y un bajo contenido de areniscas (19.6%).

De acuerdo con los diagramas propuestos por Dickinson (1985), las muestras analizadas pueden separarse en dos grupos bien definidos, uno ellos corresponde a las areniscas de la Formación Xaltipa (Xal-06, Xal-DZ-01A, Xal-DZ-01B) cuya procedencia se asocia a un orógeno reciclado tanto en el diagrama Qt-F-L como en el Qm-F-Lt (Figuras

5.4 y 5.5) y su contenido moderadamente alto de cuarzo y su bajo contenido en feldespatos, indica la procedencia particular de un antepaís exhumado que corresponde a la configuración tectónica de cinturones de pliegues y cabalgaduras; las sucesiones de este tipo son depositadas en cuencas adyacentes al cinturón de plegamiento, suelen recibir aportes de áreas cratónicas y tienen poco influencia de arcos o cinturones de sutura (Dickinson y Suczek, 1979; Dickinson, 1985).

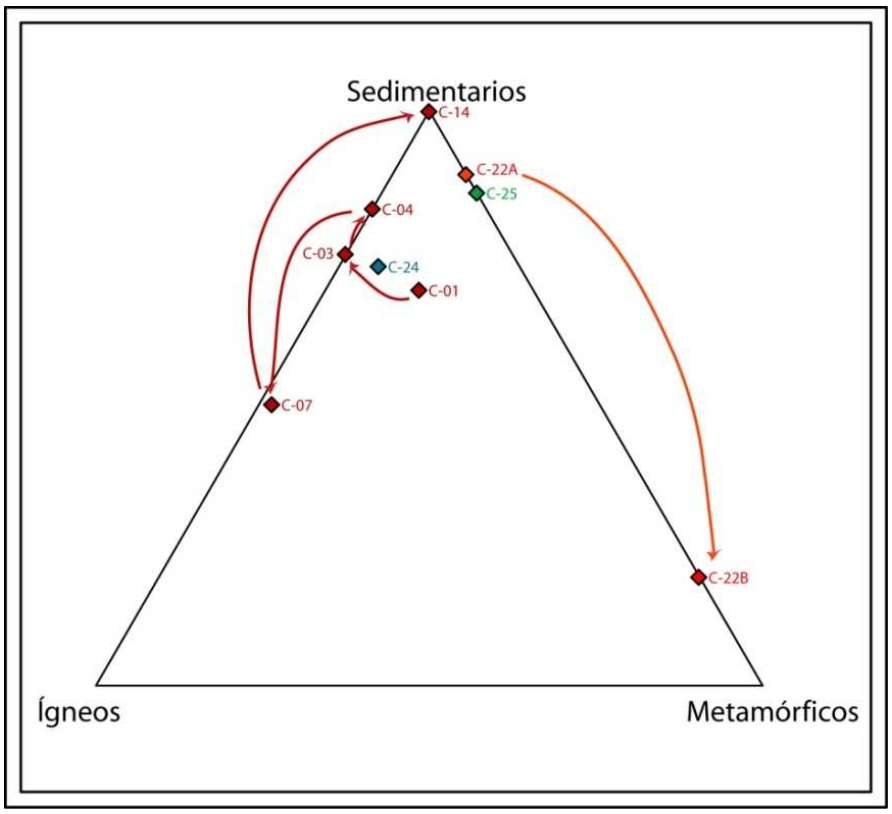


Figura 5.3 *Diagrama ternario que muestra la abundancia de clastos en los análisis modales de los conglomerados en afloramiento y la evolución de los mismos en el depósito de la Formación Xaltipa.*

El otro grupo corresponde a un clasto de la Formación Xaltipa (Xal-07i) y una muestra de la Formación Huayacocotla (Xal-DZ-02), los cuales se ubicaron en los diagramas anteriormente mencionados en el campo de procedencia de bloques continentales depositados sobre cratónes estables, sus altas relaciones Qm/Qp y K/P indican un depósito en plataforma estable o hacia el interior del continente, donde un largo transporte produce areniscas maduras con alto contenido de cuarzo (Dickinson y Suczek, 1979; Dickinson, 1985) (Figuras 5.4 y 5.5).

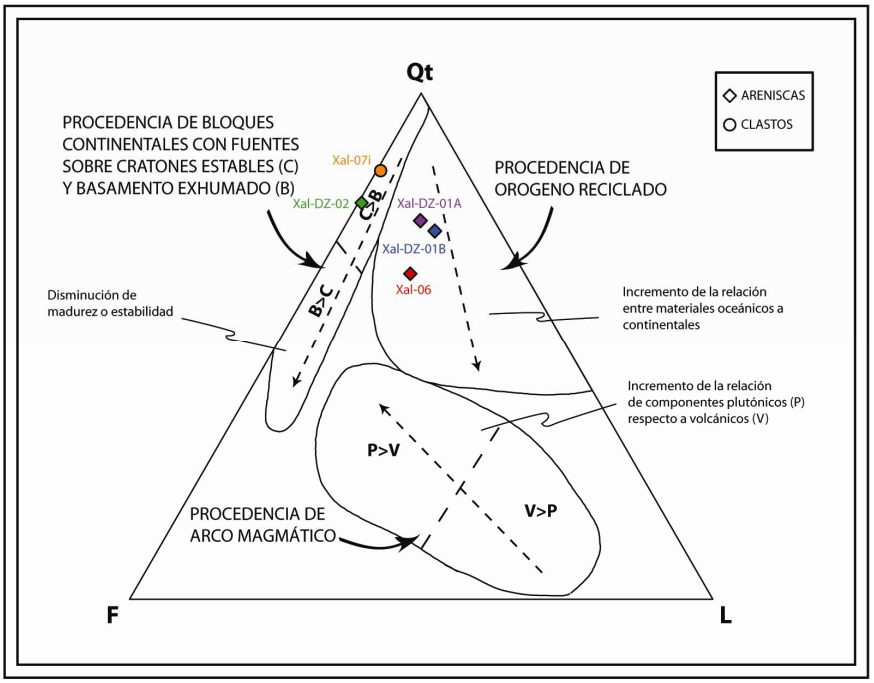


Figura 5.4 *Diagrama ternario Qt-F-L de Dickinson (1985) que interpretan el ambiente tectónico al que se relacionan las rocas fuente de los sedimentos que conforman las areniscas. (Qt=Cuarzo total, F=Feldespatos, L=Líticos).*

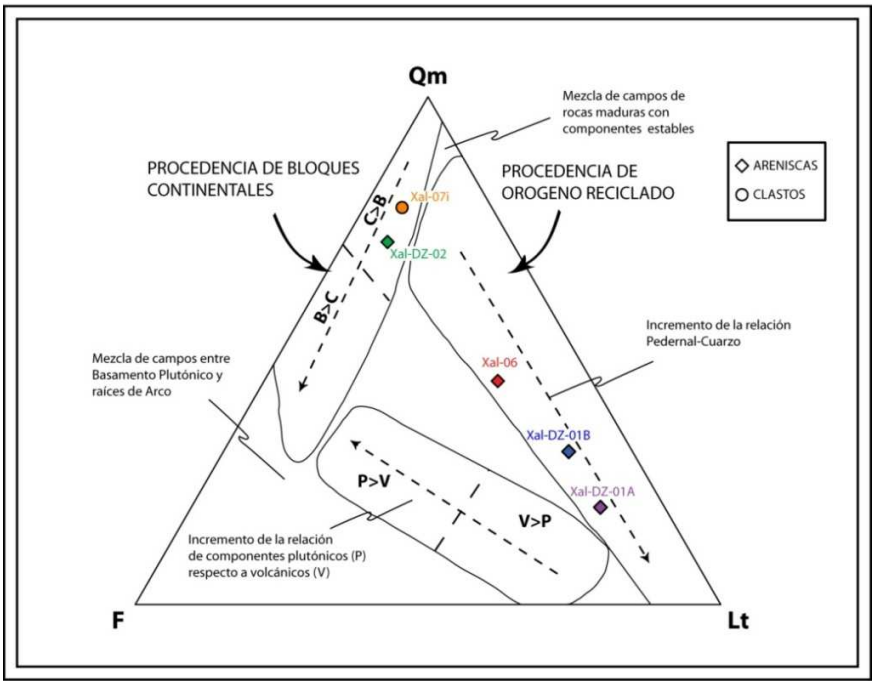


Figura 5.5 *Diagrama ternario Qm-F-Lt de Dickinson (1985) que interpretan el ambiente tectónico al que se relacionan las rocas fuente de los sedimentos que conforman las areniscas. (Qt=Cuarzo monocristalino, F=Feldespatos, L=Líticos totales).*

5.3 Inferencias sobre la tectónica

Durante la formación de cuencas extensionales se presenta subsidencia causada por fracturas y fallas normales, provocadas por el estiramiento y adelgazamiento de la corteza y subsidencia termal, que dan lugar a la formación de grabens y horsts; este desnivel, provoca la generación de sistemas de abanicos aluviales de sedimentos que provienen de la erosión de las rocas en los altos topográficos de los bloques de piso de las fallas normales (Bridge, 2006). En el caso de la Formación Xaltipa, la intercalación de litologías finas y gruesas se relaciona a la parte media de un abanico aluvial, y las litologías gruesas y angulares de la cima de la formación son propios de la parte proximal, es decir, cercanos al pie de monte (Galloway, 1983), la superposición entre estas litologías de carácter distinto puede interpretarse como una superposición de abanicos (Bridge, 2006), posiblemente ocasionada por la reactivación de una falla normal asociada a la formación del abanico aluvial, ya que, el marco tectónico regional ha sido descrito como una margen divergente para el periodo Jurásico (Michalzik, 1991; Rueda-Gaxiola, 2004).

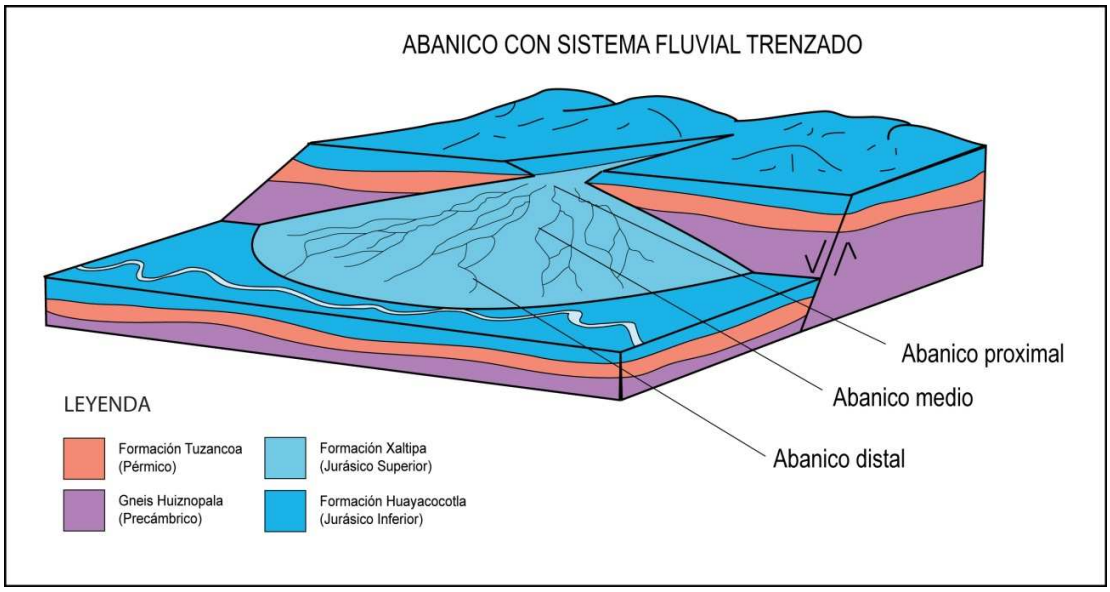


Figura 5.6. *Figura esquemática del ambiente de depósito de la Formación Xaltipa. Modificado de Blair y McPherson (1994).*

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

1. Se reconoció la existencia de seis unidades estratigráficas en el área de estudio que corresponden al Gneis Huiznopala y las formaciones Tuzancoa, Huayacocotla, Xaltipa, San Andrés, Pimienta y el Grupo Tamaulipas. Los rasgos estructurales mayores son el Anticlinorio de Huayacocotla, el Anticlinal Ixtatetla, el Anticlinal Texcatepec, la Falla Zilacatipán y asociadas, la Falla Huichohuaya y el Sinclinal Miguel Lerdo.
2. Se reportó la existencia de un nuevo afloramiento del basamento de la región sobre 350 m del Río Chichiquila entre los poblados de Xoluapa, Hgo. y Chiyahual, Ver.
3. Se midió una columna estratigráfica de 210 m, en dos segmentos de 100 m y 110 m respectivamente, a este último se le agregaron 95 metros de espesor estimado, sobre el lecho del Río Chichiquila, entre los poblados de Xoluapa, Hgo. y Xaltipa, Ver.; además se caracterizaron las facies de 618 m sobre la terracería entre los poblados de Tzimentey y El Bopo, Ver.
4. La Formación Xaltipa consiste en subarcosas y sublitarenitas con lentes de conglomerado hacia la base, areniscas y limos hacia la parte media y conglomerados y brechas hacia la cima. Los clastos son de subarcosas, wacka arcósica, arcosas, andesitas, granito, cuarzo metamórfico y gneis.
5. Tomando en cuenta las relaciones estratigráficas de la Formación Xaltipa con las otras unidades expuestas, se infiere que su edad probable corresponde al Jurásico Superior (Kimmeridgiano).
6. Se sugiere como ampliación de la localidad tipo de la Formación Xaltipa, a los afloramientos expuestos sobre el lecho del Río Chichiquila, entre los poblados

de Xoluapa, Hgo. y Xaltipa, Ver. debido a que se considera que tienen una excelente calidad y son de fácil acceso.

7. De acuerdo con el análisis modal y la petrografía, se observó que los clastos de la Formación Xaltipa tienen tres principales fuentes de aporte, una de tipo sedimentaria, probablemente correspondiente a las areniscas de la Formación Huayacocotla; otra de tipo metamórfica, consistente en fragmentos de esquisto, charnokitas, gneis, cuarzo de tipo policristalino, consistente con el Gneis Huiznopala, basamento de la región; y una tercera de tipo ígneo, tanto de origen volcánico de composición máfica a intermedia (andesitas) (probablemente la Formación Tuzancoa) como plutónico (granitos).

8. El depósito de la Formación Xaltipa es posterior a la Formación Huayacocotla, y se concluye que las capas rojas triásicas descritas como Formación Huizachal no se encuentran en la región, como otros autores lo habían sugerido (Carrillo-Bravo, 1965; Facultad de Ingeniería, 1990; Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991, Arellano-Gil *et al.*, 1998).

9. Con base en el análisis modal se estableció que la procedencia de las areniscas de la Formación Xaltipa, corresponde a un orógeno reciclado, particularmente de un antepaís exhumado, el cual se asocia a cinturón de pliegues y cabalgaduras. Por otro lado, las areniscas de la Formación Huayacocotla tienen procedencia de bloques continentales que se depositaron sobre cratones estables probablemente en plataforma estable o hacia el interior del continente.

10. De acuerdo a Miall (2006), se reconocieron nueve facies sedimentarias en la Formación Xaltipa, cinco de carácter conglomerático, tres arenosos y uno de limos; estas facies se agruparon en cinco asociaciones con las cuales se construyó un modelo de facies, en el que se reconoció un ambiente y un sub-ambiente: un abanico aluvial cuyo sistema distributario es de tipo fluvial trenzado. Hacia la cima de la Formación se reconocieron las facies propias de un río de tipo "Gravas estratificadas trenzadas con depósitos de flujos de sedimentos por gravedad".

11. Los ambientes interpretados son propios de la formación de una cuenca con régimen extensional, asociados a una margen divergente.

BIBLIOGRAFÍA

Arellano-Gil, J., Vachard, D., Yussim, S., Flores de Dios-González, A., 1998, *Aspectos estratigráficos, estructurales y paleogeográficos del Pérmico Inferior al Jurásico Inferior en Pemuxco, Estado de Hidalgo, México*: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 15, 1, 9–13.

Barboza-Gudiño, J. R., Tristán, G. M., Torres, H. J. R., 1998, *The Late Triassic-Early Jurassic active continental margin of western North America in northeastern Mexico*: Geofísica Internacional, 37, 4, 283-292.

Blair, T. C., McPherson, J., G., *Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes and facies assemblages*: Journal of Sedimentary: A64, 450-489. Original no consultado, citado en Miall, A. D., 2006, *The geology of fluvial deposits*: Ed. Springer 4ª impresión, Canada, Toronto, 582 p.

Bridge, J. S 2006, *Fluvial facies models: Recent developments* en Posamentier, H.W., and Walker, R.G., *Facies Models Revisited*: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special publication 84, 85-170.

Burckhardt, C., 1930, *Étude Synthétique sur le Mésozoique mexicain*: Mém. Soc. Paléont. Suisse, 49-50, 280 p. Original no consultado, citado en Ochoa-Camarillo, H. R., 1996, *Geología del Anticlinorio de Huayacocotla en la Región de Molango, Estado de Hidalgo, México*: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Tesis de Maestría, 91 p.

Buitrón-Sánchez, B. E., Patiño, R. J., Moreno, C. A., 1987, *Crinoides del Paleozoico tardío (Pensilvánico) de Calnali, Hidalgo*: Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología, 1, 125–136.

Campa, M. F., 1970, *Clasificación de las rocas carbonatadas sedimentarias y su aplicación en un área de Poza Rica, Ver.*: Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, 2, 1, 5-37.

Cantú-Chapa, A., 1971, *La serie Huasteca (Jurásico Medio-Superior) del centro este de México*: Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, 3, 2, 17–40.

Cantú-Chapa, A., 1998, *Las transgresiones Jurásicas en México*: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 15, 1, 25-37.

Carrillo-Bravo, J., 1961, *Geología del Anticlinorio Huizachal-Peregrina al NW de Ciudad Victoria, Tamaulipas*: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 13, 1–98.

Carrillo-Bravo, J., 1965, *Estudio geológico de una parte del Anticlinorio de Huayacocotla*: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 17, 5-6, 73–96.

Centeno-García, E., 2005, *Review of Upper Paleozoic and Lower Mesozoic stratigraphy and depositional environments of central and west Mexico: Constraints on terrane analysis and paleogeography*: Geological Society of America Special Paper 393, 233-258.

Centeno-García, E., Guerrero, S. M., Talavera, M. O., 2008, *The Guerrero Composite Terrane of western Mexico: Collision and subsequent rifting in a supra-subduction zone* en Drauft, A., Clift, P. D. Scholl,

D. W., *Formation and Applications of the Sedimentary Record in Arc Collision Zones*: Geological Society of America Special Paper 436, 279-308.

Dickinson, W. R., 1985, *Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones* en Zuffa, G. G., *Provenance of Arenites*: Ed. Dordrecht, Holland, 331-361.

Dickinson, W. R., Suczek, C. A., 1979, *Plate tectonics and sandstone compositions*: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 63, 2164-2182.

Dott, R. H., 1964, *Wacke, greywacke and matrix-what approach to immature sandstone classification?:* Journal of Sedimentary Petrology 34, 625-632.

Eguiluz de Antuñano, S., Aranda, M., Marret, R., 2000, *Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México*: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, LIII, 1-26.

Erben, H. K., 1956, *El Jurásico Medio y el Calloviano de México*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Congreso Geológico Internacional, 20, México, D. F., Monografía, 140 p.

Esquivel-Macías, C., León, O. R., Flores, C. K., *Caracterización de una nueva localidad fosilífera del Jurásico Inferior con crinoides y amonites en el centro oriente de México (Temapá, Hidalgo)*: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 22, 1, 97-114.

Facultad de Ingeniería, 1990, *Informe final Prospecto Zacualtipán (IZN-711)*: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, México, D. F., 235 p. (Inédito).

Fries, C. Jr., Rincón-Orta, C., 1965, *Nuevas aportaciones geocronológicas y técnicas empleadas en el laboratorio de geocronometría:* Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 73,57-133. Original no consultado, citado en Ochoa-Camarillo, H. R., 1996, *Geología del Anticlinorio de Huayacocotla en la Región de Molango, Estado de Hidalgo, México*: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Tesis de Maestría, 91 p.

Galloway, E. W., 1983, *Terrigenous clastic depositional systems: Applications to petroleum, coal, and uranium exploration*: Ed. Springer, New York, Estados Unidos de America, 423 p.

Gutiérrez-Galicia, M. L., 1984, *El método palinoestratigráfico aplicado a muestras superficiales mesozoicas de las secciones Pueblo-Viejo y Jérico del Estado de Chiapas, México*: México, D. F., Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Ciencias de la Tierra, Tesis Profesional, 162 p.

Heim, A., 1926, *Notes on the Jurassic of Tamazunchale (Sierra Madre Oriental):* Eclogae Geol. Helvetiae, 20, 84-87. Original no consultado, citado en Ochoa-Camarillo, H. R., 1996, *Geología del Anticlinorio de Huayacocotla en la Región de Molango, Estado de Hidalgo, México*: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Tesis de Maestría, 91 p.

Hein, F. J., Walker, R. G., 1977, *Bar evolution and development of stratification in the gravelly, braided, Kicking Horse River, British Columbia:* Canada Journal Earth Scienc, 14, 562-570. Original no consultado, citado en Miall, A. D., 2006, *The geology of fluvial deposits*: Ed. Springer 4ª impresión, Canada, Toronto, 582 p.

Hernández-Bernal, M. S., Hernández-Treviño, J. T., 1991, *Evolución geológica de la región de Metztitlán/Zacualtipan, Estados de Hidalgo y Veracruz*: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Tesis Profesional, 89 p.

Imlay, R. W., 1953, *Las formaciones jurásicos de México*: Boletín de la Sociedad Geológica. México, 16, 1-65.

Imlay, R. W., Cepeda, E., Álvarez, M., Díaz, G. T., 1948, *Stratigraphic relations of certain Jurassic formation in eastern Mexico*: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 32, 9, 1750-1761.

INEGI, 2008a, *Carta topográfica F14-D62, Zacualtipán*. Escala 1:50,000.

INEGI, 2008b, *Mapa de agricultura y vegetación del Estado de Hidalgo.* http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/hgo/agri.cfm

INEGI, 2008c, *Mapa de agricultura y vegetación del Estado de Veracruz.* http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/ver/agri.cfm

INEGI, 2008d, *Mapa de climas del Estado de Hidalgo, basado en la Carta de Climas.* http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/hgo/clim.cfm

INEGI, 2008e, *Mapa de climas del Estado de Veracruz, basado en la Carta de Climas.* http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/ver/clim.cfm

INEGI, 2008f, *Mapa de fisiografía del Estado de Hidalgo.* http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/hgo/fisio.cfm

INEGI, 2008g, *Mapa de fisiografía del Estado de Veracruz.* http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/ver/fisio.cfm

INEGI, 2008h, *Mapa de marco fisiográfico de la República Mexicana.* http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/datosgeogra/fisigeo/region.cfm

INEGI, 2008i, *Mapa de regiones hidrológicas del Estado de Hidalgo.* http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/hgo/rh.cfm

INEGI, 2008j, *Mapa de regiones hidrológicas del Estado de Veracruz.* http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/ver/rh.cfm

Ingersoll, R. V., Bullard, T. F., Ford, R. I., Grimm, J. P., Pickle, J. D., Sares, S. W., 1984, *The effect of grain size on detrital modes: A test of the Gazzi-Dickinson point-counting method*: Journal of Sedimentary Petrology 54, 103-116.

Kuegelgen, H. V., 1958, *Der Aufbau der zentralen Sierra Madre Oriental, México:* Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellschaft, 110, 117-142. Original no consultado, citado en Ochoa-Camarillo, H. R., 1996, *Geología del Anticlinorio de Huayacocotla en la Región de Molango, Estado de Hidalgo, México*: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Tesis de Maestría, 91 p.

Lawlor, P. J., Ortega, G. F., Cameron, K. L., Ochoa, C. H., López, R., Sampson, D. E., 1999, *U-Pb geocronology, geochemistry, and provenance of the Grenvillian Huiznopala Gneiss of Eastern Mexico*: Precambrian Research, 94, 73-99.

López y Ramos, E., 1981, *Geología de México*: Tomo III. 2ª Ed. Escolar. México, D. F., 454 p.

Martínez-Pérez, J., 1962, *Estudio geológico de una porción de la Sierra Madre oriental al oriente de Zacualtipán, Hidalgo*: México, D. F., Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Ciencias de la Tierra, Tesis Profesional, 47 p. Original no consultado, citado en Ochoa-Camarillo, H. R., 1996, *Geología del Anticlinorio de Huayacocotla en la Región de Molango, Estado de Hidalgo, México*: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Tesis de Maestría, 91 p.

Miall, A. D., 1992, *Alluvial deposits* en Walker, R. G., James, N. D., 1992. *Facies Models: Response to Sea Level Changes*: Geological Association of Canada. St. John's, Nfld., 409 p.

Miall, A. D., 2006, *The geology of fluvial deposits*: Ed. Springer 4ª impresión, Canadá, Toronto, 582 p.

Michalzik, D., 1991, *Facies sequence of Triassic-Jurassic red beds in the Sierra Madre Oriental (NE Mexico) and its relation to the early opening of the Gulf of Mexico*: Sedimentary Geology, 71, 3-4, 243-259.

Móran-Zenteno, D. J., 1984, *Geología de la República Mexicana*. INEGI, México, D. F., 129 p.

Moreno-Cano, L. A., Patiño, R. J., 1981, *Estudio del Paleozoico en la región de Calnali, Hgo. (En la Sierra Madre Oriental):* México, D. F., Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Ciencias de la Tierra, Tesis Profesional, 54 p. Original no consultado, citado en Ochoa-Camarillo, H. R., 1996, *Geología del Anticlinorio de Huayacocotla en la Región de Molango, Estado de Hidalgo, México*: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Tesis de Maestría, 91 p.

Muir, J., 1936, *Geology of the Tampico region, Mexico*: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 20, 280 p.

Ochoa-Camarillo, H. R., 1996, *Geología del Anticlinorio de Huayacocotla en la Región de Molango, Estado de Hidalgo, México*: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Tesis de Maestría, 91 p.

Ochoa-Camarillo, H. R., Buitrón, S. B. E., Silva, P. A., 1998, *Contribución al conocimiento de la Bioestratigrafía, Paleoecología y Tectónica del Jurásico (Anticlinorio de Huayacocotla) en la Región de Molango, Hidalgo, México*: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 15, 1, 57–63.

Ochoa-Camarillo, H. R., Buitrón, S. B. E., Silva, P. A., 1999, *Redbeds of the Huayacocotla anticlinorium, state of Hidalgo, east-central Mexico*: Geological Society of America Special Paper 340, 59-68.

Ortega-Gutiérrez, F., Mitre, S. L. M., Roldan, Q. J., Aranda, G. J. J., Morán Z. D. J., Alaniz, A. S. A., Nieto, S. A. F., 1992, *Texto explicativo de la quinta edición de la carta geológica de la República Mexicana escala 1:2,000,000*: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Secretaría de Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales, 74 p.

Ortega-Gutiérrez, F., Lawlor, P., Cameron, K. L., Ochoa, C. H., 1997, *New studies of the Grenvillean Huiznopala Gneiss, Molango area, state of Hidalgo, Mexico-preliminary results*: Universidad Nacional Autonoma de México, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra; y Universidad Nacional Autonoma de México, Instituto de Geología, Convención sobre la evolución geológica de México y sus recursos asociados, 2, Pachuca, Hidalgo, México, Guía de las excursiones geológicas, 19-25. Original no consultado, citado en Ochoa-Camarillo, H. R., Buitrón, S. B. E., Silva, P. A., 1998, *Contribución al conocimiento de la Bioestratigrafía, Paleoecología y Tectónica del Jurásico (Anticlinorio de Huayacocotla) en la Región de Molango, Hidalgo, México:* Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 15, 1, 57–63.

Pedrazzini, C., Bazañez, L. M. A., 1978, *Sedimentación del Jurásico Medio–Superior en el Anticlinorio de Huayacocotla-Cuenca de Chicontepec, Estados de Hidalgo y Veracruz, México*: Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, 10, 3, 6–25.

Pérez-Ramos, O., 1978, *Estudio Bioestratigráfico del Paleozoico Superior del Anticlinorio de Huayacocotla en la Sierra Madre Oriental*: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, XXXIX, 126–135.

Pettijohn, F. J., Potter, P. E., Siever, R., 1972, *Sand and sandstone*: Springer, Berlín, 618 p.

Raisz E., 1964, *Landforms of Mexico. Geography branch of the office of Naval Research*: Research. 2° Editorial Cambridge, USA.

Rodríguez-Osorio, R., 1990, *Geología de la sección Huayacocotla-Zontecomatlán, Estado de Veracruz*: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Tesis Profesional, 75 p.

Rosales-Lagarde, L., Centeno-García, E., 2005, *The Tuzancoa Formation: Evidence of an Early Permian Submarine Continental Arc in East-Central Mexico*: International Geology Review, 47, 901–919.

Rueda-Gaxiola, J., López, O., Dueñas, M. A., Rodríguez, J. L., 1993, *Los Anticlinorios de Huizachal-Peregrina y de Huayacocotla: dos partes de la Fosa de Huayacocotla-El Alamar. I. El Alogrupo Los San Pedros*: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 43, 1, 1-33.

Rueda-Gaxiola, J., 1998, *El origen del Golfo de México y de sus sub-cuencas petroleras mexicanas, con base en la palinología de lechos rojos*: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 15, 1, 78-86.

Rueda-Gaxiola, J., 2004, *A triple junction in the Gulf of Mexico: Implications for deep petroleum exploration*: Geofísica Internacional, 43, 3, 395-414.

Salvador, A., 1991, *Triassic-Jurassic* en Salvador, A., *The Gulf of Mexico basin*. Geological Society of America, *The geology of North America*, J, 131-180.

Silva-Pineda, A., 1987, *Algunos elementos paleoflorísticos del Pérmico de la región de Calnali, Estado de Hidalgo*: Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología, 1, 313-327.

Silva-Pineda A., Buitrón, S. B. E., 1999, *Mesozoic redbed floras in east-central Mexico and their stratigraphic relationships whit marine beds* en Bartolini C., Wilson J. L., Lawton J. L., *Mesozoic sedimentary and tectonic history of north-central Mexico*: Geological Society of America Special Paper 340, 151-160.

Solari, L. A., Keppie, J. D., Ortega, G. F., Cameron, K. L., López, R., 2004, *~990 Ma peak granulitic metamorphism and amalgamation of Oaxaquia, Mexico: U-Pb zircon geochronological and common Pb isotopic data*: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 21, 2, 212-225.

Sour-Tovar F., Pérez, H. A., Quiroz, B. S., Centeno, G. E., 2005, *Braquiópodos y trilobites del Pérmico Inferior de noroeste del Estado de hidalgo, México*: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 22, 1, 24–35.

Stephenson, L. W., 1922, *Some Upper Cretaceous Shells of the Rudistid Group from Tamaulipas, Mexico*: Proc. U. S. Nat. Hist. Mus., 61, 1, 2422. Original no consultado, citado en Muir, J., 1936, *Geology of the Tampico region, Mexico*: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 20, 280 p.

Suter, M., 1984, *Cordilleran deformation along the eastern edge of the Valles-San Luis Potosi carbonate plataform, Sierra Madre Oriental fold-thrust belt, east-central Mexico*: Geological Society of America Bulletin, 95, 1387–1397.

Suter, M., 1987, *Structural traverse across the Sierra Madre Oriental fold-thrust belt in east-central Mexico*: Geological Society of America Bulletin, 98, 249–264.

APÉNDICE PETROGRÁFICO

BASADO EN LA CLASIFICACIÓN DE DOTT, 1964 Y PETTIJOHN *ET AL.*, 1972.

MUESTRA *XAL-01 A*

Clasto en un lente conglomerático en el nivel estratigráfico 1 metro en el Segmento A de la columna estratigráfica. Localidad de colecta 14Q0554685 m E, 2289871 m N.

DESCRIPCIÓN

Arenisca conformada por granos de 0.1 a 0.25 mm (arena fina a media), moderadamente clasificada. Los granos van de subangulares a subredondeados y tienden a ser alargados a discoidales, los contactos predominantes son tangenciales, aunque pueden encontrarse algunos puntuales. Su porosidad es intergranular, baja. La matriz ocupa un porcentaje cercano al 40 % y consta principalmente cuarzo subangular de 0.05 mm de tamaño promedio (limo fino).

COMPOSICIÓN

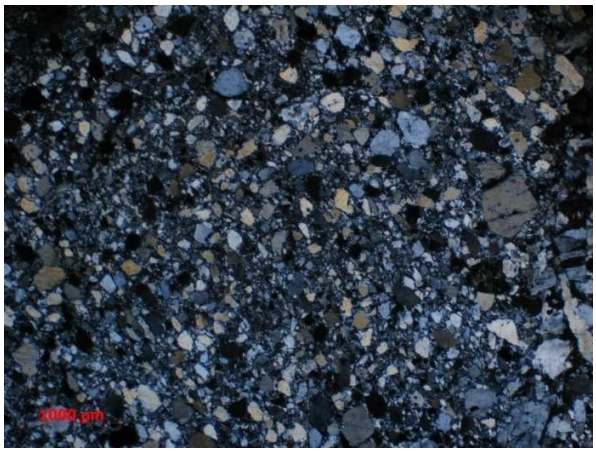
El componente principal de esta muestra es cuarzo monocristalino subangular a subredondeado de 0.25 mm que presenta extinción ondulante y en ocasiones recta; cuarzo policristalino con extinción ondulante, subredondeado, cuyos cristales están suturados y tienen un tamaño promedio de 0.05 mm, al parecer de origen metamórfico; y cuarzo de textura pertítica, subredondeado, de posible origen ígneo (granitos) (65%). El feldespato potásico tiende a ser prismático y subredondeado. Presenta arcillas dentro y alrededor de los granos como alteración. Las plagioclasas son poco abundantes, angulares y presentan alteración moderada o intensa, en algunos casos (20%). Los fragmentos de roca consisten en líticos de esquisto subangular menores a

0.25 mm (10%). Hay escasos minerales accesorios en los que predominan micas y algunos opacos (5%).

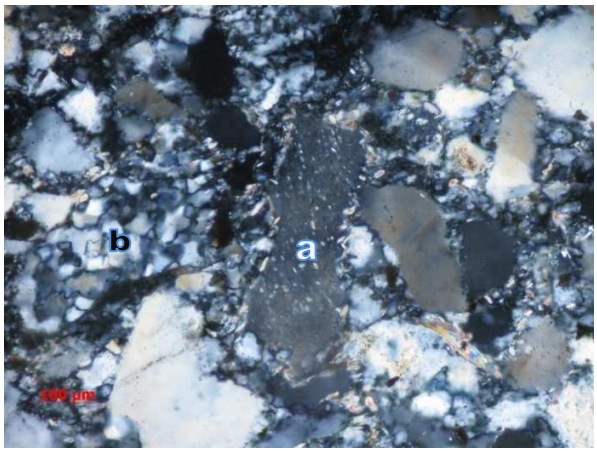
CLASIFICACIÓN

Wacka arcósica

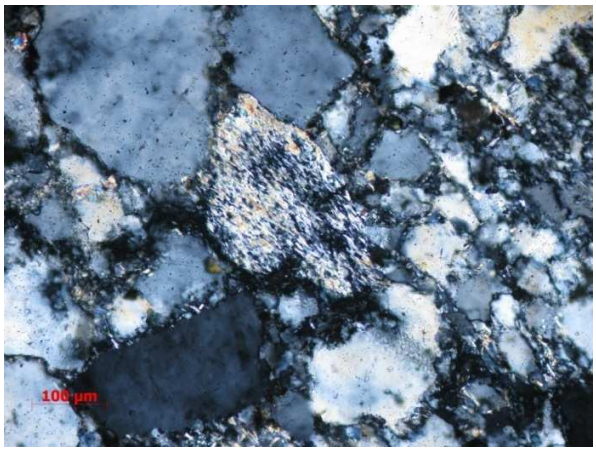
FOTOMICROGRAFÍAS XAL-01A



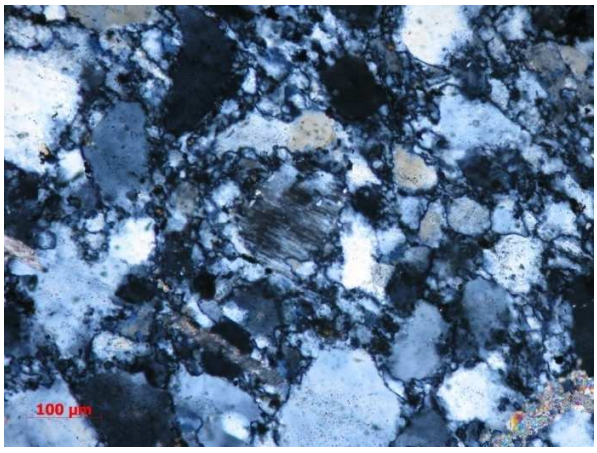
Fotomicrografía que muestra la disposición general de los granos en la lámina delgada, observe su moderada clasificación y la abundancia de la matriz. Nicoles cruzados. 2.5x.



a) Al centro grano alargado de feldespato potásico que presenta alteración. b) Cuarzo policristalino con extinción ondulante, posiblemente metamórfico. Se observan algunas micas. Nicoles cruzados. 20x.



Al centro lítico de esquisto subredondeado en contacto tangencial con granos de cuarzo con extinción ondulante. Nicoles cruzados. 20x.



Hacia el centro grano de cuarzo con textura pertítica, suturado con otros granos de cuarzo más pequeños, pertenecientes a la matriz. Nicoles cruzados. 20x.

MUESTRA *XAL-01 B*

Clasto en un lente conglomerático en el nivel estratigráfico 1 metro en el Segmento A de la columna estratigráfica. Localidad de colecta 14Q0554685 m E, 2289871 m N.

DESCRIPCIÓN

El tamaño de grano varía entre 0.3 mm y 0.1 mm (arena media a fina), su clasificación es pobre y los granos van de subredondeados a subangulares, en general discoidales y alargados. Los contactos predominantes son puntuales, pero también pueden encontrarse tangenciales. La matriz es de granos de cuarzo y feldespato subredondeados y subangulares de tamaño de limos (<15%). Se observa cierta orientación en los granos que se disponen en forma de bandas. Su porosidad es baja, intergranular.

COMPOSICIÓN

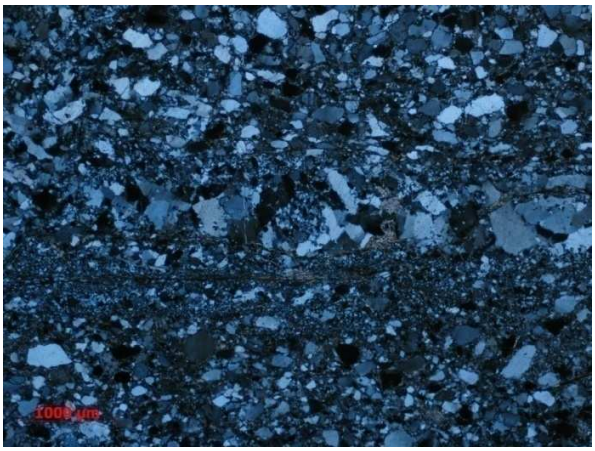
El cuarzo de esta muestra se presenta como policristalino dispuesto en forma de bandas de granos finos y gruesos intercaladas, donde los contactos tienden a ser tangenciales, el tamaño de los cristales varía de 0.05 a 0.5 mm, estos se encuentran suturados y su extinción es de tipo ondulante, los granos van de subangulares a subredondeados. El cuarzo monocristalino es de tamaño promedio de 0.2 mm, extinción ondulante y sus contactos son puntales. Cuarzo con textura pertítica, escaso (70%). La muestra presenta dos tipos de feldespato potásico, uno subangular muy alterado (arcillas) de 0.25 mm y discoidal y el otro, es subredondeado a subangular poco alterado. Las plagioclasas son escasas y se encuentran alteradas, subredondeadas de 0.1 mm (20%). Los líticos consisten en esquisto redondeado de 0.2 mm (5%). Como minerales accesorios sólo se encuentran algunos opacos y circones (5%).

CLASIFICACIÓN

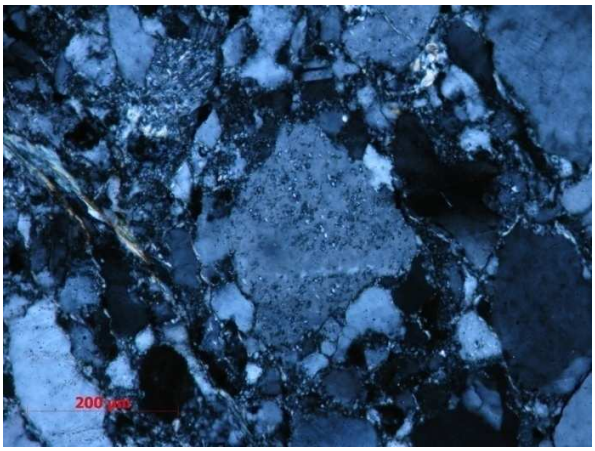
Arcosa

FOTOMICROGRAFÍAS XAL-01B

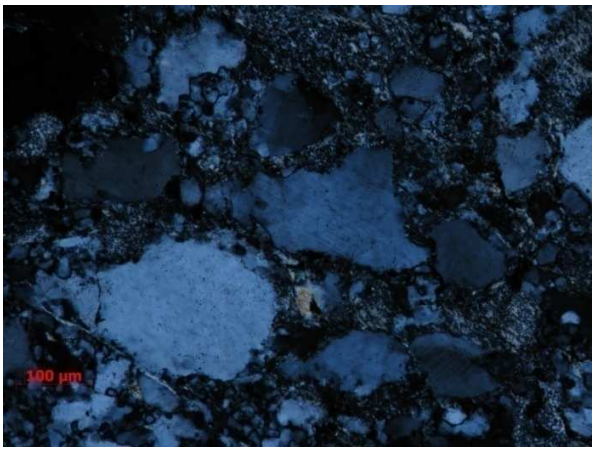
La variedad de tamaños de grano es notable en esta fotomicrografía, así como la disposición general de los granos y su forma. Nicoles cruzados. 2.5x.



Se observa la disposición del cuarzo policristalino en forma de bandas intercalando tamaños de grano finos y gruesos. Nicoles cruzados. 2.5x.



Al centro feldespato potásico subangular alterado en contacto tangencial con granos de cuarzo y otros fragmentos de feldespato potásico. Nicoles cruzados. 10x.



Hacia el centro se observa un grano de cuarzo angular con textura pertítica en contacto puntual con cuarzo monocristalino y policristalino. Nicoles cruzados. 20x.

MUESTRA *XAL-06*

Arenisca de la Formación Xaltipa ubicada en el nivel estratigráfico 76 metros en el Segmento A de la columna estratigráfica. Localidad de colecta 14Q0555052 m E, 2290019 m N.

DESCRIPCIÓN

El rango de tamaño es de arena media para los granos y para la matriz de arena fina a limo, de cuarzo (<15%). La clasificación es buena y los granos varían de angulares a subredondeados, en general alargados, pero pueden encontrarse algunos discoidales. Los contactos son principalmente longitudinales, por lo cual se presenta una fábrica compacta. La porosidad es baja, intergranular.

COMPOSICIÓN

El cuarzo es de tipo monocristalino angular y subangular, con extinción ondulante. El policristalino es mas redondeado de 0.2 mm de tamaño promedio, equidimensional, cuyos cristales están suturados y muestran extinción ondulante. Cuarzo con textura pertítica, escaso (63.2%). El feldespato potásico es angular con extinción ondulante, algunos se presentan limpios sin alteraciones, aunque pueden encontrarse unos pocos alterados. Las plagioclasas son angulares, sin alteraciones de 0.25 mm (19.3%). Los fragmentos de roca se presentan como: volcánicos de composición máfica a intermedia, esquisto de 0.2 a 0.3 mm, subredondeados a redondeados, de contactos tangenciales, algunos rodeados de óxidos, líticos de arenisca subredondeados, compuesta de granos de cuarzo (15.8%). Como minerales accesorios se encuentran los óxidos que bordean algunos líticos, algunos opacos, micas detríticas deformadas y piroxenos de posible origen ígneo alterándose a clorita (1.7%).

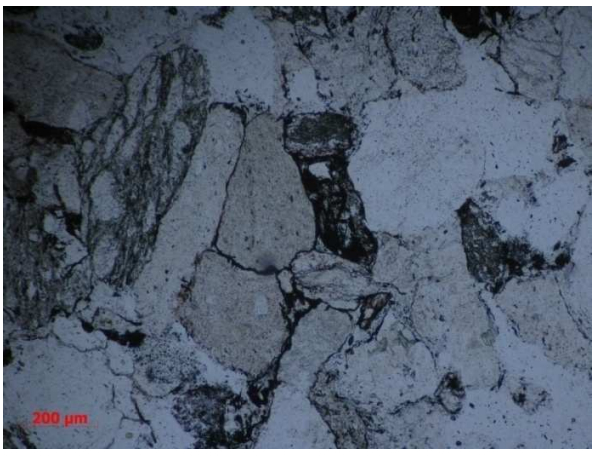
CLASIFICACIÓN

Subarcosa

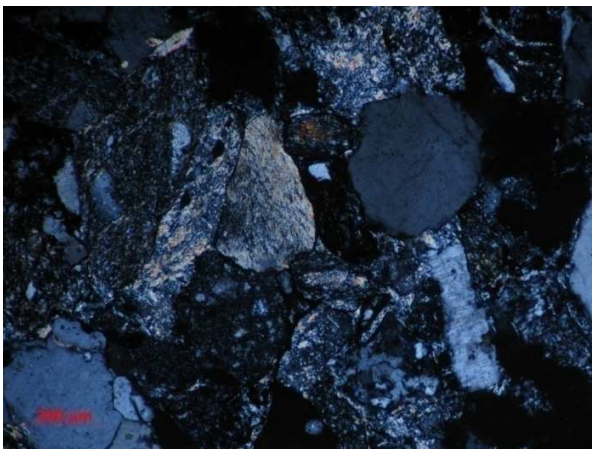
FOTOMICROGRAFÍAS XAL-06

Fotomicrografía que muestra la fábrica compacta de la muestra y la escasa matriz. Se observa el redondeamiento variado de los granos. Nicoles cruzados. 2.5x.

Líticos de esquisto en contacto con cuarzo policristalino. Nicoles cruzados. 10x.



Líticos de esquisto y cuarzo monocristalino bien redondeado. Se observan los contactos longitudinales entre los granos. Luz paralela. 10x.



Fotomicrografía anterior. Nicoles cruzados. 10x.

MUESTRA *XAL-07A*

Clasto en un estrato conglomerático en el nivel estratigráfico 91 metros en el Segmento A de la columna estratigráfica. Localidad de colecta 14Q0555118 m E, 2290137 m N.

TEXTURA Y COMPOSICIÓN

Se observan grandes fenocristales de feldespato sanidino y plagioclasa, dispersos en una matriz de microlitos de feldespato que, a su vez, yacen en material vítreo. Estos pequeños cristales forman remolinos alrededor de los fenocristales e indican que los fenocristales han sufrido un desplazamiento relativo (caída o ascenso) en la lava aún fluida. Esta textura se denomina traquítica.

CLASIFICACIÓN

Andesita

FOTOMICROGRAFÍA XAL-07A

Se observa la matriz de microlitos de feldespato bordeando los fenocristales de sanidino y plagioclasa. Nicoles cruzados. 2.5x.

MUESTRA *XAL-07 I*

Clasto en un estrato conglomerático en el nivel estratigráfico 91 metros en el Segmento A de la columna estratigráfica. El clasto procede de las areniscas de la Formación Huayacocotla. Localidad de colecta 14Q0555118 m E, 2290137 m N.

DESCRIPCIÓN

El tamaño de grano varía de 0.05 y 0.3 mm (arena fina a media) y estos van de subredondeados a subangulares de forma alargada o discoidal, la clasificación es moderada y los contactos tienden a ser tangenciales y puntales. Se encuentra calcita como cementante y matriz fina cuarzo - feldespática (<15%). La porosidad es intergranular, baja.

COMPOSICIÓN

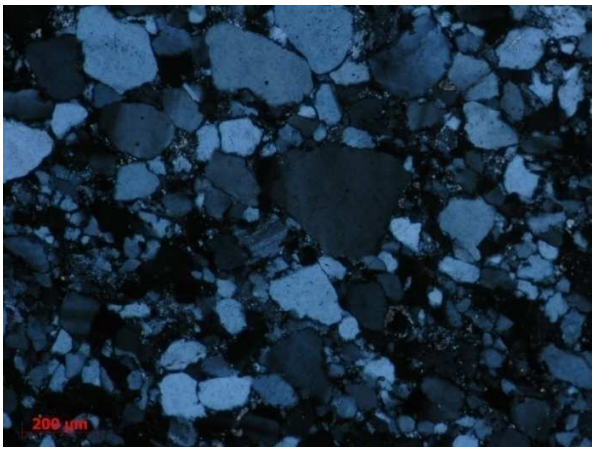
Como componente principal encontramos cuarzo monocristalino con extinción ondulante de 0.13 a 0.2 mm, subangular. Escaso cuarzo policristalino de 0.19 mm con extinción ondulante y cristales suturados, subangular (82.5%). El feldespato potásico es alargado, subredondeado a subangular, con alteración notable. Su tamaño promedio es de 0.2 mm, aunque puede encontrarse subangular, discoidal. Hay intercrecimientos de cristales de feldespato de 1.5 mm de tamaño. Las plagioclasas son angulares y escasas (14.6%). Los fragmentos de roca se presentan como esquisto de 0.05 mm, subredondeados, de contactos tangenciales (0.3%). Como accesorios se encuentran algunos opacos (2.6%).

CLASIFICACIÓN

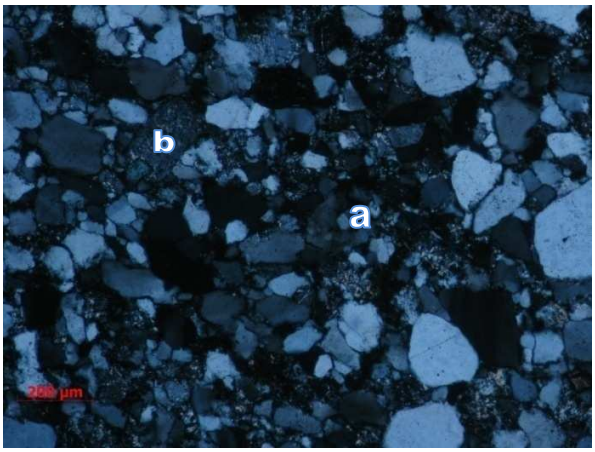
Subarcosa

FOTOMICROGRAFÍAS XAL-07 I

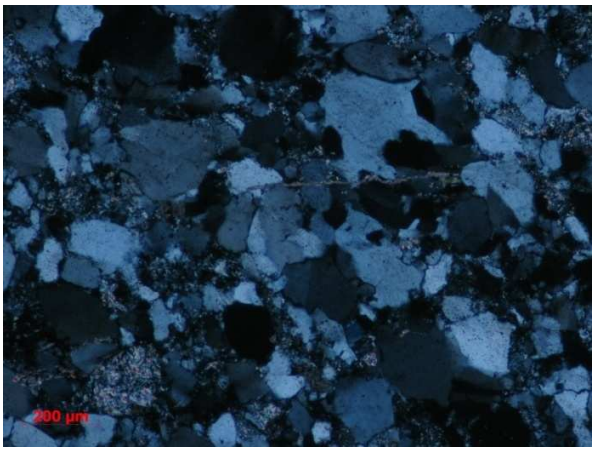
Se observa la moderada clasificación de la muestra y la variación de tamaño de sus granos. Nicoles cruzados. 2.5x.



Granos de cuarzo monocristalino con extinción ondulante de tamaño variado en contacto con grano de plagioclasa angular con alteración. Nicoles cruzados. 10x.



a) Cuarzo metamórfico policristalino en contacto tangencial con granos de cuarzo monocristalino, hacia la parte superior izquierda se encuentran b) granos de feldespato potásico alargado con alteraciones. Nicoles cruzados. 10x.



Granos de cuarzo policristalino hacia el centro. Nicoles cruzados. 10x.

MUESTRA *XAL-14A*

Se trata de una grava en la brecha observada en la cima de la Formación Xaltipa, correspondiente al nivel estratigráfico 108 metros en el Segmento B de la columna estratigráfica. La grava procede de las areniscas de la Formación Huayacocotla. Localidad de colecta 14Q0556070 m E, 2290500 m N.

DESCRIPCIÓN

La muestra es de grano del tamaño de arenas finas y limos (0.1 - 0.15 mm), con una buena clasificación. Los granos van de angulares a subredondeados, alargados y algunos equidimensionales. Los contactos son tangenciales y en ocasiones puntuales, en una fábrica compacta y con ausencia de matriz. La calcita se encuentra como cementante. La porosidad es baja, intergranular.

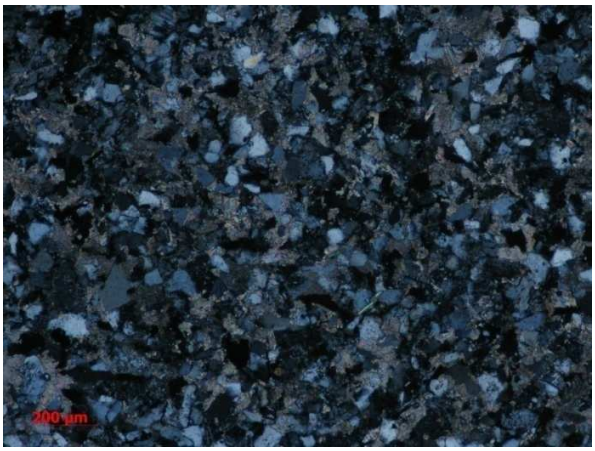
COMPOSICIÓN

Los cuarzos que se encuentran en la muestra son de tipo monocristalino con extinción ondulante y contactos tangenciales; son angulares y subangulares de 0.05 a 0.1 mm. Algunos presentan inclusiones (70%). El feldespato potásico se presenta en dos modalidades, uno poco abundante y muy alterado con tendencia a ser angular y alargado, de contactos tangenciales; otros granos se presentan poco alterados y subangulares, las plagioclasas son escasas y están muy alteradas (20%). Como minerales accesorios se encuentran micas y circones (10%). La muestra presenta metamorfismo incipente que da lugar a la formación de micas.

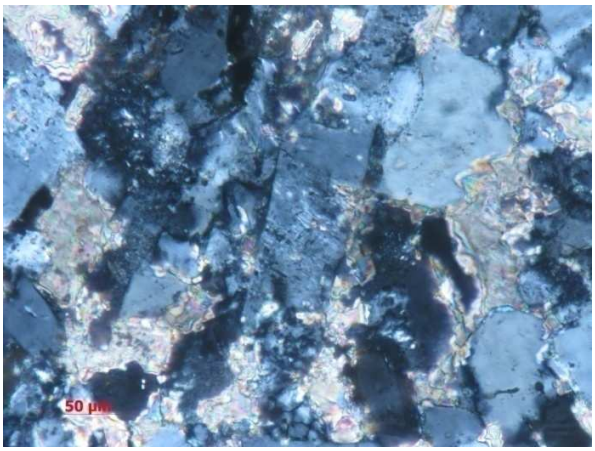
CLASIFICACIÓN

Subarcosa

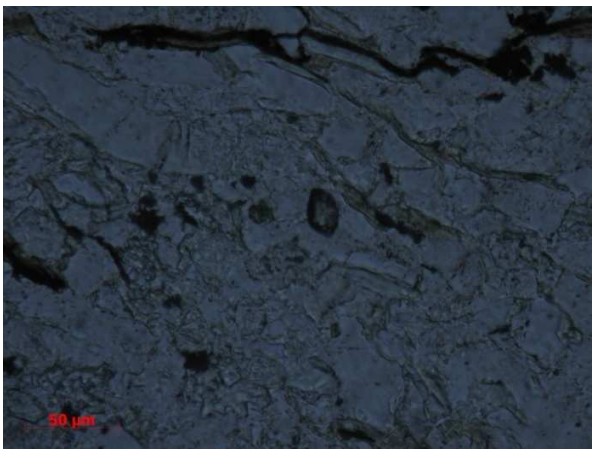
FOTOMICROGRAFÍAS XAL-14A



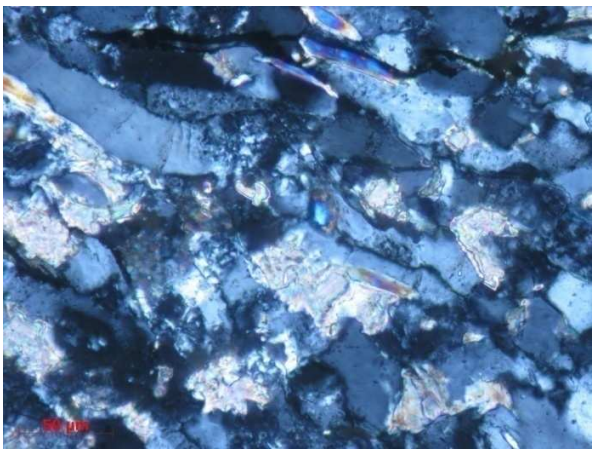
Observe la presencia de micrita como cementante entre los granos. Es notable la angulosidad de los granos. Nicoles cruzados. 10x.



Hacia el centro grano anguloso de feldespato potásico alterado, bordeado por granos de cuarzo monocristalino y cementante. Nicoles cruzados. 10x.



Hacia la parte central se observa un cristal de circón detrítico, que destaca por su alto relieve, bordeado por feldespato potásico. Luz paralela. 50x.



Fotomicrografía anterior. Nicoles cruzados. 50x.

MUESTRA *XAL-14B*

Grava en la brecha observada en la cima de la Formación Xaltipa, correspondiente al nivel estratigráfico 108 metros en el Segmento B de la columna estratigráfica. Localidad de colecta 14Q0556070 m E, 2290500 m N.

DESCRIPCIÓN

La muestra son arenas muy finas (0.5 - 0.12 mm) con clasificación pobre. Los granos son de angulares a subredondeados con forma alargada. Los contactos son puntuales. Se observa cementante calcáreo en altos porcentajes (>35%). La porosidad es baja, intergranular.

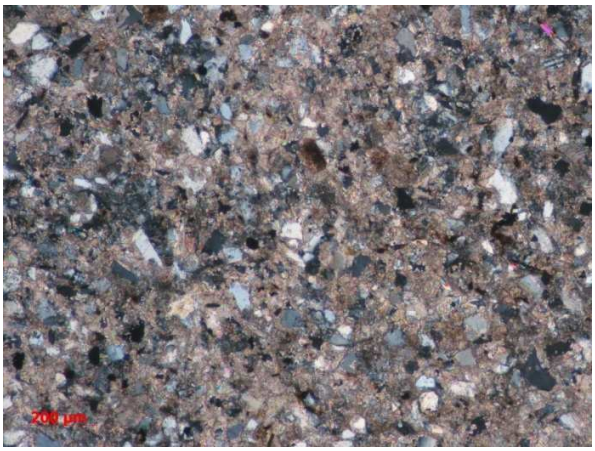
COMPOSICIÓN

El cuarzo monocristalino es el mineral más abundante con extinción ondulante (64%). El feldespato potásico es angular son alteraciones notables y angular (26%). Como minerales accesorios se encuentran algunos opacos y escasas micas (10%). Hay presencia de materia orgánica como relleno de fracturas. El carbonato de calcio se encuentra como reemplazo en la muestra.

CLASIFICACIÓN

Wacka arcósica

FOTOMICROGRAFÍAS XAL-14B



Se observa la presencia de cementante entre los granos subangulares de feldespato y cuarzo. Nicoles cruzados. 10x.

Cristal de mica bordeado por cementante. Nicoles cruzados. 20x.

MUESTRA *XAL-DZ-01 A*

Muestra del nivel estratigráfico 26 metros en el Segmento A de la columna estratigráfica. Localidad de colecta 14Q0554872 m E, 2290049 m N.

DESCRIPCIÓN

El tamaño de grano varía de 0.75 a 1 mm (arena muy gruesa), con una buena selección. Los granos van de subangulares a angulares, predominantemente alargados, embebidos en una matriz de 0.1 a 0.2 mm (arena fina) de cuarzo subredondeado a subangular cuyo porcentaje es menor al 10%. Los contactos son tangenciales y en pocas ocasiones puntuales. La porosidad es intergranular y muy baja.

COMPOSICIÓN

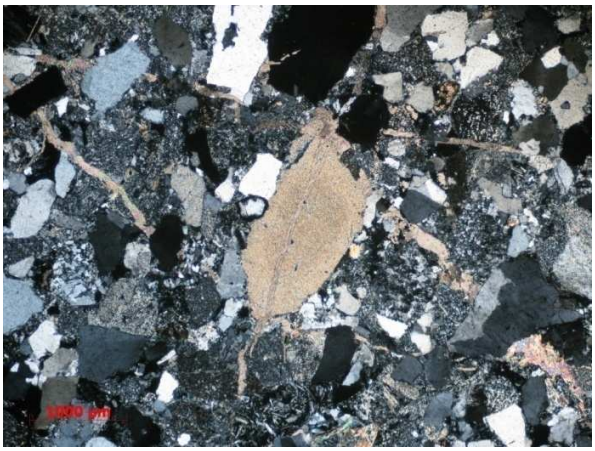
El cuarzo presente en esta muestra representa el 73.3% de la arenisca, se observa tanto de tipo monocristalino como policristalino. El primero es subangular a angular con extinción ondulante, cuyos contactos son principalmente tangenciales y el segundo como cristales suturados con extinción ondulante, de 0.75 a 1 mm. El feldespato potásico tiende a ser alargado y subangular (1 mm); en ocasiones presenta alteración intensa (arcillas). Las plagioclasas son en promedio mas pequeñas (0.2 mm) y pueden encontrarse con intensa alteración o casi nula (10.6%). Los líticos predominantes son volcánicos de composición máfica a intermedia, granitos, subredondeados, esquistos subredondeado de 1 mm (12.3%). Como minerales accesorios se encuentran algunos opacos y micas (3.8%). Hay calcita como relleno de fracturas.

CLASIFICACIÓN

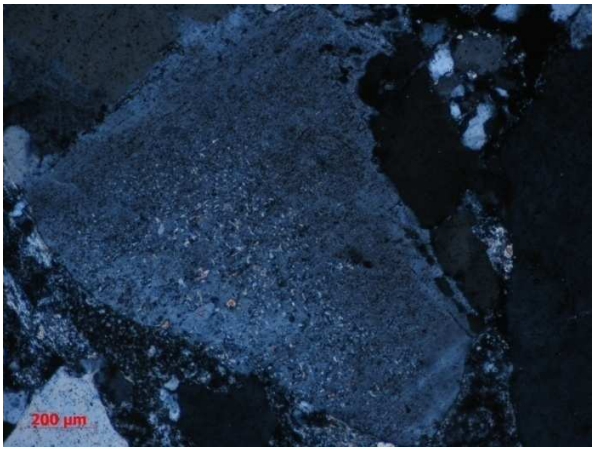
Subarcosa

FOTOMICROGRAFÍAS XAL-DZ-01A

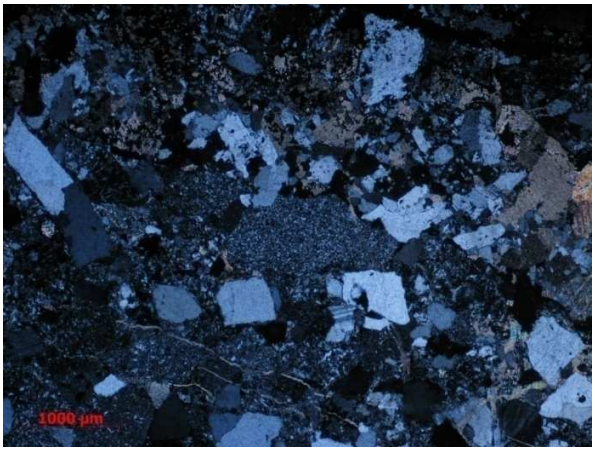
Granos de cuarzo policristalino hacia el centro y bordes. Se observan algunos granos angulares de feldespato con alteración moderada y algunos cuarzos con extinción ondulante. Nicoles cruzados. 2.5x.



Lítico subangular y alargado de esquisto hacia el centro en contacto con granos de cuarzo monocristalino y cuarzo policristalino. Nicoles cruzados. 2.5x.



Feldespato potásico alargado que presenta alteración moderada, se aprecian los contactos tangenciales. Nicoles cruzados. 10x.



Grano de cuarzo policristalino, se observan algunas plagioclasas angulares y cuarzo monocristalino. Nicoles cruzados. 2.5x

MUESTRA *XAL-DZ-01 B*

Muestra del nivel estratigráfico 26 metros en el Segmento A de la columna estratigráfica. Localidad de colecta 14Q0554872 m E, 2290049 m N.

DESCRIPCIÓN

El tamaño de grano varia de 0.3 a 0.5 mm (arena gruesa), de angulares a subredondeados de forma alargada e irregular; la clasificación es moderada. Los contactos entre los granos son tangenciales y puntales. La porosidad es intergranular, muy baja. El contenido de matriz es bajo (< 10%) en su mayoría compuesta de cuarzo, del tamaño de arena fina a media.

COMPOSICIÓN

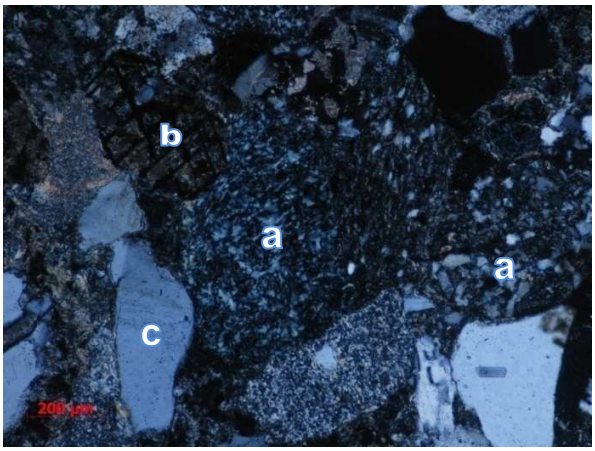
Esta muestra presenta principalmente contenidos de cuarzo monocristalino, subangular a subredondeado con extinción ondulante, de contactos tangenciales y puntuales. También puede presentarse como cuarzo policristalino subangular a subredondeado con extinción ondulante y cristales suturados, tamaño máximo de 1 mm (69.1%). El feldespato potásico tiende a ser angular con alteración (arcillas y cloritas) y contactos tangenciales. Las plagioclasas son también angulares y se encuentran mucho mas alteradas que el feldespato, de 0.5 mm (9.4%). Los líticos son areniscas subredondeadas, volcánicos de composición máfica a intermedia, granitos, esquistos subredondeados a subangulares de 0.5 mm y fragmentos metamórficos, probablemente charnokitas (14.2%). Como minerales accesorios se encuentran algunos óxidos bordeando a algunos líticos, piroxenos con alteración en forma de clorita (7.3%)

CLASIFICACIÓN

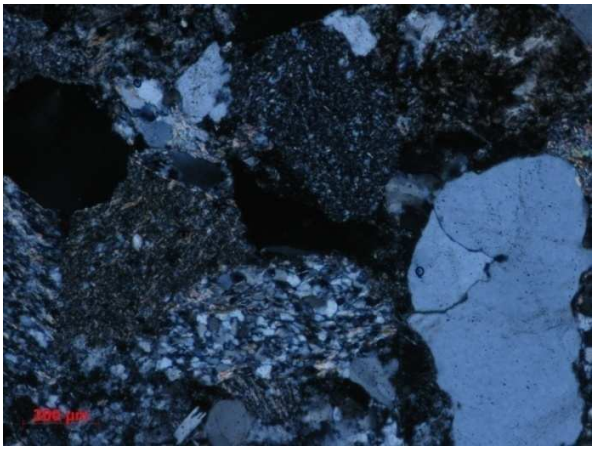
Sublitarenita

FOTOMICROGRAFÍAS XAL-DZ-01B

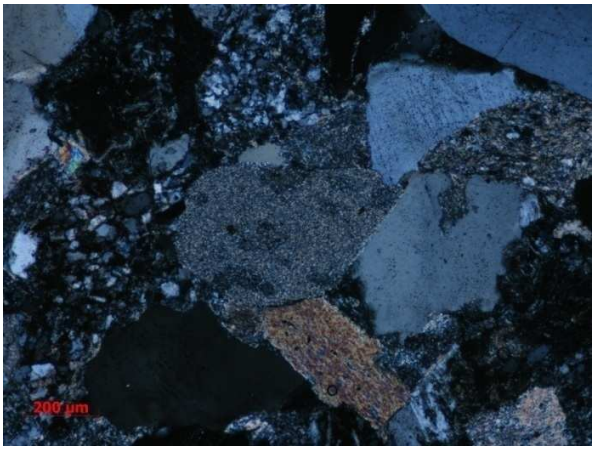
Fotomicrografía que muestra la disposición general de los granos en la lámina delgada, su moderada clasificación y la poca abundancia de la matriz. Se observan gran cantidad de líticos, cuarzo monocristalino, feldespatos y cuarzo policristalino. Nicoles cruzados. 2.5x.



a) Grano de cuarzo policristalino en contacto cóncavo-convexo con un cristal de b) piroxeno y tangencial con otros líticos y c) cuarzo monocristalino. Nicoles cruzados. 10x.



Cuarzo policristalino en contacto tangencial con otros líticos y cuarzo monocristalino. Nicoles cruzados. 10x.



Lítico de esquisto en la parte central en contacto tangencial con granos de cuarzo policristalino metamórfico. Nicoles cruzados. 10x.

MUESTRA *XAL-DZ-02*

Se trata de una arenisca de la Formación Huayacocotla colectada en Cerro Barro Colorado sobre la carretera entre los poblados de Huayacocotla y Zilacatipán, Ver. Localidad de colecta 14Q0558073 m E, 2283100 m N.

DESCRIPCIÓN

El tamaño de grano varia de arena fina a media, su clasificación es moderada y se caracteriza por la ausencia de matriz, por lo cual tiene una fábrica muy compacta con contactos tangenciales, aunque también se presentan suturas. Los granos son en su mayoría de subangulares a subredondeados de forma alargada. Su porosidad es muy baja, intergranular.

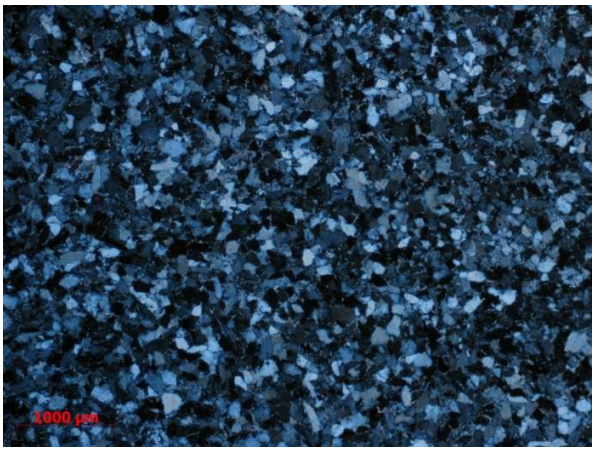
COMPOSICIÓN

Uno de los componentes de esta muestra es cuarzo de tipo monocristalino con extinción ondulante, subangular. Puede encontrarse también algunos granos de tipo policristalino con extinción ondulante con contactos suturados, subangulares a subredondeados (77.2%). El feldespato potásico se encuentra de 0.1 a 0.2 mm de tamaño, angular y alargado con alteraciones notables, aunque puede encontrarse angular con poco alteración. Hay microclina angulosa alargada (0.25 mm) con alteraciones. Las plagioclasas se encuentran angulares con poca alteración (0.15 mm) (21.8%). Como minerales accesorios se encuentran algunos opacos escasos y circones detríticos (1%).

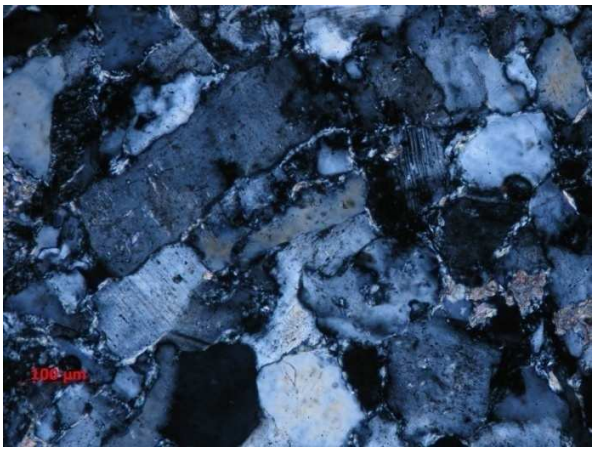
CLASIFICACIÓN

Subarcosa

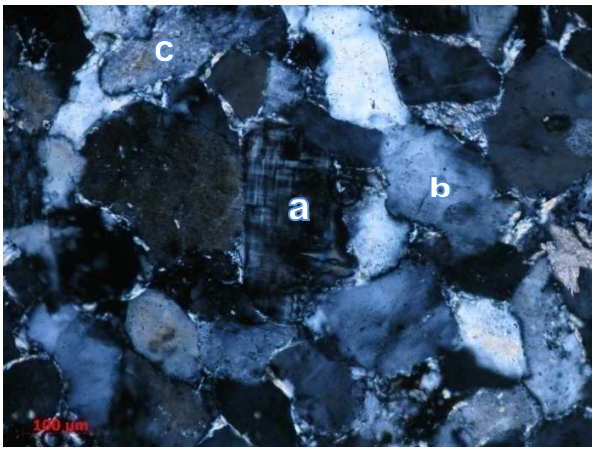
FOTOMICROGRAFÍAS XAL-DZ-02



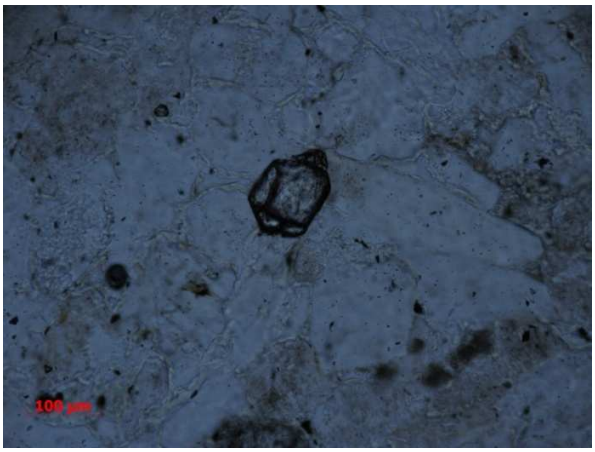
Se observa la fábrica compacta generada por la ausencia de matriz, por lo cual predominan los contactos tangenciales. Nicoles cruzados. 2.5x.



Al centro grano de feldespato potásico alargado y angular en contacto con cuarzo y plagioclasa. Nicoles cruzados 20x.



a) Grano de microclina angular en contacto tangencial con b) granos de cuarzo monocristalino. c) Feldespato potásico con alteraciones. Nicoles cruzados. 20x.



Al centro cristal de circón detrítico que destaca por su alto relieve Luz paralela. 20x.

LEYENDA

SIMBOLOGÍA GEOLÓGICA

- Kt — GrupoTamaulipas (Cretácico)
- Jsp — Formación Pimienta (Jurásico Superior)
- Jssa — Formación San Andres (Jurásico Superior)
- Jsx — Formación Xaltipa (Jurásico Superior)
- Jih — Formación Huayacocotla (Jurásico Inferior)
- Pt — Formación Tuzancoa (Pérmico)
- pЄh — Gneis Huiznopala (Precámbrico)

- Contacto geológico
- Contacto geológico inferido
- Xal-05 — Localidad descrita y muestra
- Xal-07 — Muestra petrográfica y/o procedencia
- A — Sitio de medición de columna estratigráfica
- Sección con registro de facies
- 25° — Rumbo y echado medidos
- Falla normal
- Falla normal inferida
- Detachment
- A — A´ — Línea de sección
- Anticlinal
- Anticlinorio

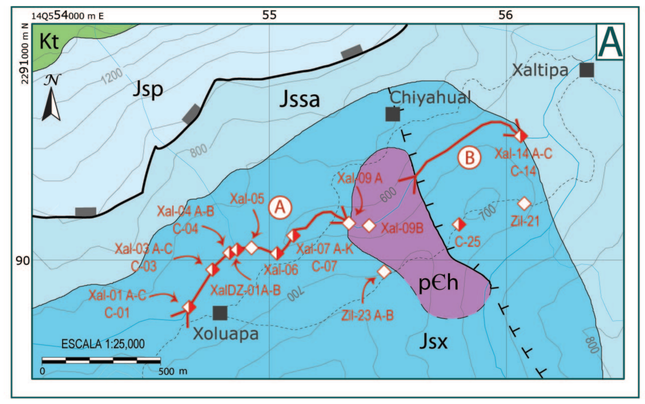
SIMBOLOGÍA TOPOGRÁFICA

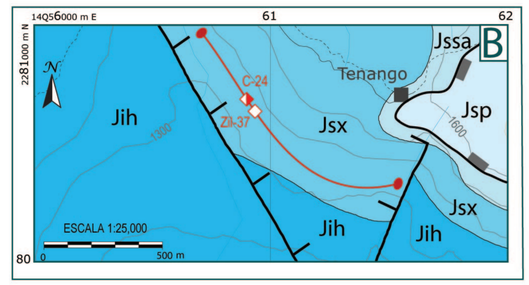
- Poblados
- Carretera
- Terracería
- Veredas
- 1700 — Curva de nivel
- Corriente perenne

ELIPSOIDE: GRS80
DATUM: ITRF92
CUADRÍCULA: UTM Cada 1000 m
INTERVALO DE CONFIGURACIÓN: 100 m

FUENTE: Base Topográfica Digital INEGI
Carta Zacualtipán F14 D-62

VARIACIÓN MAGNÉTICA ANUAL: 4´
DECLINACIÓN MAGNÉTICA (2009) 5°39´

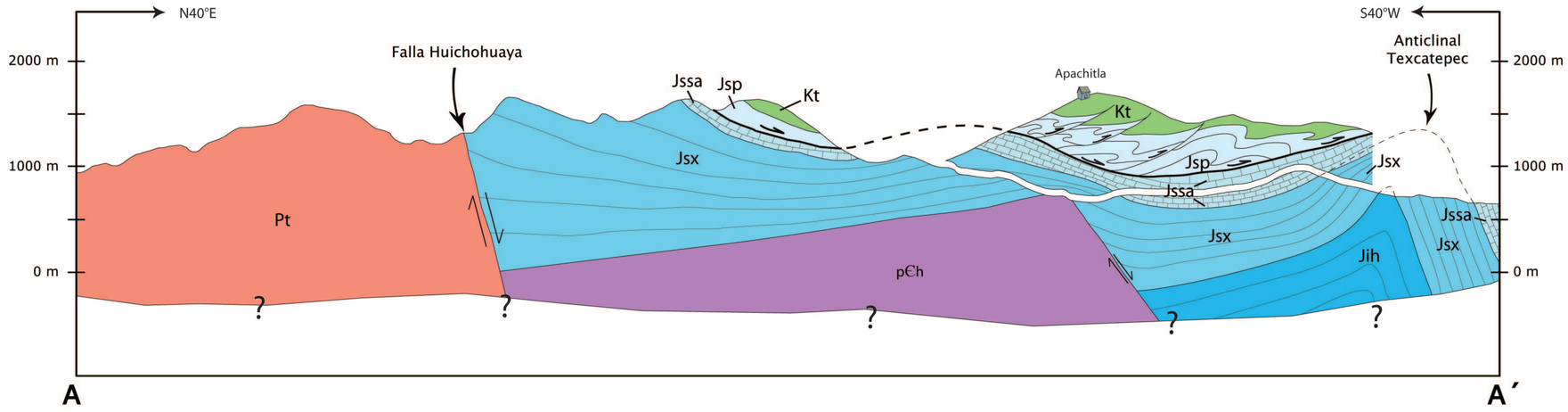




ESCALA 1:50,000

1000 m 0 1 2 3 4 Km

LOCALIZACIÓN



UNAM | FACULTAD DE INGENIERÍA

MAPA GEOLÓGICO

ESTRATIGRAFÍA Y FACIES DE LA FORMACIÓN XALTIPA, REGIÓN DE HUAYACOCOTLA, VER.

TESIS PROFESIONAL

MARÍA DE LOS ANGELES VERDE RAMÍREZ | 2009