

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

Contribución al conocimiento geológico del Anticlinorio de Huayacocotla, mediante el análisis sedimentológico-estratigráfico de afloramientos del Paleozoico Superior, en la región de Calnali, Hgo.

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Geólogo

P R E S E N T A

José Fernando Gutiérrez Alejandre

DIRECTOR DE TESIS

M. en C. Noé Santillán Piña



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Contenido

1. Generalidades	
1.1 Objetivos.....	1
1.2 Metodología de trabajo.....	2
1.3 Ubicación del área de estudio y vías de acceso.....	3
1.4 Fisiografía.....	6
1.5 Hidrografía y clima.....	7
1.6 Trabajos geológicos previos.....	9
2. Geología regional	
2.1 Sedimentología y estratigrafía.....	12
2.2 Precámbrico-Gneiss Huiznopala.....	17
2.3 Paleozoico-Formación Tuzancoa.....	19
2.4 Tríasico- Formación Huizachal.....	21
2.5 Jurásico.....	21
2.6 Cretácico.....	24
2.7 Cenozoico.....	26
2.8 Tectónica y evolución geológica.....	27
2.9 Anticlinorio de Huayacocotla.....	30
3. Geología local	
3.1 Descripción general y ubicación de afloramientos.....	31
3.2 Análisis del afloramiento de Calnali, Hidalgo.....	35
3.2.1 Medición de columna estratigráfica.....	35
3.2.2 Descripción del contenido paleontológico.....	40
3.2.3 Petrología de muestras representativas.....	42
3.2.4 Análisis sedimentológico-estratigráfico y características del ambiente de depósito.....	47
3.3 Análisis del afloramiento Papaxtla, Hidalgo.....	48
3.3.1 Medición de columna estratigráfica.....	48
3.3.2 Descripción del contenido paleontológico.....	52
3.3.3 Petrología de muestras representativas.....	53
3.3.4 Análisis sedimentológico-estratigráfico y características del ambiente de depósito.....	57
3.4 Interpretación paleoambiental del área de estudio.....	58
4. Conclusiones y recomendaciones.....	61

Agradecimientos

Este trabajo va dedicado con mucho amor y cariño principalmente a mis padres, Víctor Fernando y Ana Bertha, y a mi hermana Ana Paulina. Gracias por todo el apoyo y amor desinteresado que me han brindado siempre, por la paciencia que me han tenido, yo se que soy una persona bastante difícil de tratar pero ustedes a pesar de todo siempre han estado ahí para mi, al pie del cañón y listos para vencer una batalla mas juntos. Gracias por estos 24 años increíbles y sobre todo gracias por estar en mi vida, muy pronto podre empezar a compensar todo lo que me han dado y eso me emociona mucho. Estoy eternamente agradecido con ustedes por guiarme y formarme. Los amo inmensamente.

A mis 2 abuelitas, Isabel y Rosario, por todo su amor y todos los grandes momentos juntos, todo lo que me han enseñado de la vida y todos los consejos que me han dado. Las llevo siempre en mi corazón y son un gran regalo de la vida. Gracias por estar en mi vida.

Gracias a toda mi familia que siempre han estado ahí, gracias por las palabras de ánimo, las platicas y por creer en mí. Especialmente a mis tías consentidas Rita y Carmen, así como a mis primas Laura e Isabel, las quiero mucho, gracias por ser siempre un apoyo y por demostrarme una y otra vez que nuestro lazo es tan fuerte que no necesitamos vernos tan seguido para saber que nos tenemos el uno al otro. Ustedes 2 Rita y Carmen son como mis segundas madres. ¡Gracias por el apoyo de las 2! Siempre me tendrán ahí para ustedes. Laura e Isa, gracias por la amistad que me han brindado, sincera y leal, que yo se durara toda la vida.

Gracias a esta gran universidad y a este gran país, estoy orgulloso de ser mexicano y puma. Gracias a mi director de tesis, el ingeniero Noé Santillán Piña por el aprendizaje y por la paciencia, por no desesperarse y por el apoyo. Gracias a todos mis sinodales y a los profesores que contribuyeron a mi formación. ¡No hay manera de pagar tanto!

Gracias por tanto dios...

Resumen

En la región comprendida entre los poblados Calnali y Papaxtla, Hgo., norte del Anticlinorio de Huayacocotla, mediante el análisis sedimentológico-estratigráfico resultado de la medición de 2 columnas estratigráficas de afloramientos representativos del Paleozoico Superior (Formación Tuzancoa), convenientemente seleccionados, se propone un modelo sedimentológico fundamentado en la interpretación del paleoambiente sedimentario de cada afloramiento, que sirva como base para realizar una contribución al conocimiento geológico de dicha zona.

Localizado a 2.4 kilómetros al oeste de Calnali, Hgo., se localiza el primer afloramiento analizado detalladamente, en este, se midió una columna estratigráfica de 61 metros en la que se registraron características sedimentológicas y paleontológicas que convergen a que el depósito se dio en condiciones transicionales, muy cercano a la zona central de una laguna costera, donde la presencia de arenas-lutitas es constante y la coexistencia de material fósil de origen continental con material fósil de origen marino es factible, considerando que para su conservación el de tipo continental tuvo que ser arrastrado cortas distancias por las corrientes fluviales.

Por su parte, el segundo afloramiento analizado se localiza a 800 metros al noroeste de Papaxtla, Hgo., en este, se midió una columna estratigráfica de 81 metros en la que se evidencia la abundancia de depósitos arenosos sobre los limo-arcillosos, así como la ausencia de contenido fósil de origen marino, indicando condiciones de depósito con baja influencia de mareas y oleaje, favoreciendo así el aporte de la fracción arenosa sin descartar facies en condiciones cercanas a la desembocadura de un río dentro de la misma laguna costera.

Abstract

In the region between the towns of Calnali and Papaxtla, Hgo., North of Huayacocotla Anticlinorium, through the sedimentological-stratigraphic analysis from the result of the measurement of 2 stratigraphic columns of representative outcrops from the Upper Paleozoic (Tuzancoa Formation), conveniently selected, a sedimentological model is proposed based on the interpretation of the sedimentary paleoenvironment of each outcrop, which serves as a basis for making a contribution to the geological knowledge of that area.

Located 2.4 kilometers west of Calnali, Hgo., Is located the first outcrop analyzed in detail, in this, a 61-meter stratigraphic column was measured in which sedimentological and paleontological characteristics were recorded that converge to the theory that the deposit took place in transitional conditions, very close to the central zone of a coastal lagoon, where the presence of sand-shales is constant and the coexistence of continental fossil material with marine fossil material is feasible, considering that for its conservation the continental type had to be dragged short distances by the low energy fluvial flows.

On the other hand, the second analyzed outcrop is located 800 meters northwest of Papaxtla, Hgo., In this, a 81 meters stratigraphic column was measured in which the abundance of the sand deposits over the clay-silt deposits is evident, as well as the absence of marine fossil material, indicating deposit conditions with low influence of tides and waves, thus favoring the contribution of the sandy fraction without discarding facies in conditions near of a river mouth within the same coastal lagoon.

Capítulo 1 “Generalidades”

1.1 Objetivos

1. *Describir litológica y estratigráficamente los afloramientos del Pérmico estudiados en la región norte de la megaestructura conocida como Anticlinorio de Huayacocotla, en las proximidades de los poblados de Calnali y Papaxtla, Hgo; como base para realizar una contribución al conocimiento geológico-estratigráfico del área.*
2. *Interpretar el paleoambiente sedimentario de 2 afloramientos pérmicos representativos, tomando como base la medición y análisis de 2 columnas estratigráficas; y mediante estudios de petrografía y contenido paleontológico.*
3. *Proponer un modelo sedimentológico fundamentado en el análisis de la información, que contribuya al conocimiento geológico del Paleozoico Superior expuesto en el Anticlinorio de Huayacocotla.*

1.2 Metodología de trabajo

Importante es mencionar que el presente trabajo forma parte de la investigación realizada para el proyecto PAPIIT con clave IN115417, DGAPA, UNAM.

Una vez planteados los objetivos a alcanzar, se procedió con la correspondiente búsqueda y recopilación de información existente de la zona de trabajo, buscando tener un punto de partida teórico previo. Con el fin de alcanzar los objetivos propuestos fue necesario involucrar tanto trabajo de campo como trabajo de gabinete, por lo que se desarrollarán 3 visitas a campo espaciadas durante los meses de febrero, abril y junio del año 2017.

La primera salida a la zona de trabajo se realizó del 16 al 19 de febrero del 2017 teniendo como principal objetivo un reconocimiento general. La siguiente visita se realizó del día 20 al 23 del mes de abril del mismo año, siendo el objetivo de ésta la medición de una de las columnas estratigráficas seleccionadas, ubicada dentro del municipio de Calnali, Hgo. Por último, se realizó otra salida donde se hizo la medición de la segunda columna estratigráfica cerca del poblado de Papaxtla, Hgo., ubicado en el municipio de Xochicoatlán durante los días 25, 26 y 27 de agosto.

Los afloramientos seleccionados para la medición de ambas columnas estratigráficas se eligieron en función de los siguientes criterios: nivel de exposición, grado de intemperismo (el cual debía favorecer la descripción litológica en afloramiento, así como la toma de muestras de roca para su posterior análisis petrográfico) y finalmente la ubicación geográfica conveniente para el correcto avance del proyecto.

En cada columna se tomaron varias muestras de roca representativas para su posterior análisis petrográfico en laboratorio, complementando así los criterios para dar una interpretación sedimentológica con mayor precisión. Para la toma de muestras se siguieron criterios como el grado de alteración, conveniencia dentro de la columna estratigráfica, cambio de litología y contenido fosilífero.

Compaginado con la medición de las columnas estratigráficas un equipo de biólogos enfocados a la paleontología dirigidos por la Dra. Patricia Velasco de León, misma que encabeza el proyecto PAPIIT. Su equipo realizo

el levantamiento del contenido fosilífero (registro fósil) dentro de los afloramientos seleccionados, de modo que al mismo tiempo que se identificaron las litologías *in situ* también se identificó el contenido fosilífero y se registró en la columna estratigráfica, siendo éste un punto clave al momento de definir el ambiente de depósito del área de estudio.

La carta geológico-minera Calnali F14D52 del servicio geológico mexicano cubre el área de estudio.

1.3 Ubicación del área de estudio y vías de acceso

El estado de Hidalgo limita al norte con San Luis Potosí, al sur y SW con los estados de México y Tlaxcala, al este y NE con Puebla y Veracruz y al NW con el estado de Querétaro. Su superficie total aproximada es de 20,900 km², misma que representa cerca del 1.06% de la totalidad de superficie mexicana.

La región donde se desarrolló el presente trabajo se localiza al NE del Estado de Hidalgo, en las cercanías de la frontera con Veracruz y dentro de los municipios de Calnali y Xochicoatlán. Como referencia la zona estudiada se encuentra aproximadamente a 120 km en línea recta de Tuxpan, Veracruz, a 85 km rectos al NE de la ciudad de Pachuca y 170 km rectos al NE de la capital del país.

El municipio del Calnali, limita al norte con el municipio de Tlanchinol, al sur con Xochicoatlán y Tianguistengo, al este con Huazalingo y Yahualica, y al oeste con Lolotla. La extensión territorial del municipio es de 190.2 km². Por otro lado, el municipio de Xochicoatlán colinda al norte con los municipios de Calnali y Lolotla, al sur con Tianguistengo y Metztitlán, al oeste con los municipios de Molango y Lolotla, y al este con el municipio de Tianguistengo. La principal vía de acceso terrestre a las localidades es la carretera México-Pachuca/México 85D desde la capital del país y posteriormente la carretera Pachuca-Huejutla de Reyes/México 105, misma que atraviesa los pueblos Zacualtipán, Molango y Lolotla hasta llegar a Calnali (Figura 1).

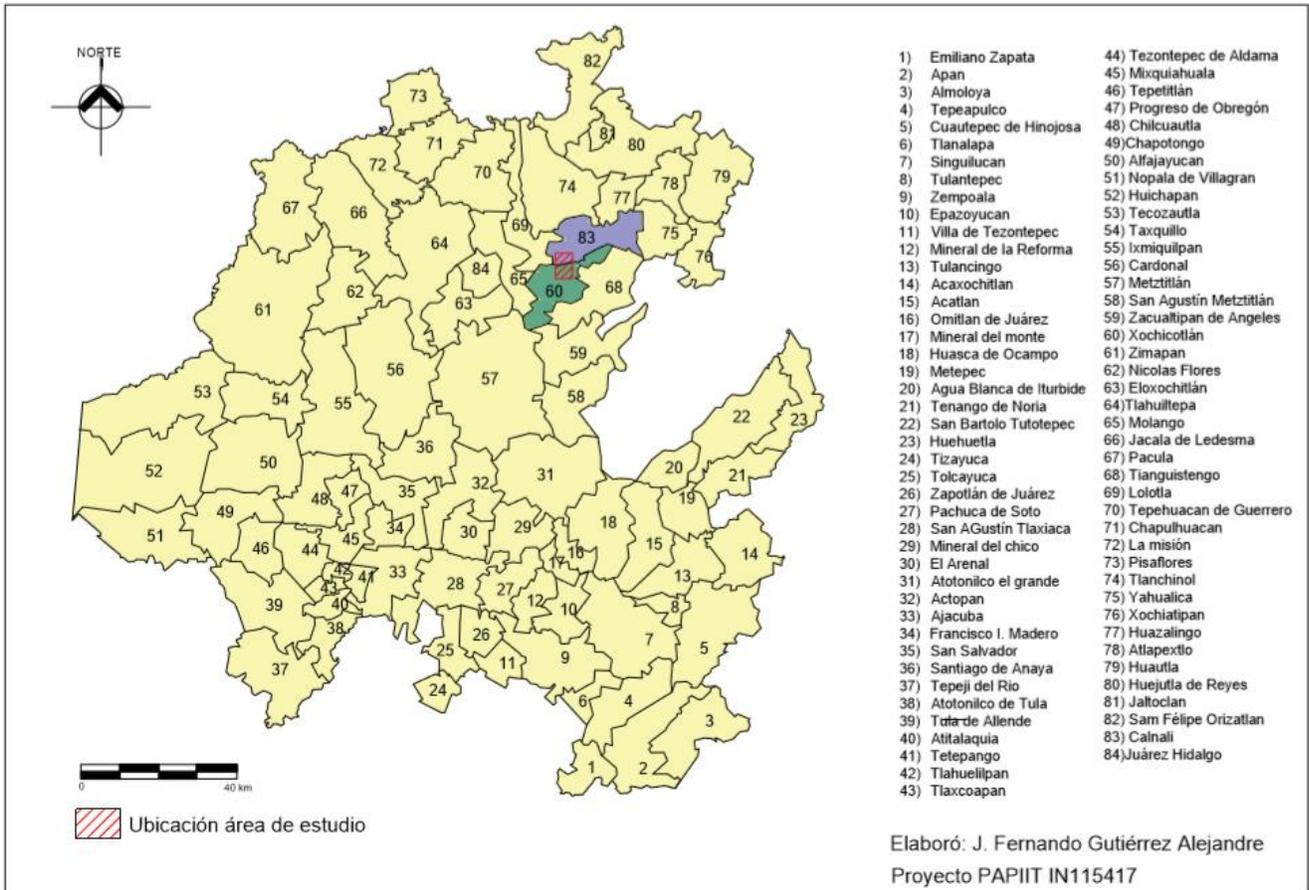


Figura 1. Ubicación área de estudio (modificada de INEGI, 2015).

La primera columna estratigráfica fue medida en las cercanías del pueblo de Calnali, aproximadamente a 3 km al oeste del mismo, siguiendo la carretera en dirección a Molango dentro del municipio de Calnali. Para acceder al afloramiento es necesario caminar aproximadamente 50 metros desde la carretera hacia el pastizal bardeado. Mientras que el afloramiento seleccionado para la medición de la segunda columna estratigráfica se encuentra aproximadamente a 12 kilómetros en línea recta hacia el sur de Calnali, sin embargo, es necesario rodear por carretera hacia el pueblo Tianguistengo y posteriormente tomar el camino de terracería con dirección a la pequeña comunidad de Papaxtla (Figura 2).

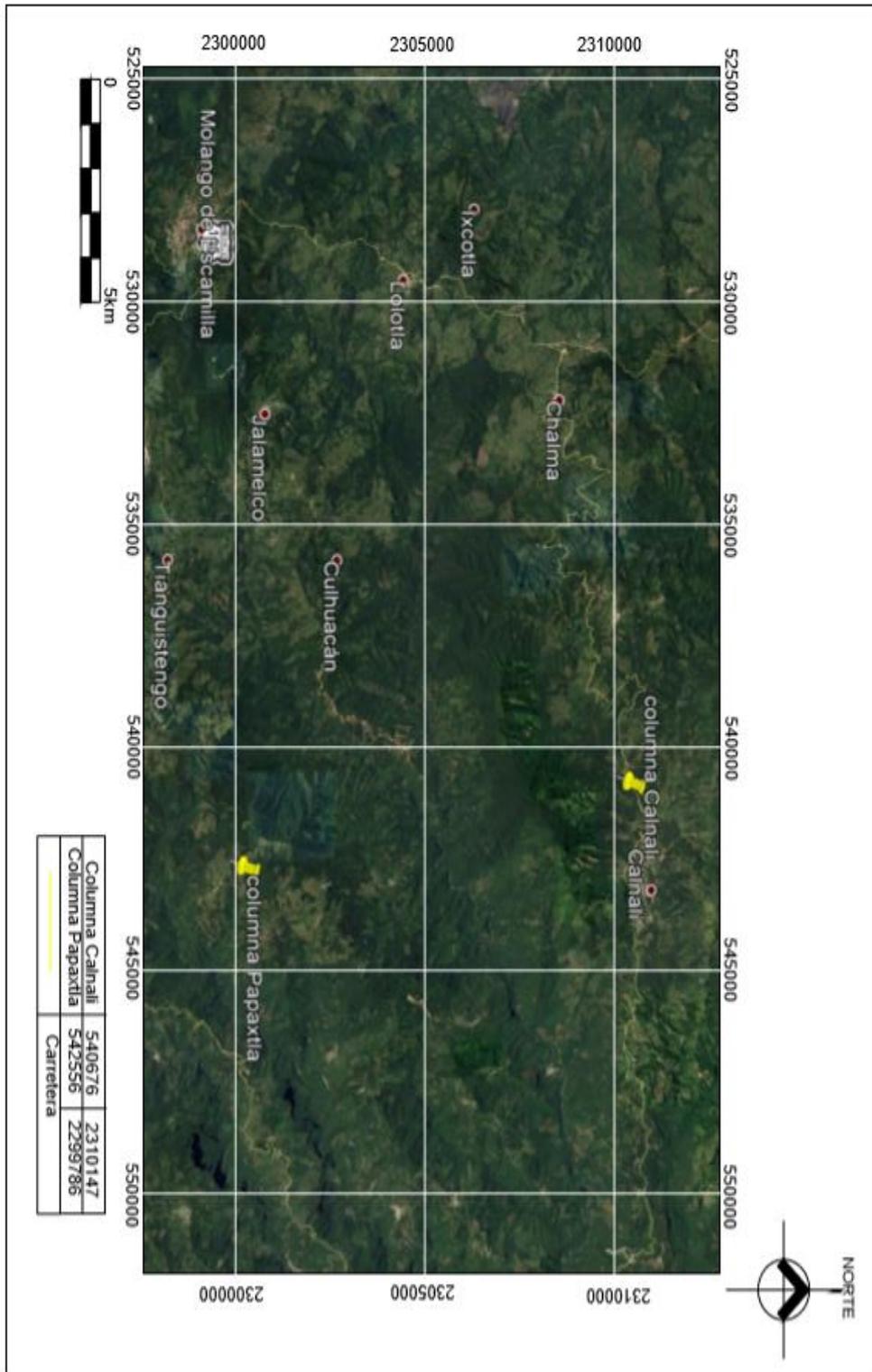


Figura 2. Localización de las columnas estratigráficas (modificado de Google earth, 2017).

1.4 Fisiografía

Los límites del estado de Hidalgo abarcan áreas geográficas correspondientes a tres provincias fisiográficas de México: la Sierra Madre Oriental, el Eje Neovolcánico Transversal y la Llanura Costera del Golfo Norte (INEGI, 2004). La Provincia de la Sierra Madre Oriental se extiende en la parte norte de la entidad de manera paralela a la Costa del Golfo de México desde el límite con San Luis Potosí hasta el norte de la ciudad de Pachuca.

La Provincia del Eje Neovolcánico Transmexicano se extiende por la parte sur del estado en dirección E-W y abarcando ciudades como Pachuca, Tula, Huichapan y Tulancingo. A su vez esta se divide en 2 subprovincias: Llanuras y sierras de Querétaro e Hidalgo y la subprovincia de Lagos y volcanes de Anáhuac (Figura 3).

La Provincia de la Llanura Costera del Golfo Norte cubre sólo una pequeña porción en el noreste del estado y parte de Tamaulipas, Nuevo León, San Luis Potosí y Veracruz. Es formada por depósitos marinos, relacionados a la etapa de transgresión marina y extensional de la apertura del Golfo de México (Pemex, 2010).

El área correspondiente al presente trabajo se ubica en el cinturón de pliegues y cabalgaduras de la Sierra Madre Oriental, dentro de la subprovincia del Carso Huasteco y en la parte central del anticlinorio de Huayacocotla (Carrillo-Bravo, 1965). La morfología se caracteriza por un relieve abrupto con elevaciones de entre 1600 a 2000 metros sobre el nivel del mar.



Figura 3. Provincias fisiograficas en Hidalgo, México (Modificado de INEGI, 2004).

1.5 Hidrografía y Clima

Las aguas superficiales del Estado de Hidalgo están distribuidas en dos regiones hidrológicas: RH26 “Panuco” y RH27 “Tuxpan-Nautla”. La primera de estas (Panuco) cubre el 94.95% del territorio del estado mientras que la región hidrológica Tuxpan-Nautla cubre apenas el 5.05% restante cerca de los límites con el estado de Puebla, en el extremo SE del estado.

El área referida en el presente trabajo es drenada por los ríos Pochula, Calnali y Tlacolula, pertenecientes a la cuenca del Panuco. Entre las principales corrientes pluviales o ríos dentro del estado de Hidalgo se encuentran el río Tula, el río Amajac y el río Metztlán. En referencia a las aguas subterráneas, según datos de la Comisión Nacional de Aguas (CONAGUA) la entidad tiene delimitados 21 acuíferos con un balance hídrico en general positivo, es decir, que la recarga representa valores mayores que la extracción.

Solo los acuíferos 1307 Huichapan-Tecozautla y 1317 Valle de Tulancingo representan valores hídricos negativos. Algunos de los principales acuíferos del estado son: 1301 Zimapán, 1310 Valle del mezquital, 1313 Actopan-Santiago de Anaya.

El clima de la región se caracteriza esta zona por ser de clima semitropical y húmedo, con una temperatura media de 20° C. Existen diversas variaciones de los climas en la Sierra de Hidalgo debido principalmente a las grandes diferencias de elevaciones y a la orientación de las montañas, caracterizándose 2 zonas:

- *Zona norte oriental: en esta los vientos húmedos provenientes del golfo de México descargan casi la totalidad de su humedad, lo que provoca un clima húmedo y frío. Las precipitaciones pluviales de esta zona son aproximadamente de 2300 milímetros anuales.*
- *Zona sur occidental: Se caracteriza por tener relieves de valles profundos con clima semi cálido.*

Los meses con mayores precipitaciones pluviales son de julio a febrero, durante la mayor parte del año la neblina es una constante en la región. El relieve abrupto y las lluvias representarán un reto para el desarrollo de esta tesis pues más de una ocasión la lluvia no nos permitió avanzar con las actividades programadas, volviendo los caminos intransitables. La temperatura varía entre 15 y 35°C durante todo el año.

1.6 Trabajos geológicos previos

La región estudiada forma parte del distrito manganesífero de Molango, uno de los principales distritos productores de manganeso a nivel mundial y que ha estado explotando desde 1968. Esto ha generado el desarrollo de investigación científica en la región y sus inmediaciones, propiciando a un mayor conocimiento geológico regional, biológico y paleontológico. La búsqueda de bibliografía del área puso en evidencia las discrepancias y diferencias que reporta la comunidad científica a lo largo del tiempo con respecto a la región en cuestión. A continuación, se hace un resumen cronológico de la información consultada.

En 1958 se reportaron las primeras aportaciones geológicas de la zona por parte de Von Kuegelgen, quien encontró por primera vez afloramientos del basamento cristalino en el área, aportando la descripción y análisis petrográfico del mismo. Delimitó 6 unidades estratigráficas: Basamento (Gneiss Huiznopala), Jurásico Inferior, Medio y Superior (Formación Huayacocotla y Huizachal), Cretácico inferior y rocas volcánicas de edad terciaria. No encontró rocas paleozoicas. De igual manera aportó la primera cartografía del área central del anticlinorio de Huayacocotla.

Martínez- Pérez (1962) se enfocó en la región Zacualtipan/Tianguistengo ubicada pocos kilómetros al sur del área delimitada en el presente trabajo, siendo el primero en mencionar secuencias marinas paleozoicas (Formación Guacamaya) y lechos rojos triásicos que componen a la Formación Huizachal.

Carrillo-Bravo (1965) establece, basado en los aportes de Martínez-Pérez, la columna estratigráfica en la parte central del Anticlinorio de Huayacocotla, definió a las rocas expuestas en la región de Calnali-Tianguistengo como una extensión de la Formación Guacamaya, que aflora al noroeste de Ciudad Victoria, Tamaulipas.

Frías y Rincón-Orta (1965) estudiaron las rocas del basamento cristalino mencionadas por Von Kuegelgen y las rocas paleozoicas descritas por Martínez-Pérez, aportaron el fechamiento mediante zircones de la Formación Huiznopala, asignándole una edad precámbrica.

En 1971 Cantú-Chapa define la "serie huasteca" que integra formaciones del Jurásico Superior (Pimienta, Tepexic, Santiago y Taman), describiendo la litología y definiendo el ambiente de depósito de éstas.

Hermoso de la Torre y Martínez-Pérez (1972) y Aguayo-Camargo (1977) caracterizaron las litologías y la sedimentología de las formaciones del Jurásico Superior. Buitrón describió contenido fósil en la región de Calnali (1987), haciendo referencia a crinoides pensilvánicos.

Moreno-Cano y Patiño-Ruíz (1981) estudiaron la zona delimitada por el municipio Calnali, definiendo rocas paleozoicas de la Formación Guacamaya y lechos rojos triásicos.

Ochoa-Camarillo (1996) elaboró su tesis de maestría enfocado en la región de Molango, Hgo. ubicado al SW del poblado de Calnali. En dicha tesis describe la estratigrafía, y eventos tectónicos del Anticlinorio de Huayacocotla. Separa a la Formación Otlamalacatla de la Formación Tuzancoa. Es importante mencionar que este autor no registró la presencia del Triásico en la región.

Por su parte Arellano Gil (1998) se enfocó en estudiar la región comprendida entre los poblados Pemuxco y Mimiaguaco, analizando la secuencia sedimentaria del Pérmico Inferior hasta el Cretácico Superior. Arellano menciona para la Formación Guacamaya un ambiente de depósito de cuenca profunda cercano al talud mientras que para la Formación Huizachal la relaciona con un ambiente fluvial meándrico.

Ochoa-Camarillo y Buitrón (1998) se enfocaron en la región cercana al pueblo de Molango, zona ubicada al norte de la región estudiada por Arellano Gil. Ellos definieron la bioestratigrafía jurásica de la zona, dentro de la Formación Huayacocotla. Ellos definen una transición de ambiente marino a continental desde el miembro intermedio de la Formación Huayacocotla hasta el miembro superior, llegando a esta conclusión debido a la presencia de amonitas en la parte intermedia que indican ambiente marino y plantas continentales en la parte superior de la formación.

Silva-Pineda y Buitrón-Sánchez (1999) estudiaron el contenido fósil de plantas contenida en las formaciones Huizachal, Huayacocotla, Cahuwasas y Tepexic. Definen edades triásicas y jurásicas para dichas formaciones.

Ochoa-Camarillo en su tesis de maestría (1996) renombra las rocas paleozoicas definidas por Moreno-Cano y Patiño-Ruíz (1981) como jurásicas (Formación Huayacocotla), sin embargo, excluye el área cercana al pueblo Calnali pues difiere en cuanto a litología y contenido faunístico con las demás. Maynard, et. al. (1995) proponen un modelo para analizar la

subsistencia por tectónica de los depósitos sedimentarios del área de Molango.

Rueda-Gaxiola, et. al. (2003) analizaron la bioestratigrafía, cronoestratigrafía y paleoecología de los lechos rojos del área Huizachal y Calnali.

Rosales-Lagarde (2005) expone que las rocas del noreste del estado de Hidalgo no corresponden con la estratigrafía de la Formación Guacamaya, misma a la que han sido relacionadas. En cambio, relaciona dichas rocas con una cuenca intra-arco siendo evidencia de un arco continental submarino del Pérmico Temprano. Abundantes rocas volcánicas y vulcano clásticas son más representativas de un arco continental que de una orogenia tipo flysch. Renombra a la Formación Guacamaya como Formación Tuzancoa.

Una de las publicaciones más recientes es la de Centeno-García (2005), donde explica y propone que en su mayoría el centro de México está formado por mosaicos de terrenos pre-jurásicos, indicando la posible relación de partes del este de México con un evento de colisión continental al final del Paleozoico y seguido por eventos tectónicos de rifting y extensionales durante el Jurásico Medio y tardío.

Centeno-García (2005) define a la Formación Guacamaya como perteneciente al terreno de la Sierra Madre y a la Formación Tuzancoa como la parte sur del mismo terreno.

Capítulo 2 “Geología regional”

La geología de México es una de las más complejas de todo el continente americano, en ella se encuentran plasmadas las interacciones tectónicas y consecuencias sedimentológicas que tuvieron en el pasado y que aún mantienen las márgenes Pacífica y Atlántica, retomando que las mismas representan escenarios geológicos opuestos de manera que una está asociada a procesos de subducción y la otra se relaciona a procesos de rifting y extensionales, por lo que se considera a México una región transicional entre márgenes (Centeno, 2005).

En términos geológicos, México es relativamente reciente, fue hasta el Paleozoico tardío cuando comenzó su formación a través del ensamblaje y fragmentación de elementos corticales derivados de los antiguos supercontinentes Laurentia y Gondwana.

Añadiendo que la región central de México corresponde con el límite sur del cratón de Norteamérica y que en esta zona señalada tuvieron lugar importantes procesos tectónicos durante el Paleozoico y Mesozoico como lo son la disgregación del antiguo continente Pangea y la apertura del golfo de México, además de colisiones continentales de edades Greenvillianas, su análisis es de vital importancia para comprender la evolución geológica y tectónica de América del norte.

México presenta una gran diversidad geológica, teniendo grandes provincias ígneas como la Sierra Madre Occidental y la faja volcánica transmexicana, por otro lado, la Sierra Madre Oriental formada por rocas sedimentarias y carbonatadas, calizas al sureste del país y en ese mismo sentido, complejos metamórficos al centro-sur del mismo que representan el basamento geológico.

2.1 Sedimentología y Estratigrafía

La zona estudiada se localiza en la región central de México, misma que se encuentra formada por un mosaico de terrenos pre-jurásicos y específicamente en el terreno Sierra Madre perteneciente al bloque Oaxaquia (Centeno, 2005, Campa y Coney, 1983) (Figura 4).

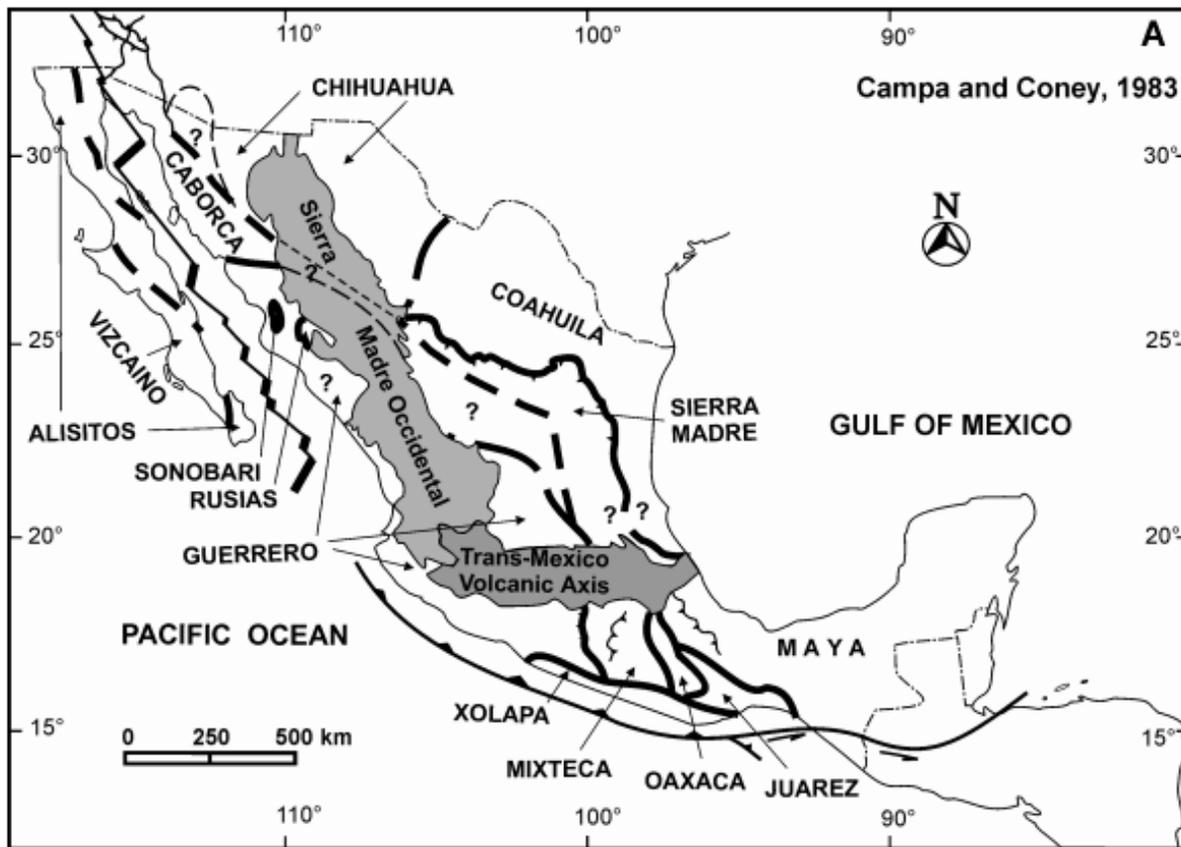


Figura 4. Terrenos tectonoestratigraficos de México. Campa y Coney, 1983.

Dicha área se caracteriza por un complejo escenario geológico que conlleva una amplia diversidad de litologías con alto contraste en la escala del tiempo. Se encuentra en los límites de la cuenca Tampico- Misantla.

La columna estratigráfica inicia con una unidad de rocas metamórficas precámbricas llamadas Gneiss Huiznopala, con un origen que se remonta a la colisión de antiguos paleo-continentes.

Estas rocas fueron acrecionadas a Norteamérica en el Paleozoico y posteriormente dispersadas; hoy un sector de estas forma el basamento del este y sur de México (micro continente Oaxaquia) (Centeno, 2005).

El Paleozoico está definido por secuencias de areniscas y lutitas con alto contenido fosilífero que superyacen a las rocas metamórficas del basamento cristalino, estas secuencias van del Carbonífero al Pérmico, mientras que la edad triásica está caracterizada por secuencias de lechos rojos que evidencian un ambiente de depósito continental (Formación

Huizachal), relacionado con el inicio de la fragmentación y disgregación del supercontinente Pangea y el consecuente inicio de la apertura del Golfo de México. Por encima de esta se encuentra la Formación Huayacocotla caracterizada por secuencias de arenisca y lutita.

Un evento tectónico de gran importancia durante esta edad (Triásico) fue la apertura del golfo de México que generó cuencas a partir de los procesos de rifting y extensionales (fallamiento normal), en las que se depositaron y formaron las unidades del Jurásico tardío y medio durante una etapa de sedimentación marina causada por una transgresión del mar al continente, por lo que en el registro estratigráfico se cita la presencia de rocas calizas hasta edades del Cretácico tardío.

Para el Cretácico Superior la exclusividad de una sedimentación marina se torna transicional con depósitos terrígenos y es hasta inicios del Paleógeno donde se registra el cambio a depósitos clásticos, a causa de la orogenia Laramide (evento tectónico que formó la Sierra Madre Oriental). De este modo las plataformas calcáreas quedaron cubiertas por secuencias continentales (Móran-Centeno, 1984).

Es en esta edad geológica cuando ocurrió la formación del cinturón de pliegues y cabalgaduras de México, que se caracteriza por ser de espesor delgado y estar orientado al NW (Fitz, 2012). A este cinturón de pliegues y cabalgaduras se relaciona el anticlinorio de Huayacocotla como una estructura interna del mismo.

A continuación se muestra la columna estratigráfica regional del noreste de Hidalgo (Figura 5) y el mapa crono-estratigráfico generado para la presente tesis (Figura 6) señalando las regiones donde se midieron columnas estratigráficas que serán detalladas posteriormente.

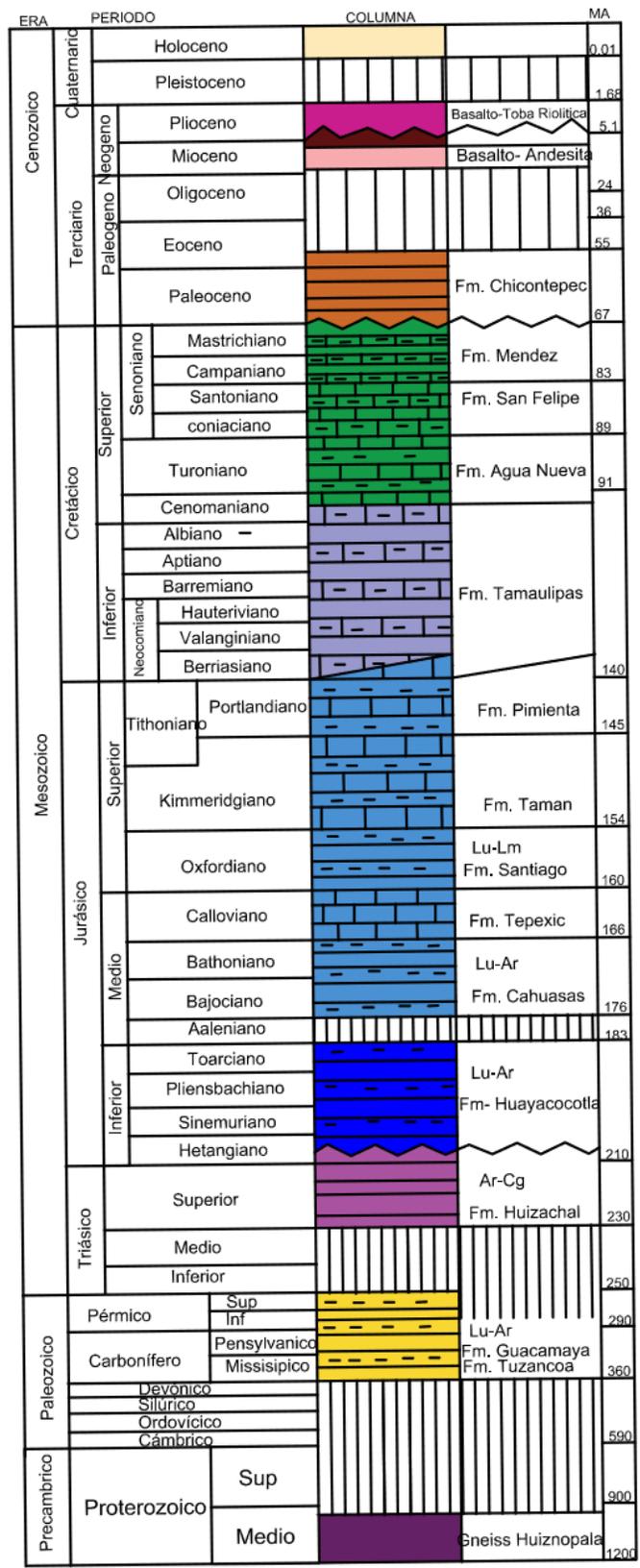


Figura 5. Columna estratigráfica regional del noroeste de Hidalgo (Modificado de SGM, 2005).

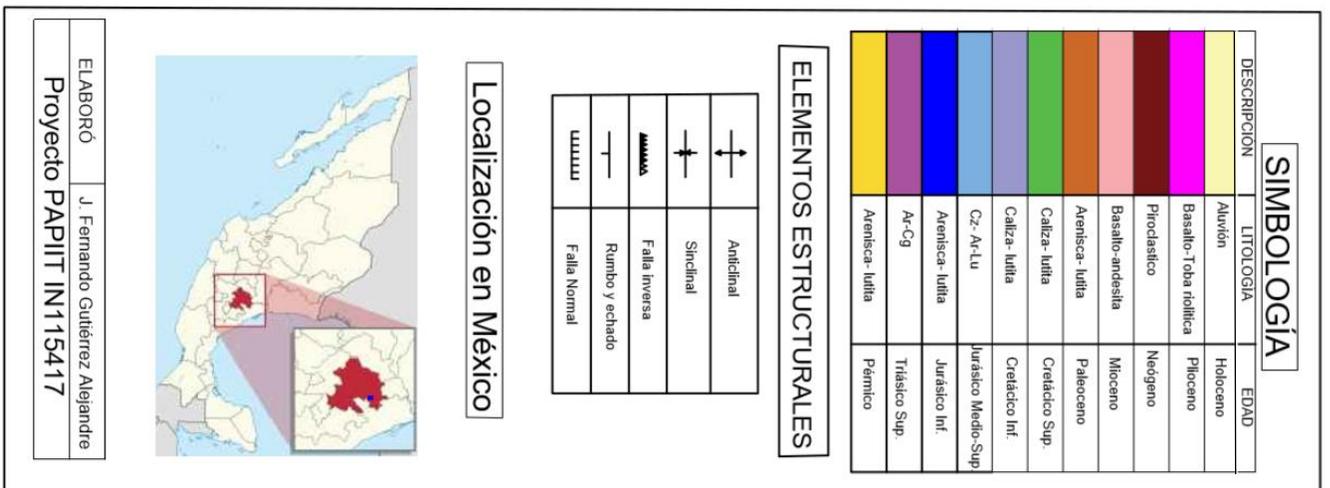
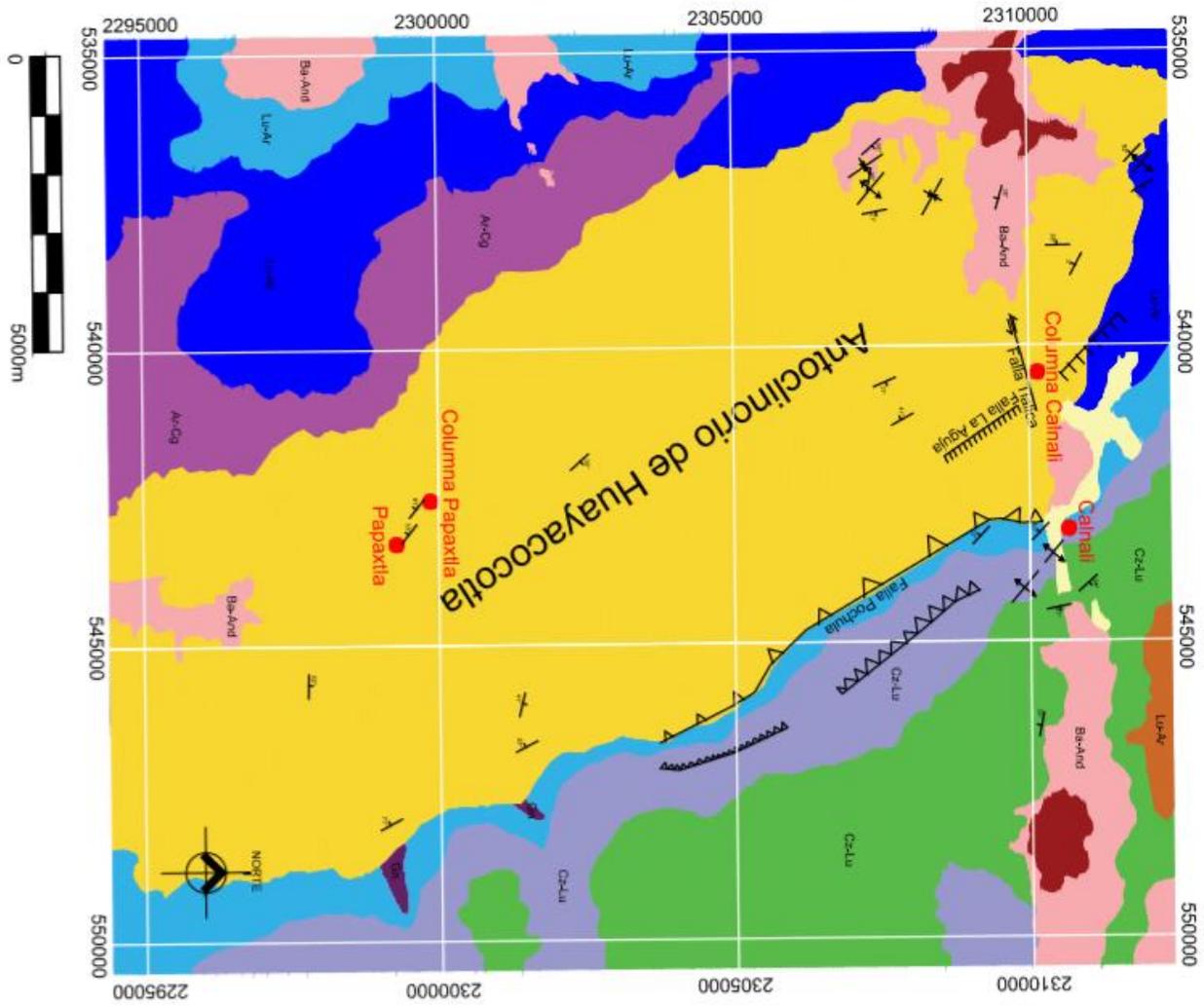


Figura 6. Mapa geológico regional (Modificado de SGM, 2005).

2.2 Precámbrico-Gneiss Huiznopala

Las rocas más antiguas expuestas en la zona de estudio son metamórficas proterozoicas en facies de granulita (Ortega-Gutiérrez, 1995) y se relacionan con la colisión de varios bloques continentales: Báltica, Laurencia (Norteamérica) y Siberia. Como resultado de esta colisión se formó el cinturón orogénico Grenvilliano en la sutura. La convergencia de estos bloques continentales dio como producto final el super continente Rodinia (Moore, 1991), mismo que culminó su formación hace 950 millones de años.

Posteriormente Rodinia es fragmentada y dispersada en diferentes bloques continentales hace 700 millones de años (Hoffman, 1991), de modo que el que había sido un cinturón orogénico continuo (orogenia Grenvilliana) queda esparcido en partes separadas dentro de los continentes existentes.

Como resultado, una porción de las rocas metamorfoseadas que formaron parte del orógeno Grenvilliano y que incluyen al Gneiss Huiznopala, forman en la actualidad el basamento del sur y este de México, y en la actualidad son interpretadas como los restos del micro continente Oaxaquia (Ortega-Gutiérrez, 1995), que fue acrecionado a Laurencia durante el Paleozoico tardío.

La edad absoluta calculada para el Gneiss Huiznopala por Ur/Pb llega hasta los 1200 millones de años (Lawlor, 1999). Se tiene registro de estas rocas en únicamente 4 regiones de México: Ciudad Victoria, La Mixtequita, Molango y el complejo Oaxaqueño (Figura 7). El Gneiss Huiznopala está conformado por 4 unidades litológicas mayores que fueron reconocidas por Lawlor: Metagabros/ anortositas, Gneiss granítico, Paragneiss y Ortogneiss.

El evento inicial formador de corteza del Gneiss Huiznopala fue magmatismo de arco hace 1200/1150 millones de años. El arco Huiznopala es más joven que cualquier arco registrado en la provincia Grenvilliana (Dickin and Higgins, 1993) y sufrió deformación dúctil hasta facies de granulita en una edad geológica que corresponde casi con el final de la deformación de la orogenia Grenvilliana por lo que el Gneiss Huiznopala se encuentra en el núcleo del orógeno formado en el evento final de la provincia Grenvilliana.

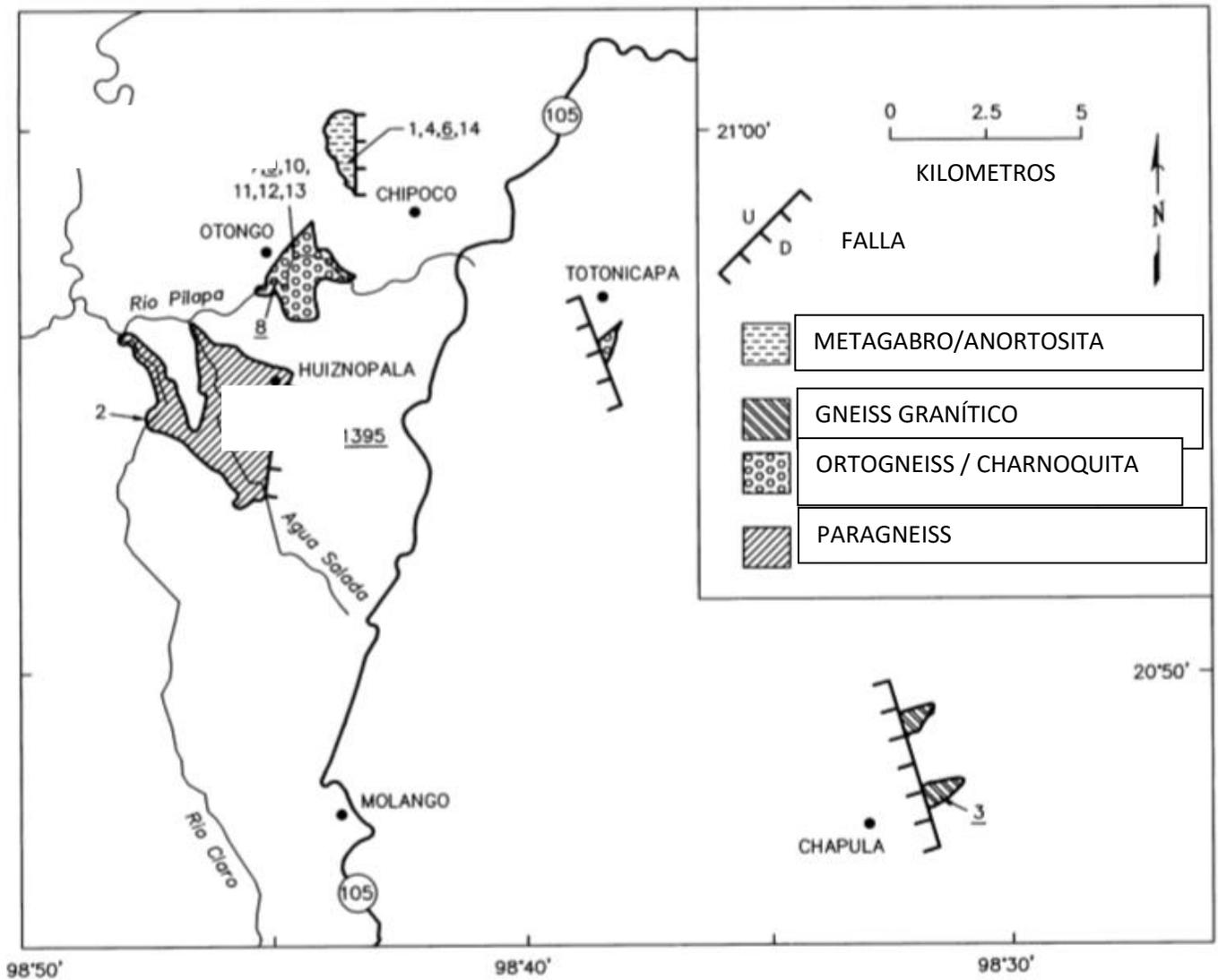


Figura 7. Mapa geológico de las rocas del basamento Precámbrico en la región de Molango, Hidalgo. Aproximadamente 15 Km al SW de Calnali, Hidalgo. Modificado de Lawlor, 1999.

2.3 Paleozoico – Formación Tuzancoa

Las secuencias paleozoicas fueron definidas primeramente como una extensión de la Formación Guacamaya (Carrillo-Bravo, 1965), expuesta al NW de Ciudad Victoria, Tamps. y que se caracteriza por ser intercalaciones de lutitas oscuras con areniscas en un ambiente marino.

Se interpretaron como secuencias de terrígenos asociados a la colisión de 2 paleo continentes posteriores a la desintegración de Rodinia: Gondwana y Laurentia (Pindell y Dewey, 1982) y como parte del cinturón orogénico resultado de dicha colisión. En el periodo Pérmico culmina la integración de Pangea para posteriormente comenzar su desintegración en el Triásico tardío.

Sin embargo, en el Estado de Hidalgo las sucesiones contienen abundantes rocas volcánicas y vulcano-sedimentarias que apuntan más a que se formaron en un arco continental relacionado a una subducción y no como parte de un flysch orogénico (Rosales- Lagarde, 2002). Debido a estas discrepancias Rosales-Lagarde renombra las rocas en Hidalgo como la formación Tuzancoa y describe 5 litofacies:

- *Flujos de lava:* formados principalmente por flujos de lava submarinos de composición basalto-andesítica principalmente intercalados con otras facies, composiciones dacíticas se pueden encontrar en la cima de la sucesión.
- *Turbiditas siliciclásticas:* Formado por intercalaciones de lutitas, areniscas y arenisca conglomerática. Esta unidad no contiene flujos de lava, pero se evidencian por clastos volcánicos encontrados en las areniscas.
- *Turbiditas vulcano-clásticas:* Es la litología mas abundante de la Formación Tuzancoa, formada por intercalaciones de lutitas, limolita, y arenisca que varia de color negro a verde olivo. La arenisca es de grano fino y contiene feldespatos, cuarzo y abundantes líticos volcánicos.
- *Flujos de detritos calcáreos:* Se caracteriza por sus abundantes fragmentos fósiles. Presenta texturas desde wackstone, lutitas calcáreas, y hasta brecha calcárea o rudstone. Tiene espesores de 50 cm hasta 8 metros y frecuentemente se asocia a pliegues sinsedimentarios en facies de turbiditas vulcano clásticas.

- *Lentes conglomeráticos: Formada por cuerpos lenticulares de conglomerado y areniscas de grano grueso. Las capas de conglomerados tienen base erosiva y cima horizontal, están mal clasificados y tienen textura matriz soportada. Los espesores de esta unidad varían de 1 a 8 metros y se encuentra en la parte superior y media de la sucesión.*

Concluye en su estudio Rosales-Lagarde que el ambiente de depósito es de abanico submarino. La abundancia de flujos de lava lo relaciona a que la cuenca donde se depositaron las secuencias no estaba muy alejada de los edificios volcánicos. Poniendo esa como principal diferencia con las secuencias de la Formación Tuzancoa en las cercanías de Ciudad Victoria.

Con respecto al contenido fosilífero apunta a la presencia de abundantes crinoides, fusilínidos, algas, foraminíferos y fragmentos de bivalvos, con edades que van del Wolfcampiano al Leonardiano. Reporta abundantes plantas fósiles de edades leonardianas en el pueblo Calnali. La asociación de fósiles marinos sugiere que la zona era típicamente de aguas someras.

Otros autores difieren de Rosales-Lagarde y definen el ambiente de depósito de la Formación Tuzancoa como de cuenca profunda cerca del talud continental y frente a una plataforma marina que aportó bloques de roca calcárea (Arellano et al, 1998) y que además tubo influencia del vulcanismo provocado por una subducción al occidente de la zona. Arellano describe la formación como una secuencia turbidítica con secuencias bouma completas, que van desde facies de pendiente hasta facies distales. Con respecto al contenido fósil menciona que la plataforma marina aportó crinoides y fusilínidos a la formación además de la presencia de briozoarios, algas, trilobites, braquiópodos, entre otros.

Es justamente en la Formación Tuzancoa donde se midieron las 2 columnas estratigráficas que son la parte central de este trabajo de tesis, mismas que se explicaran y analizaran a detalle más adelante.

2.4 Triásico- Formación Huizachal

Esta unidad consiste en una gruesa secuencia de lechos rojos en estratos gruesos, masivos y lenticulares que se depositaron en depresiones continentales cuyas geometrías estuvieron controladas por grabenes asociados a eventos de rifting (Salvador, 1991), esto evidencia la subsidencia asociada al proceso distensivo en el marco de la disgregación del supercontinente Pangea. De igual manera este evento marca el comienzo de la formación del Golfo de México y la formación del Atlántico Norte.

La Formación Huizachal se caracteriza por la presencia de conglomerado polimíctico, arenisca conglomerática, arenisca arcósica y arenisca feldespática (Arellano et al, 1998). Esta unidad llega hasta el Hetangiano, perteneciente al Jurásico Inferior, subyace discordante a la Formación Huayacocotla y suprayace a rocas del Paleozoico Superior.

El ambiente de depósito propuesto por Arellano-Gil (1998) es típicamente continental de baja energía (fluvial meandrónico), mismo que prevalece en todo el Jurásico inferior, abarcando también a la Formación Huayacocotla.

2.5 Jurásico

El Jurásico Inferior está representado por la Formación Huayacocotla, y en menor medida por la Formación Huizachal, ambas caracterizadas por depósitos continentales. En la región noreste del estado de Hidalgo, el periodo Jurásico marca un cambio en las litologías, en el que resalta una secuencia grande de rocas calcáreas que si bien, no comienza en el Jurásico Inferior sino hasta el Jurásico Medio, nos habla de la evidencia de que las condiciones sedimentológicas cambiaron en ese tiempo, específicamente en el Caloviano donde se produce una invasión de aguas marinas y comienza el registro de carbonatos.

La Formación Huayacocotla fue estudiada por primera vez por Imlay et al. (1948) quien propone como localidad tipo afloramientos en el río Vinasco, cerca de Huayacocotla Ver., hoy se sabe que esta formación aflora en la región norte de los estados de Veracruz y Puebla el noreste de Hidalgo.

Ochoa-Camarillo divide en 3 miembros a la Formación Huayacocotla para su estudio, el miembro inferior esta formado por arenisca, conglomerado, limolita y lutita. Las rocas en este intervalo son depósitos de abanicos aluviales que se encuentran rellenando los grabens. El miembro intermedio

esta constituido por conglomerado, arenisca, lutita y limolita y una característica de éste es la presencia de amonitas (Arietites, Arnioceras).

El miembro superior de la Formación Huayacocotla es formado por arenisca, limolita, lutita y conglomerado. Este miembro se caracteriza por la abundancia de plantas continentales. El contenido fosilífero juega un papel muy importante pues es la clave para comprender y dar una hipótesis de un paleo-ambiente de depósito; la presencia de amonitas (fauna marina) en el miembro intermedio nos indica un ambiente de depósito marino poco profundo mientras que para el miembro superior las plantas continentales nos hablan de la transición que sucedió pues son depósitos terrestres o fluviales, pero ya no marinos. La relación estratigráfica de la Formación Huayacocotla con las rocas del Paleozoico es desconocida (Ochoa-Camarillo, Buitrón, 1998).

El Jurásico Medio está representado por las formaciones Cahuwasas (Jurásico Medio Inferior) y Tepexic (Jurásico Medio Superior) (Figura 8). La Formación Cahuwasas se define como una secuencia de arenisca, conglomerado y limolita de color rojo (Carrillo-Bravo, 1965). Ochoa-Camarillo identifica 2 litologías: Brecha y conglomerado masivo rojo, limolita y arenisca masiva rojo y verde.

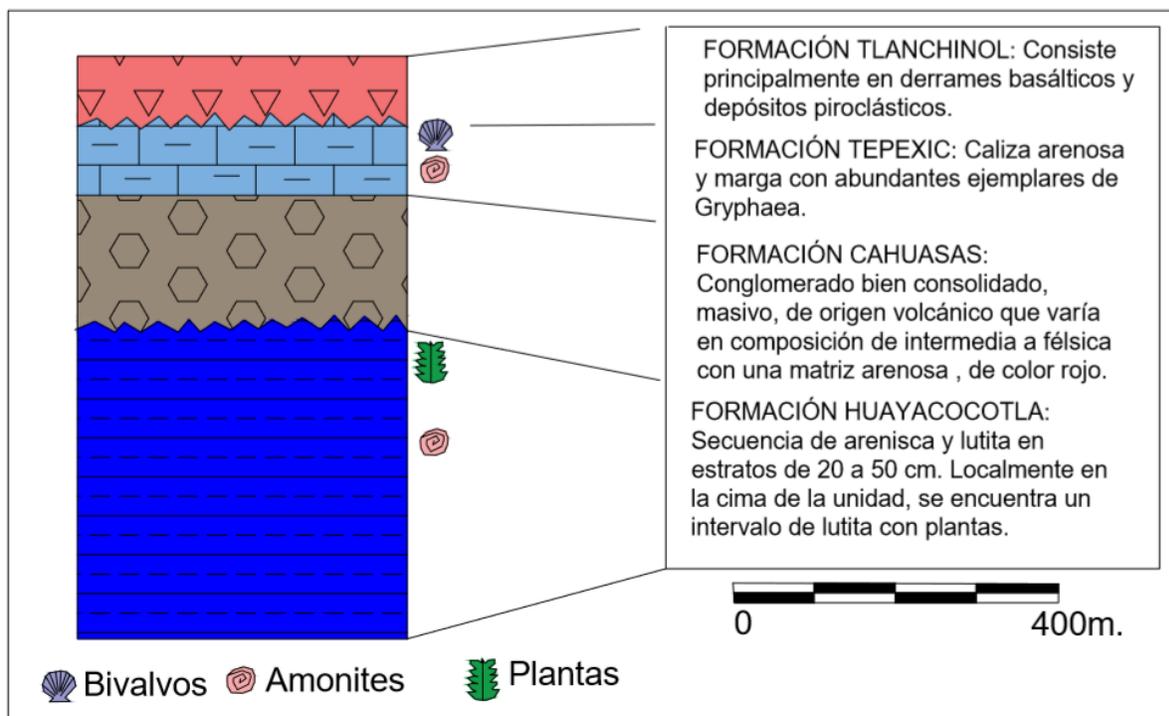


Figura 8. Columna estratigráfica de la región Ixtlahuaco-Calnali para el Jurásico Inferior y Medio. Tomado de Ochoa-Camarillo, 1998.

Esta unidad descansa en discordancia angular sobre la Formación Huayacocotla y es concordante con la Formación Tepexic. La Formación Cahuasas carece de contenido fosilífero y su edad esta basada en las formaciones encajonantes y la relación que guarda con estas, que fueron fechadas por amonitas.

La Formación Tepexic fue analizada por primera vez en 1956 por Erben, quien la denominó "calcarenita Tepexic", la localidad tipo se encuentra en el río Necaxa, Pue. Guarda una relación concordante con la Formación Cahuasas y Santiago, y discordante en ciertas áreas con la Formación Huayacocotla. La parte inferior de la Formación Tepexic carece de fósiles, sin embargo, la parte superior formada por margas y limolitas calcáreas de color gris oscuro tiene horizontes con coquinas, trigonidos, braquiópodos y amonites. El ambiente de depósito es de plataforma somero cercano a la costa y evidencia de esto son los horizontes oncolíticos y estratificación ondulada, así como abundantes ostreidos. La Formación Tepexic marca el inicio de la sedimentación de carbonatos probablemente ocasionada por la subsidencia de la región y una posterior transgresión marina que se podría relacionar con la apertura del golfo de México.

El Jurásico Superior esta representado por la Formación Santiago formada principalmente por secuencias de limolita negra calcárea con ocasionales estratos de caliza negra. Presenta amonites y ostreidos en la parte superior e inferior, mientras que en la parte intermedia se caracteriza por la ausencia de fósiles. La edad del Oxfordiano que se le asigna se basa en los amonites que contiene (Cantu-Chapa, 1971). Se depositó en condiciones marinas reductoras en facies de cuenca (Pedrazzini y Bazañez- Loyola, 1978).

La Formación Pimienta es constituida por secuencias de calizas negras y lutitas, con nódulos y lentes de pedernal negro. Suter en 1972 la describe como una secuencia de 3 unidades: caliza micrítica negra con nódulos de pedernal, caliza arcillosa con concreciones esféricas y lutitas de color rojizo a verdoso. Por encima de la Formación Pimienta se encuentra en contacto transicional la Formación Tamaulipas (Cretácico) y se depositó en ambiente pelágico en facies de cuenca. Se le ha asignado una edad del Tithoniano (Hernández-Bernal y Hernández-Treviño, 1991) con base en su contenido fosilífero.

De forma general, del Jurásico tardío al Cretácico tardío la sedimentación estuvo dominada por condiciones marinas, quedando esto evidenciado en la columna estratigráfica con un grande paquete de carbonatos en estas eras mencionadas.

2.6 Cretácico

El Cretácico se caracteriza por ser un periodo con climas cálidos y altos niveles eustáticos del mar (Condie, 2011). México se encontraba sumergido en este periodo (Figura 9), por lo que este es representado por formaciones de carbonatos que muestran el dominio de ambientes de depósito marinos. Estos depósitos de calizas terminan en el Paleoceno, a causa de eventos tectónicos que se describirán más adelante.

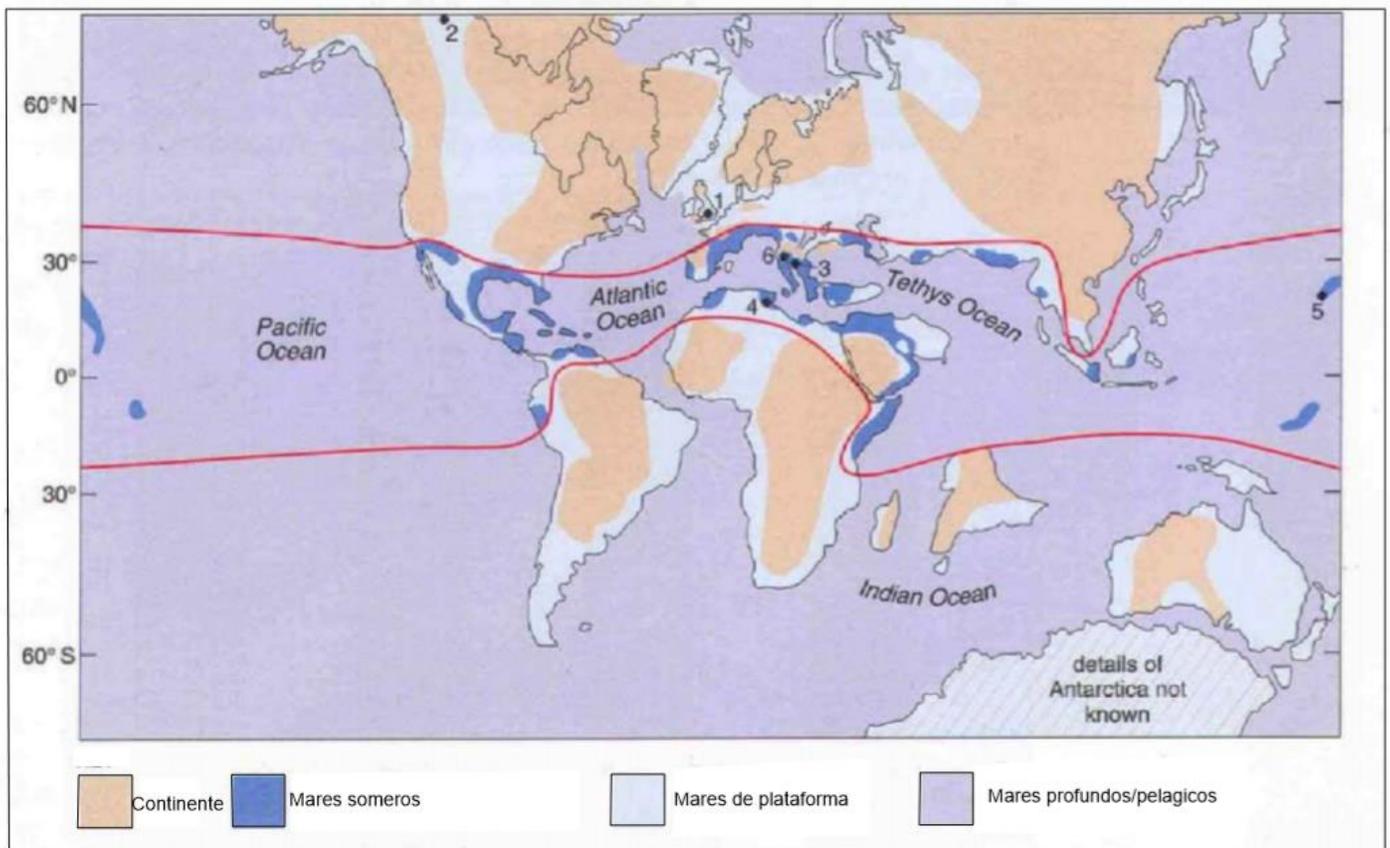


Figura 9. Reconstrucción aproximada de la paleogeografía en el Cretácico, específicamente en el Cenomaniano. Las líneas rojas encierran el cinturón donde se desarrollarán carbonatos de plataforma. Tomado de Skelton, 2003.

La Formación Tamaulipas fue clasificada en 1956 de manera general como una caliza de grano fino con nódulos de pedernal (Bodenlos, 1956) que aflora en gran parte de la Sierra de Tamaulipas. La Formación Tamaulipas se subdivide en inferior y superior, siendo estas separadas por el horizonte arcilloso Otates; la localidad tipo de la formación se encuentra en el cañón de la borrega en Tamaulipas (Muir, 1936).

La Formación Tamaulipas Inferior ha sido descrita como calizas color gris claro con estilolitas bien desarrolladas y nódulos (Carrillo-Bravo, 1965), mientras que la Formación Tamaulipas Superior se caracteriza por tener calizas blancas con pedernal blanco y calizas grises con pedernal negro (Muir, 1936). Esta última también ha sido descrita como calizas wackestone y packstone gris claro con nódulos de pedernal (Hernández-Bernal y Hernández Treviño, 1991).

Sin embargo, algunos autores hacen referencia a que dentro de la región noreste de Hidalgo solo es posible diferenciar a la Formación Tamaulipas Inferior de la Superior encontrando el horizonte Otates, cuyo espesor promedio es de 10 metros, mismo que solo ha sido identificado de manera confiable en el flanco oriental del anticlinorio de Huayacocotla (Ochoa-Camarillo, 1999). La edad es Berriasiense / 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). Ambas formaciones han sido reportadas con un ambiente de depósito marino con aporte de terrígenos y cuentan con grandes espesores de hasta 300 metros en la zona de estudio.

El Cretácico Superior se representa por las formaciones Agua Nueva, San Felipe y Méndez.

La Formación Agua Nueva es sinónimo de la Formación Xilitla definida por Heim en 1940 y por Seibertz y Buitrón (1988). Litológicamente consiste en calizas marinas grises con estratificación delgada, con texturas que van de mudstone a wackestone y con nódulos de pedernal negro. La edad que se le ha asignado a esta formación con base en foraminíferos planctónicos abarca del Cenoniano al Turoniano (Soto, 1981).

La Formación San Felipe en la zona del anticlinorio de Huayacocotla, está constituida principalmente por intercalaciones de lutita de color verde olivo con calizas arcillosas, el contacto es concordante y transicional con la Formación Agua Nueva y el contacto superior es tectónico (Ochoa-Camarillo, 1996). La edad asignada para esta formación de acuerdo con Muir en 1936 es de Coniaciano-Santoniano.

La Formación Méndez está definida principalmente por margas poco estratificadas de color gris y verde, con intercalaciones pequeñas de arenisca hacia la cima de la formación (Suter, 1990). Solo aflora del lado oriental del anticlinorio de Huayacocotla.

2.7 Cenozoico

El límite entre el periodo Cretácico y el periodo Paleógeno esta marcado por un cambio en la sedimentación pasando de marina a continental, provocado por el aporte de sedimentos clásticos del noroeste y del occidente del Golfo de México, el cual tuvo un incremento hacia el fin del Cretácico, durante las primeras pulsaciones de la Orogenia Laramide, también conocida como Orogenia Hidalgoana (de Cserna, 1989).

Este evento tectónico marca el inicio de la era cenozoica y su importancia recae en que originó a las principales cadenas montañosas actuales de México como lo son las cadenas plegadas y cabalgadas del occidente del Golfo de México, específicamente las Sierras y Cuencas de Coahuila, la Sierra Madre Oriental y la Sierra de Zongolica, desde el Paleoceno tardío hasta el Eoceno temprano (Padilla y Sánchez, 1982).

Durante el resto del Paleógeno la sedimentación clástica se fue alojando en grandes depocentros formados en el antepaís de la Sierra Madre Oriental y en las porciones sur y suroccidental del Golfo de México.

Por último, se tiene registro de vulcanismo de edades Neógenas, con poca influencia en la zona delimitada para la elaboración del presente trabajo, pero que se sabe fue ocasionado por un arco magmático que se desarrolló sobre el basamento cristalino, por eso la presencia de basalto-andesitas.

2.8 Tectónica y Evolución Geológica

Reconstruir la evolución tectónica y geológica de México es complejo, esta se remonta al Paleozoico tardío con la formación del mega continente Pangea a consecuencia de la colisión de bloques continentales que pertenecieron al continente extinto (Rodinia).

Estos bloques fueron Laurentia, que en la actualidad representa el cratón de Norteamérica y Gondwana, bloque que "arrastró" al bloque Oaxaquia, el cual forma el basamento cristalino de México. Dicha colisión ocurrió en el periodo Pérmico y la expresión geomorfológica consecuencia de esta fue el orógeno Ouachita en Norteamérica, así como el cierre del extinto Océano Rheico. Este basamento cristalino se encuentra sobreyacido por secuencias turbidíticas posiblemente formadas posiblemente como consecuencia de un arco volcanico.

Posteriormente Pangea inicia su fragmentación y disgregación en el Triásico tardío y esta tiene una duración aproximada de 46 millones de años (Salvador, 1991), terminando en el Jurásico Medio y generando el acrecionamiento de bloques a Norteamérica, mismos que marcaron el inicio de la formación de México y que forman el basamento cristalino de la zona de estudio, también conocido como bloque Oaxaquia.

Durante el Jurásico se distinguen 3 eventos tectónicos de gran relevancia para el análisis de la evolución geológica en la región norte del estado de Hidalgo; primero una fase extensiva durante el Jurásico Inferior y Medio que formó fosas y pilares tectónicos delimitados por fallas normales. Estas fosas o cuencas fueron rellenadas por sucesiones jurásicas y cretácicas que se relacionan a la apertura del golfo de México y a una transgresión de mar al continente. Posterior a este evento ocurrió una compresión que plegó las mismas rocas jurásicas y cretácicas, desde el Cretácico tardío hasta el Eoceno.

Este evento compresivo caracterizado por la formación de un cinturón de pliegues y cabalgaduras es mejor conocido como la orogenia Laramídica, la cual fue el resultado de la convergencia de la antigua Placa Farallón por debajo de la Placa Norteamericana, en la que el fragmento de corteza oceánica que estaba en subducción fue de ángulo bajo, causando así una deformación a mayor distancia de la zona de la trinchera (Padilla y Sánchez, 2007).

La compresión de la orogenia Laramide deformó la corteza en dos estilos distintos: uno que está caracterizado por deformación de bajo espesor o de

piel delgada del cinturón de pliegues y cabalgaduras del suroeste de los Estados Unidos y la Sierra Madre Oriental en México; y el otro, el cual es comúnmente referido como “la tectónica Laramide típica”, está ejemplificado por el levantamiento de grandes bloques corticales del suroeste y centro de los E. U. A. (Figura 10), mientras que en el sureste mexicano continuaba la sedimentación de carbonatos. (Valencia-Moreno, 2011).

Este contexto tectónico propició, una vez que culminó la Orogenia Laramide, que el aporte de grandes volúmenes de sedimentos continentales clásticos se incrementara y que empezaran a depositarse en cuencas de antepaís de las cadenas orogénicas plegadas. Estas son: Cuencas de Parras-San Carlos (CPSC), de Tampico-Misantla (CTM) y de Veracruz (CV) (de Cserna, 1989; Padilla y Sánchez, 2007) (Figura 11). Ochoa-Camarillo y Buitrón (1999) reportan un tercer último evento extensivo pospliocénico evidenciado por fallas normales y la formación del graben de Molango al SW de la zona de estudio (Figura 12).

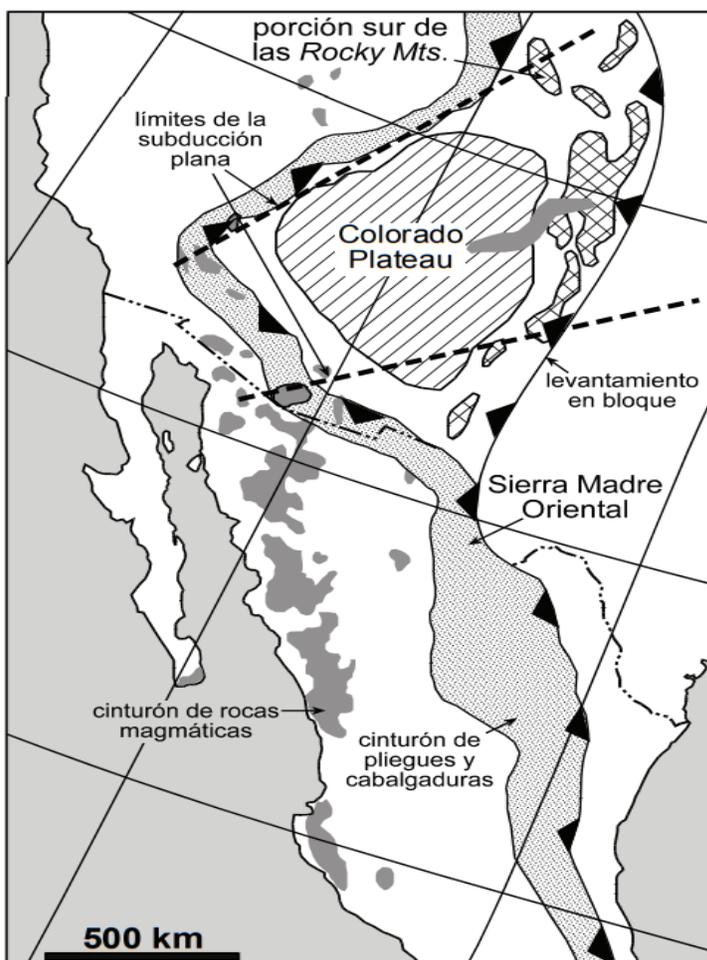


Figura 10. Mapa de los principales rasgos orogénicos asociados al evento Laramide en México y EUA. (Tomado de Valencia-Moreno, 2011).

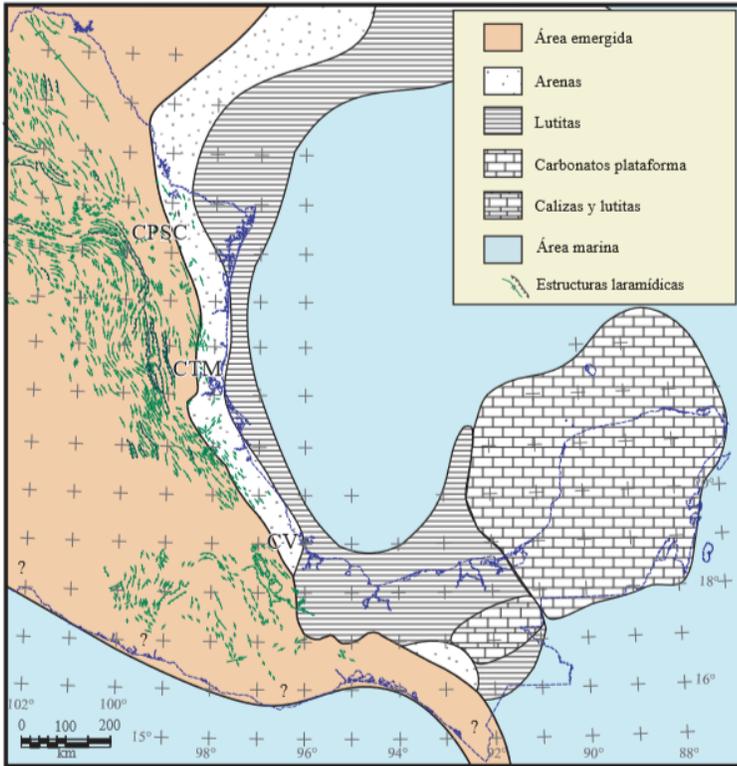


Figura 11. Paleogeografía del Eoceno tardío cuando se inició el relleno de las cuencas de antepaís de las sierras plegadas y cabalgadas del occidente del Golfo de México por sedimentos. Cuenca de Parras-San Carlos (CPSC), Cuenca de Tampico-Misantla (CTM) y Cuenca de Veracruz (CV). Tomado de Padilla y Sánchez, 2007.

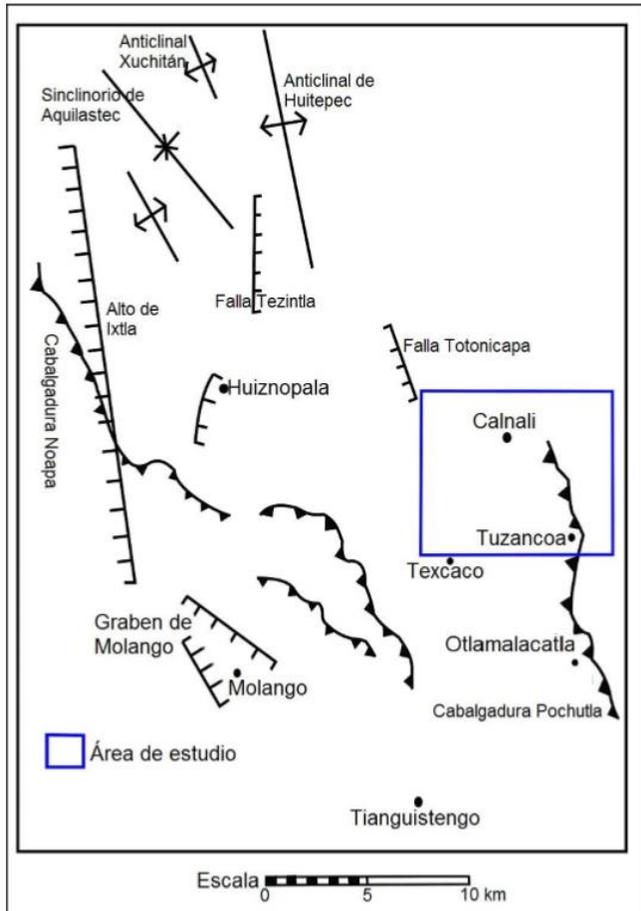


Figura 12. Elementos tectónicos en la región NE de Hidalgo. Tomado de Rosales-Lagarde, 2002.

2.9 Anticlinorio de Huayacocotla

El Anticlinorio de Huayacocotla es una mega estructura tectónica perteneciente al cinturón de pliegues y cabalgaduras mexicano, mismo que se encuentra expresado topográficamente en la Sierra Madre Oriental. El cinturón de pliegues y cabalgaduras mexicano tiene un ancho de entre 100 y 250 km (Campa-Uranga, 1983; Eguiluz, 2000) y es una de las consecuencias del Orógeno Laramídico.

El origen del anticlinorio de Huayacocotla se remonta a los procesos tectónicos ocurridos en el Jurásico y Cretácico relacionados con la apertura del golfo de México, que proporcionó las cuencas por medio de estructuras de horst y grabens donde se depositaron las secuencias sedimentarias que posteriormente serían levantadas durante la formación de la orogenia Laramídica. Se sabe que el despegue basal tuvo lugar en la Formación Huayacocotla, pero Rosales-Lagarde reporta en el 2002 que este ocurrió también en rocas paleozoicas (Formación Guacamaya/Tuzancoa).

El Anticlinorio de Huayacocotla está definido como un conjunto de pliegues y cabalgaduras orientado NW-SE y que es 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).

Integrado por la Formación Tuzancoa, este se encuentra definido en su núcleo por secuencias finas de areniscas y lutitas típicas del Paleozoico, mientras que los flancos están integrados por formaciones típicamente de ambiente continental, sin embargo, autores mencionan que esta formación también contiene una sucesión volcano-sedimentaria de derrames con características de andesíticos a basálticos, intercalada con las lutita y areniscas, así como conglomerado formado por partículas y clastos de origen volcánico, y escasos paquetes de flujos de detritos calcáreos (Centeno-García et al., 1995; Rosales-Lagarde et al., 1997).

Debido al contexto tectónico de la región de estudio, la mayoría de los contactos entre las unidades son discordantes. Un ejemplo de esto es la Falla inversa o cabalgadura Pochula, la cual pone en contacto tectónico a las rocas paleozoicas de la Formación Tuzancoa con rocas del Jurásico Superior de la Formación Huayacocotla.

Capítulo 3 “Geología local”

3.1 Descripción general y ubicación de afloramientos

La Formación Tuzancoa expone niveles paleozoicos en la columna estratigráfica regional, que corresponden con el núcleo del Anticlinorio de Huayacocotla.

Para su análisis, se dividió arbitrariamente en 2 regiones a la Formación Tuzancoa: norte y sur, encontrándose la región norte en la carta geológico-minera F14D52 (Calnali) y la región sur en la carta F14D62 (Zacualtipán), ambas del servicio geológico mexicano (escala 1:50 000) y siendo la horizontal UTM Y=2,295,000 el límite entre ambas regiones.

El presente trabajo está referido a la porción norte de dicha formación, en esta región, el nivel de exposición de la Formación Tuzancoa es mayor que en la región sur, aflorando en promedio 7.5 a 8 kilómetros sobre la superficie del terreno en dirección E-W mientras que en la región sur aflora en promedio 0.5 a 3 kilómetros siguiendo el mismo criterio (Figura 13).

Los flancos del Anticlinorio de Huayacocotla están representados por la Formación Huayacocotla y por los lechos rojos de la Formación Huizachal, la cual se encuentra sobre la Formación Tuzancoa de forma discordante por elementos estructurales (Arellano-Gil, 1998), siendo el de mayor importancia por sus dimensiones cartografiables la cabalgadura ó Falla Pochula. Esta falla forma parte del sistema de cabalgaduras Tamazunchale-Naopa- Pochula (Ochoa- Camarillo, Silva-Pineda, Buitrón, 1998).

Sobre este sistema se concentra la deformación dentro del Anticlinorio de Huayacocotla, sin embargo, no está dentro de los objetivos del presente trabajo de tesis profundizar en la tectónica de la región.

La Formación Tuzancoa está representada predominantemente por estratos de arenisca que tienen un rango de espesores que van de los 5 hasta los 60 cm en promedio, intercalados con estratos arcillosos de menor espesor, entre 5 y 20 cm. Una característica importante de esta formación es su alto contenido fósil.

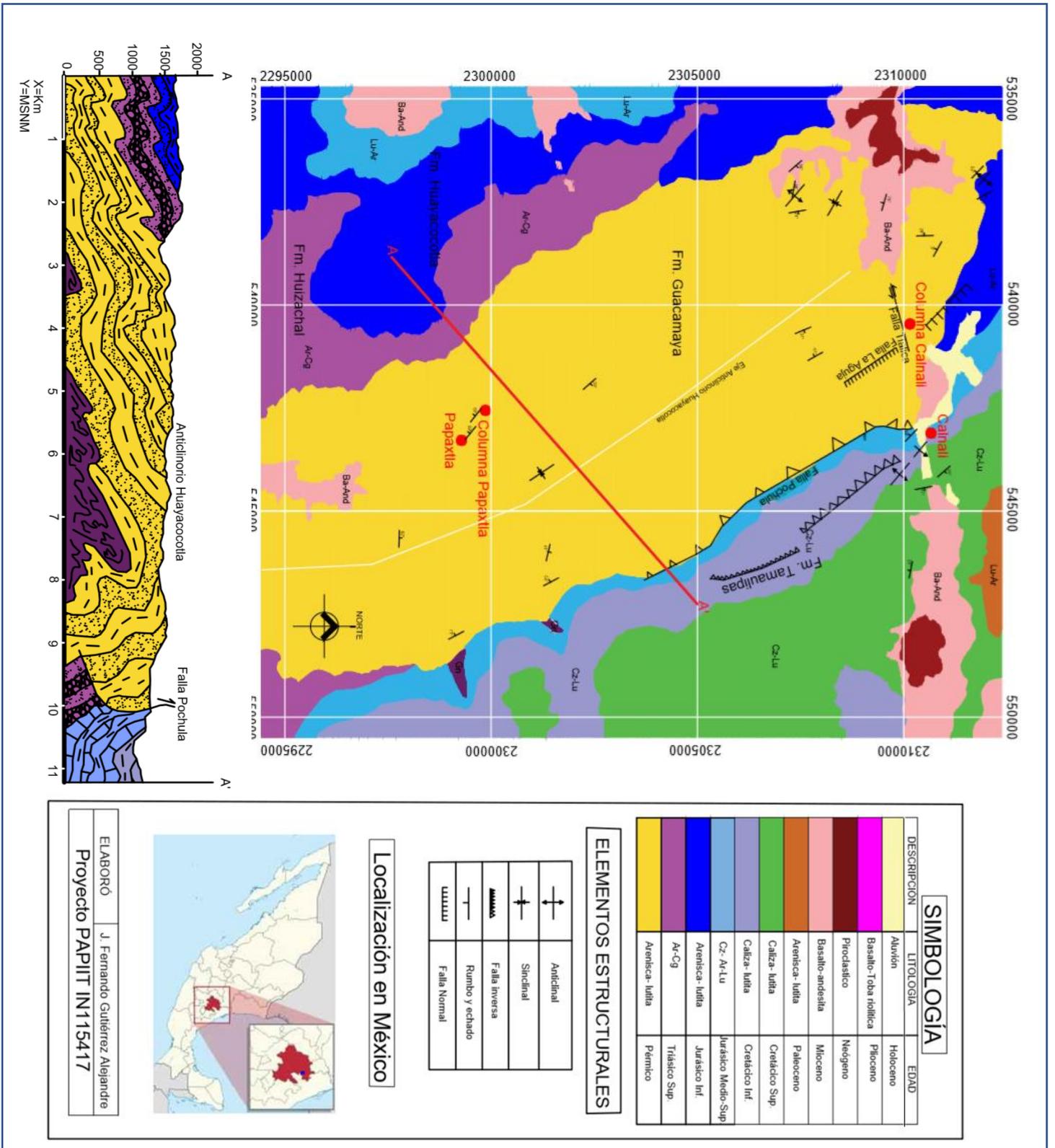


Figura 13. Perfil y mapa geológico de la zona de estudio. Modificados de SGM, 2005.

Como parte del trabajo de campo y el proceso de selección de afloramientos pérmicos, aptos para la medición de columnas estratigráficas que contribuyan a la interpretación del ambiente de depósito de los 2 afloramientos de la Formación Tuzancoa, seleccionados para la medición de columna estratigráfica; se analizaron afloramientos adicionales en puntos localizados en la región norte del Anticlinorio de Huayacocotla, por lo que se consideró el análisis de un afloramiento perteneciente a la Formación Huizachal del Triásico ubicado al SW de la zona de estudio y otros perteneciente a la Formación Huayacocotla.

El alto grado de intemperismo que presenta la Formación Tuzancoa es una constante en toda la extensión de ésta; factores como la alteración de arcillas de los minerales presentes en las areniscas y la abundante vegetación presente en la zona, el clima húmedo de la región, entre otros, han favorecido el desarrollo de niveles edafológicos.

De acuerdo a estudios realizados en afloramientos pérmicos de la Formación Tuzancoa, algunos autores como Rosales-Lagarde (2002) definen un ambiente de depósito ligado a una cuenca relacionada a un arco volcánico, con flujos de origen turbidítico y de detritos calcáreos intercalados con secuencias volcánicas. Otros autores como Arellano-Gil (1998) puntualizan que la Formación Tuzancoa se depositó en una cuenca profunda cerca del talud continental y frente a una plataforma marina que generó las corrientes de turbidez y bloques de caliza con alto contenido fosilífero (crinoides y fusilinidos). Sin embargo, en el presente trabajo los afloramientos pérmicos descritos tienen un alto contenido fosilífero de plantas continentales; los afloramientos carecen de los bloques calcáreos con contenido fósil marino, no obstante, el depósito en un ambiente sedimentario marino es inminente.

Aproximadamente a 8 km. al oeste del poblado de Calnali, sobre la carretera a Lolotla y Molango, se describió un afloramiento perteneciente a la Formación Tuzancoa, muy cercano a los derrames basálticos del Neógeno. Este sigue el patrón típico de secuencia paleozoica, caracterizado por intercalaciones de estratos de lutita de bajo espesor (entre 8 y 15 cm) con estratos de arenisca de granos medios y finos de mayor espesor (hasta 40 cm), las cuales dominan la mayor parte del afloramiento. No se encontró contenido fosilífero.

Este afloramiento no registra los bloques calcáreos mencionados por Arellano Gil (1998) y Rosales Lagarde (2002), ni los depósitos vulcano-sedimentarios, sin embargo, se interpreta como una secuencia turbidítica

(Figura 14). La georreferenciación del afloramiento está dada por las coordenadas UTM: 535378, 2308599.



Figura 14. Afloramiento descrito perteneciente a la Formación Guacamaya del Pérmico sobre la carretera que conecta los poblados Molango y Calnali. Coordenadas: 535378 , 2308599.

Ubicado a 3.7 y 11.5 kilómetros en dirección SW del poblado Papaxtla y Calnali respectivamente, se describió otro afloramiento perteneciente a la Formación Tuzancoa. Se caracteriza igualmente por una secuencia turbidítica de areniscas y lutitas, pero ha diferencia del afloramiento descrito al oeste de Calnali en éste el espesor de los estratos es menor, haciéndose más delgados hacia la base del afloramiento, del orden de estratos de areniscas finas y medias de hasta 1 metro en la cima y de entre 20 y 40 centímetros en la base. Los estratos de lutitas tienen espesor promedio entre 5 y 20 cm.

El afloramiento presenta estructuras sedimentarias como rizaduras y laminación cruzada en estratos de areniscas y estructuras lenticulares en los estratos de lutita. Se georreferenció con las coordenadas UTM 541164, 2299154 a una altura aproximada de 1638 metros sobre el nivel del mar. El rumbo de la estratificación es NW37°, 30°, NE.

Pertenciente a la Formación Huizachal del Triásico, se describió un afloramiento de lechos rojos caracterizado por areniscas de grano fino a medio de color rojizo causado por procesos de intemperismo, los espesores de éstas varían entre 20 y 50 cm. El afloramiento se encuentra en los flancos del Anticlinorio con coordenadas UTM 539026, 2292059; Dato de estratificación: SE20°,32°, SW.

También se visitó a modo de complemento, un afloramiento de la Formación Huayacocotla con coordenadas UTM: 535747, 2294936. Este se encuentra fuera del mapa geológico generado para el presente trabajo. Se caracteriza por ser una formación arcillosa con capas arenosas, que de acuerdo al léxico estratigráfico del servicio geológico mexicano (SGM, 2012) fueron depositadas en un ambiente marino somero. Dato de estratificación: SE20°,75°, SW.

3.2 Análisis del afloramiento de Calnali, Hgo.

3.2.1 Medición de columna estratigráfica

El afloramiento pérmico perteneciente a la Formación Tuzancoa georreferenciado con las coordenadas UTM 540676, 2310174, aproximadamente a 2.4 kilómetros al oeste del poblado Calnali (Figura 15), fue seleccionado para la medición de una columna estratigráfica con el objetivo de determinar el ambiente en el que se depositó la secuencia. Como referencia para acceder al afloramiento, sobre la carretera Molango-Lolotla- Calnali y antes de llegar a Calnali, es necesario atravesar un enrejado de alambres y cerca de madera, 50 metros al sur se localiza éste (Figura 16).

En este sector se encuentra expuesta una columna sedimentaria de espesor aproximado de 100 metros, constituida por una secuencia de intercalaciones arenisca-lutita de bajo espesor que ha estado expuesta a un alto grado de intemperismo y en la cual el dominio de las areniscas es claramente mayor sobre las lutitas-limolitas. Se midió una columna estratigráfica a detalle de 61 metros, que se caracteriza por una asociación fósil de tipo continental principalmente, que es factor elemental en la determinación del paleoambiente de depósito del afloramiento.

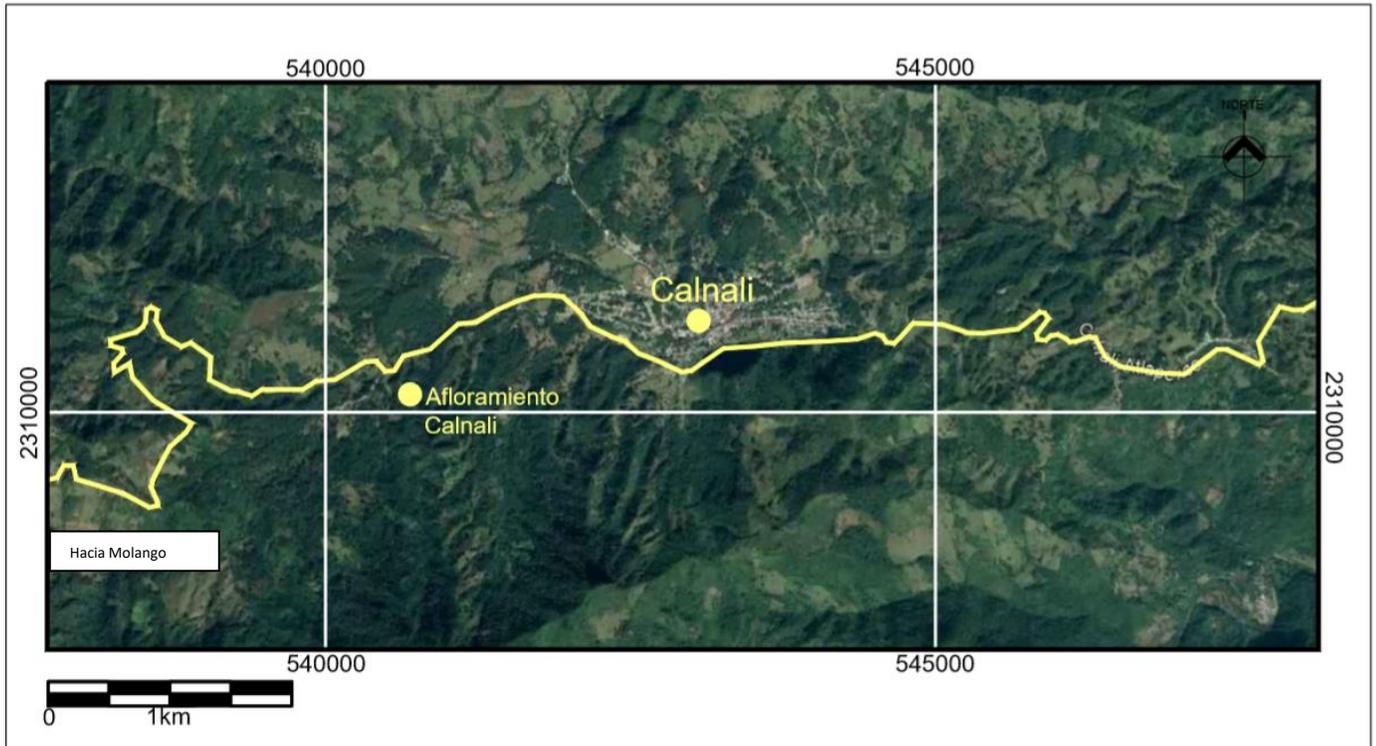


Figura 15. Ubicación afloramiento Calnali, a 50 metros sobre la carretera que conecta los poblados Calnali y Molango. Modificado de Google Earth, 2018.



Figura 16. Afloramiento Calnali, con orientación aproximada NW45°, ubicado en la carretera Molango-Calnali.

En el análisis del afloramiento se han encontrado similitudes con las características descritas para las secuencias del Pérmico por Arellano-Gil (1998), Centeno-García (1995), Ochoa-Camarillo (1996), referente a que se trata de una secuencia arrítmica, pero se difiere de la interpretación del ambiente de depósito, al encontrarse un alto contenido fosilífero de plantas continentales en moldes internos y externos en su mayoría, que se caracterizan por su estado de conservación precario y que están alojados en estratos de areniscas y lutitas.

El contenido fosilífero del afloramiento está contenido en un nivel fosilífero definido por gimnospermas tales como coníferas y gangamopteris, helechos, cicadales y equisetáceas, sin embargo, hacia la cima de la columna expuesta se encontraron crinoides (material fosilífero de origen marino). El dato de estratificación con el que se inicia la secuencia es SE15°,58°, SW.

De manera general, los estratos de areniscas predominan respecto a los estratos de lutita. La granulometría de las areniscas expuestas es prioritariamente de arenas medias, no obstante, hacia la cima de la columna estratigráfica esta cambia a arenas finas.

Los estratos con granulometrías de arenas gruesas son los menos abundantes, sin embargo, antes de llegar a los estratos en los que se registró el material fosilífero (hacia la cima de la secuencia), un paquete de estratos de arenas gruesas y finas intercalados dominan la columna.

Los espesores para las areniscas son variables, siendo los de menor espesor de 8 cm. y llegando a 2 m. los estratos de mayor espesor, por otro lado, los estratos de lutita y limo se caracterizan por espesores de menores dimensiones de entre 2 y 20 cm.

Hacia la base de la columna las intercalaciones se dan entre limolita y arenisca, cambiando esta granulometría a partir del sexto metro medido a intercalaciones de lutita y arenisca, secuencia que continua toda la columna.

Los estratos de lutitas presentan estructuras lenticulares aisladas a lo largo de toda la columna. Se registro un estrato de 1.75 metros de conglomerado formado por clastos de origen volcánico, clastos bien redondeados y esfericidad media, con dimensiones de 12 x 7 x 5 cm, y con textura de matriz soportado por arenas finas.

El afloramiento presenta color rojizo que puede indicar niveles altos de oxidación, la parte alta del afloramiento tiene el desarrollo de suelo a causa de la abundante vegetación en este. De igual manera a lo largo de toda la secuencia se observaron “hojuelas” negras asociadas a la presencia de materia orgánica (Figura 17).

Se tomaron 4 muestras representativas para su posterior análisis petrográfico, en función de criterios como el nivel de exposición y grado de intemperismo, donde se dio prioridad a los estratos que presentaron la mayor abundancia de material fósil en la cima de la columna. La figura 18 presenta la columna estratigráfica medida completa. El dato de estratificación medido en la cima de ésta es SE18°,64°, SW.



Figura 17. Detalle del afloramiento Calnali en donde se observa la posición de la estratificación SE18°,64°,SW, así como la zona principal de recolección paleontológica (acotada por las flechas).

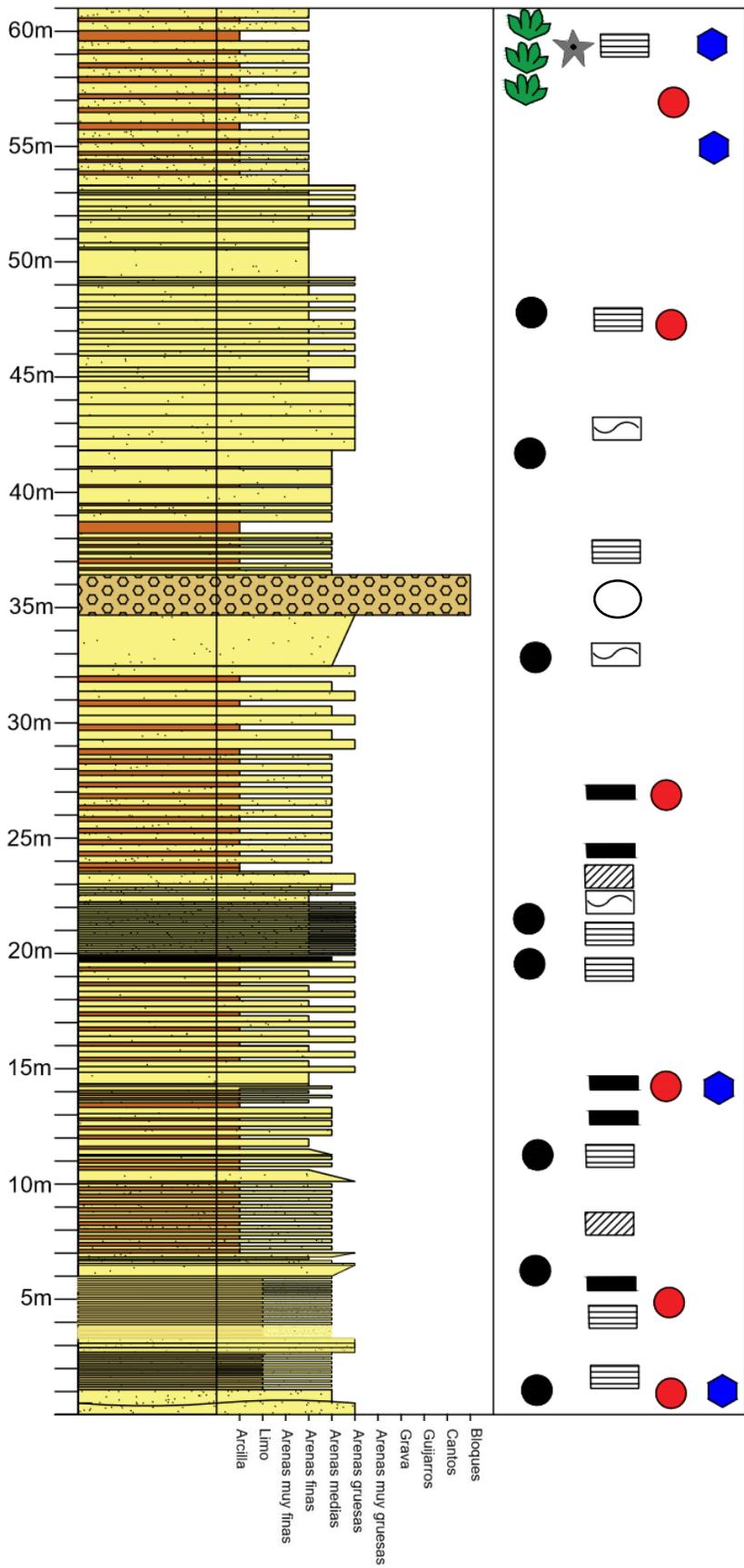


Figura 18. Columna estratigráfica medida en el afloramiento Calnali, en la cual se observa un patrón de sedimentación arrítmico, asociado a los cambios en el nivel de energía durante el depósito.

SIMBOLOGÍA	
	Crinoideos
	Conglomerado
	Lutita/lodolita
	Limolita
	Arenisca
	Laminación ondulada
	Laminación cruzada
	Estratos masivos
	Laminación paralela
	Clastos redondeados
	Plantas fósiles
	Toma de muestra
	Alteración/Oxidación
	Materia orgánica

3.2.2 Descripción y clasificación del contenido paleontológico.

Alojados en el paquete de estratos ubicados en los últimos 3 metros de la columna estratigráfica medida en el afloramiento Calnali, se registró contenido fosilífero de plantas típicamente continentales, así como crinoides de ambiente marino. Las asociaciones de plantas fósiles encontradas en esta localidad se caracterizan por una alta dominancia de gimnospermas, en particular coníferas. A continuación, se describe el material fosilífero registrado.

Durante el periodo Carbonífero a escala global se dieron las condiciones adecuadas para que la fosilización de plantas continentales se incrementara y conservaran, esto debido a que existían extensas zonas pantanosas al mismo que tiempo que se formaban yacimientos de carbón (Alcaraz Ariza, sin año), (Dickinson-Lawton, 2014).

Algunas de las clases de plantas continentales que ya se habían desarrollado en el Carbonífero Superior fueron: Lycopodiopsida, Lepidodendrales, Equisetopsida, Filicopsida, entre otras.

La clase Equisetopsida (equisetales) surgió en el periodo Devónico, sin embargo, el auge de esta fue hasta el Carbonífero; solo sobrevive hasta la actualidad una familia de estas (equisetaceae "colas de caballo") (Chad Husby, 2013).

Los equisetales se caracterizan por tener tallos que presentan costillas longitudinales, hojas y ramas dispuestas en forma vertical. Para la conservación de esta clase las condiciones sedimentológicas tuvieron que haber sido de baja energía. Este tipo de plantas fósiles se encontraron en un estrato de lutita localizado a 30 cm. de la cima de la columna y con espesor de 15 cm.

En ese mismo estrato se registró contenido paleontológico de coníferas fósiles; el registro fósil de estas en México es escaso e incompleto y sesgado en la región norte del país (González Ramírez, 2013). En México se tienen registradas 85 especies de coníferas (Sánchez y Huguet, 1959); estas durante el Paleozoico y parte del Mesozoico fueron las plantas dominantes del paisaje junto con los helechos (Miller, 1977), razón por la cual es necesaria su correlación bioestratigráfica con otros fósiles al no ser determinante en la interpretación del paleoambiente de depósito.

Las coníferas se caracterizan por ser árboles o arbustos pertenecientes a un grupo de plantas continentales relacionado a regiones frías y templadas del hemisferio norte, donde son una especie abundante que forma grandes zonas forestales (Farjon, 2008).

El registro fósil de coníferas se remonta al Paleozoico (Miller, 1977) y es conformado típicamente por fósiles de hojas, ramas, estructuras reproductivas, maderas mineralizadas y polen, las más antiguas son conocidas como *Voltziales* y se tiene registro de que pertenecen al Carbonífero y al Pérmico (Florin, 1927; Clement-Westerhof, 1987; Mapes y Rothwell, 1991).

Restos e impresiones de plantas del orden cycadales, comúnmente llamadas cícadas, fueron registradas como parte del contenido fosilífero del afloramiento Calnali, alojadas en el último paquete de estratos de alternancias arenisca-lutita hacia la cima de la columna medida. Este tipo de plantas continentales tienen semejanzas físicas con las palmas, sin embargo no hay relación evolutiva entre ambas especies, estas producen una corona de hojas dispuestas en un eje principal y tienen un tallo con poca madera. Al igual que las coníferas, las cícadas son gimnospermas (plantas con semillas expuestas) y se tiene registro de estas desde hace 300 millones de años en afloramientos pérmicos, sin embargo, también han sido registradas en afloramientos triásicos y del Eoceno en regiones como la Antártida y Alaska respectivamente.

Teniendo en cuenta que las Cícadas se desarrollan únicamente en climas tropicales o subtropicales y el registro de estas en zonas que actualmente representan climas inhóspitos para estas plantas, se piensa que tuvieron auge durante el Mesozoico donde el clima cálido global de dicha era las favoreció.

En ese mismo nivel fosilífero se encontraron *Gangamopteris*, planta fósil continental pertenecientes a las gimnospermas característica del antiguo supercontinente Gondwana, la cual ha sido registrada en diversas cuencas gondwánicas (India, Australia, Sudáfrica, Antártida, y Madagascar), y extragondwánicas (Europa, América del Norte, Pakistán, China) (Cariglino, 2011). Su abundante presencia es utilizada como indicador bioestratigráfico para el periodo Pérmico (Menendez, 1962; Rigby, 1962; Archangelsky y Arrondo, 1965).

Por otro lado, en el estrato ubicado a 1.7 m. antes de la cima de la columna, se encontraron impresiones y restos mal preservados de crinoideos de dimensiones menores a 10 cm., de subclase y orden incierta, típicos de

ambientes marinos y que fueron muy abundantes durante el Paleozoico. Los crinoideos forman una clase perteneciente a los equinodermos, caracterizados por ser invertebrados con espinas; otras clases pertenecientes al grupo de los equinodermos son: Holoturoidea, Echinoidea, Asteroidea y Ophiuroide.

Los crinoideos comenzaron en el Ordovícico y los hay en la actualidad, aun cuando su mayor desarrollo ocurrió en el Paleozoico, extinguiéndose la mayor parte a fines de esta era, fueron habitantes de mares someros que se fijan por medio de un pedúnculo formado por discos calcáreos de contorno circular con el que se fijaban formando "jardines marinos" (Morales Palacios , 2015).

De forma general, el contenido fosilífero de la columna medida en el afloramiento Calnali se aloja en el último paquete de estratos intercalados de rocas areniscas y lutitas, el cual tiene espesor aproximado de 6 metros y está sumamente afectado por el intemperismo, en este se distinguen restos e impresiones de plantas fosiles continentales que para su preservación, apuntan hacia un ambiente de depósito de baja energía. Por otro lado, también se registraron en el mismo horizonte fosilífero crinoideos que evidencian condiciones marinas.

3.2.3 Petrología de muestras representativas

Parte del trabajo de gabinete del presente trabajo es la descripción microscópica de muestras de roca tomadas en el afloramiento Calnali. El estudio petrográfico de muestras representativas de las rocas que afloran en la columna sedimentaria medida, permitirá clarificar y procesar la información obtenida de manera que facilitará la determinación de un paleoambiente de depósito para el afloramiento Calnali.

Se tomaron 4 muestras representativas de mano, mismas que fueron laminadas en el sentido de la estratificación con el objetivo de visualizar en el microscopio de luz polarizada material fosilífero y otras evidencias que converjan con la información obtenida durante el trabajo de campo. Debido a lo intemperizadas que se encontraban las mismas se tuvo cuidado al momento de laminarlas para evitar su disgregación.

A su vez se tomaron fotografías de los ejemplares muestreados con nicoles cruzados para observaciones mineralógicas a color de interferencia y sin nicoles cruzados para analizar relaciones de textura y porosidad, sin embargo, debido al alto grado de intemperismo presentado en el afloramiento, sin utilizar nicoles cruzados la visibilidad e información que se puede obtener es muy limitada.

En las muestras de láminas delgadas lo primero en resaltar es la alteración de los minerales que conforman a las rocas, esta mineralogía es definida principalmente por cuarzos, plagioclasas y en menor medida clorita, pocos cristales de moscovita y posibles cristales de esferulita. Típicamente los cristales de cuarzo son los que mejor han aguantado la alteración sin embargo esta ha hecho estragos en los mismos, dificultando la visibilidad de sus propiedades microscópicas.

Estos cristales están bien redondeados y representan posibles indicadores de transporte y/o retrabajo en los componentes de la roca, sin embargo, algunos aún presentan formas angulosas, así como sílice radial en la muestra C1, este tipo de sílice no se encontró en las otras muestras y en ocasiones representa procesos de silificación secundarios.

Conforme se avanza estratigráficamente en la columna, la presencia de los cristales de cuarzo disminuye gradualmente y las plagioclasas aumentan su abundancia, de igual manera el porcentaje de matriz disminuye hacia la parte media, para posteriormente incrementarse hacia la cima de la columna.

De ahí que el porcentaje de matriz en la columna pasa de 40% de matriz en la muestra C1 (base) a 15% en las muestras C2 y C3 (parte media) y finalmente 25% en la muestra C4 (cima en donde se encontró el registro fósil). Este porcentaje de matriz, la buena selección de los clastos, el reducido tamaño de los mismos, así como el alto contenido de granulometrías finas apuntan a que la energía del paleoambiente de depósito era baja, aumentando ligeramente en la parte media de la columna estratigráfica.

Las plagioclasas se encuentran muy alteradas y son pocos los cristales que se pueden delimitar completamente. Estos han sido alterados a arcillas, mismas que son visibles a lo largo de toda la muestra como manchas negras, y forman ya parte de la matriz en conjunto con los óxidos, sin embargo es necesario un estudio específico de difracción de rayos X para determinar con exactitud el tipo de arcillas que representan.

En cuanto a material fosilífero, no fue posible observarlo microscópicamente debido a lo alterado de la muestra. La muestra presenta una buena madurez textural, buena clasificación.

Todas las muestras analizadas provienen de areniscas finas a medias, no se consideró la toma de muestras representativas de estratos de lutitas debido a que presentaban muy poca competencia. En las muestras analizadas no se observó una cantidad considerable de líticos por lo que para su clasificación estos no fueron considerados; tomando en cuenta la abundancia de feldespatos (plagioclasas) sobre los cuarzos se define a la roca como una grauvaca feldespática (Dott, 1964) (Figura 19).

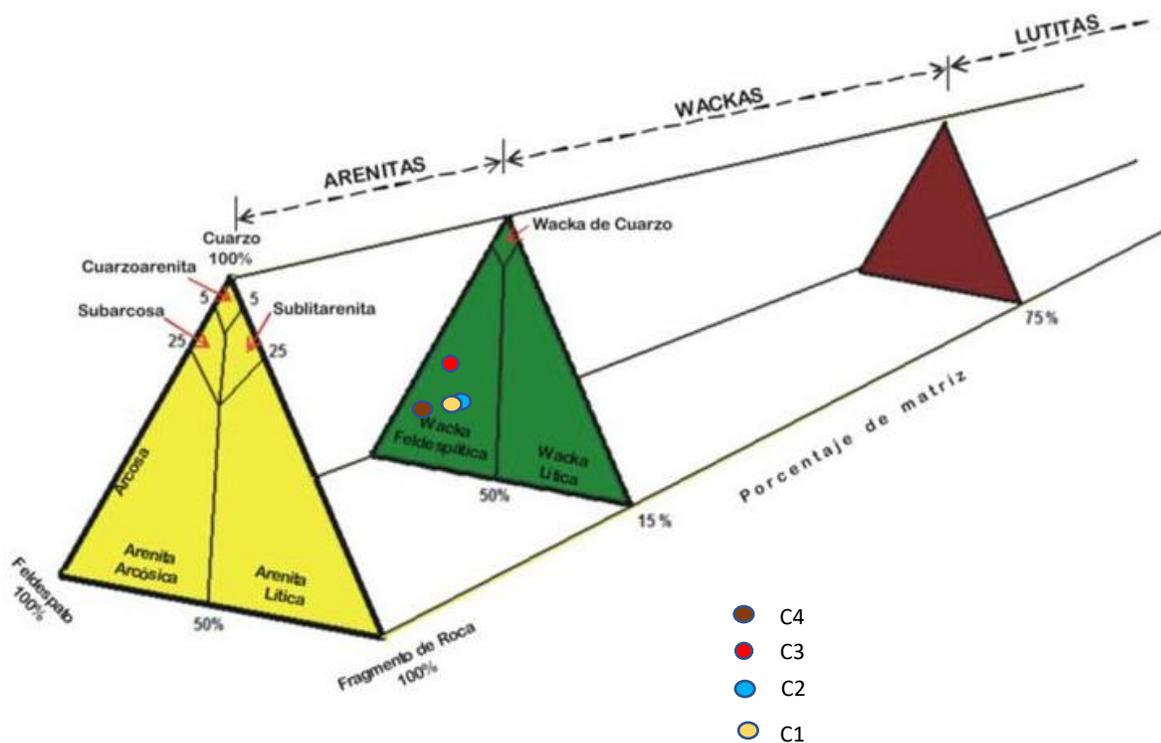
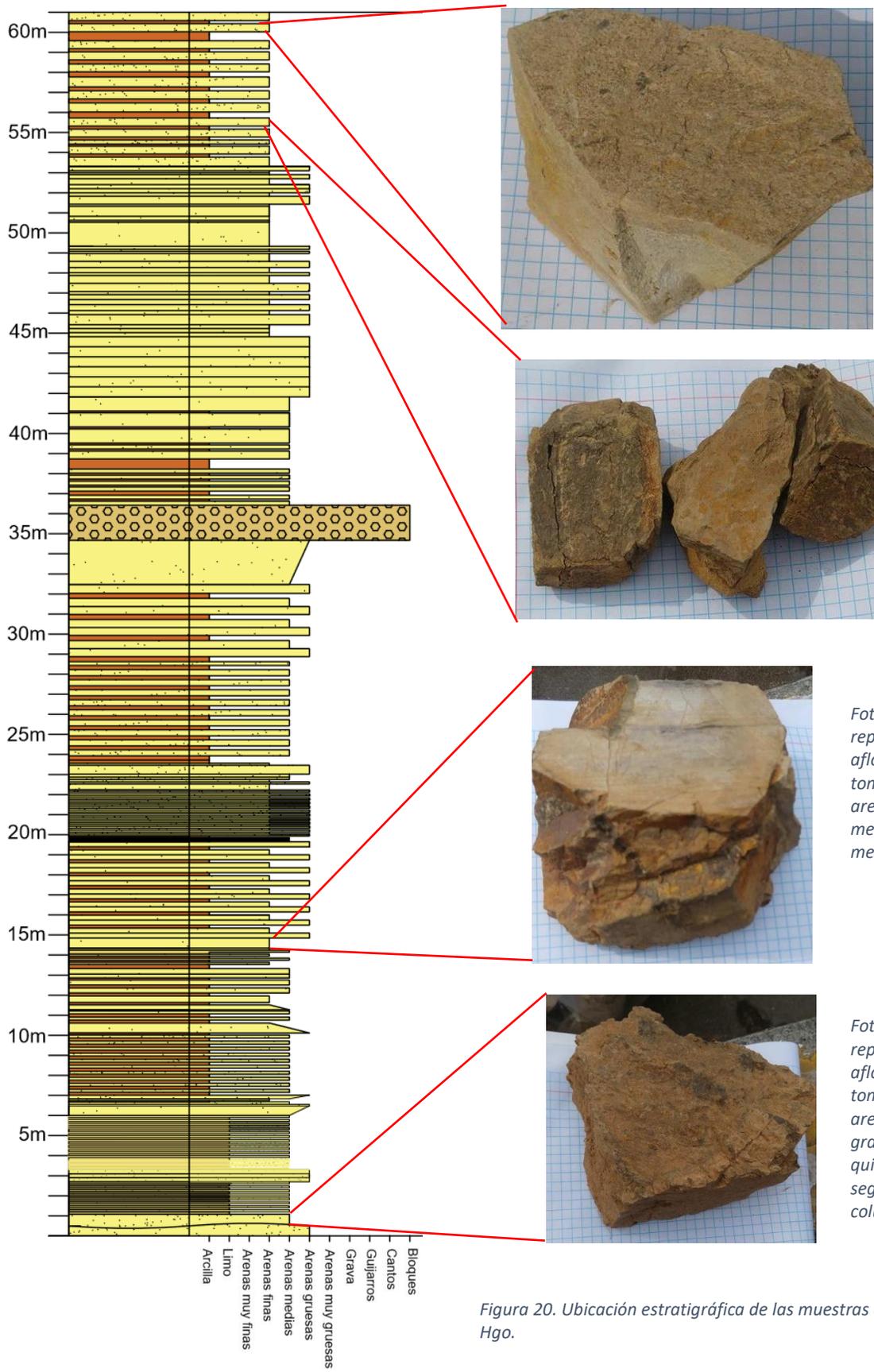


Figura 19. Esquema simplificado de clasificación de Dott para areniscas, 1964. Se ubican en el diagrama la clasificación de las 4 muestras representativas obtenidas.

En la Figura 20 puede observarse la posición estratigráfica de las muestras analizadas, mientras que en la Figura 21 se muestran las principales fases mineralógicas identificadas durante el análisis petrográfico.



Fotografía de muestra representativa C4 en el afloramiento Calnali. Tomada en el estato ubicado en el metro 60 de la columna medida y pertenece a el horizonte fosilifero encontrado.

Fotografía de muestra representativa C3 en el afloramiento Calnali. Tomada en el estato ubicado en el metro 55 de la columna medida.

Fotografía de muestra representativa C2 en el afloramiento Calnali, tomada en un estrato de arenisca ubicado en el metro 14 de la columna medida.

Fotografía de muestra representativa C1 en el afloramiento Calnali, tomada en un estrato de arenisca con muy alto grado de alteración química y ubicado en el segundo metro de la columna medida.

Figura 20. Ubicación estratigráfica de las muestras analizadas, del afloramiento de Calnali, Hgo.

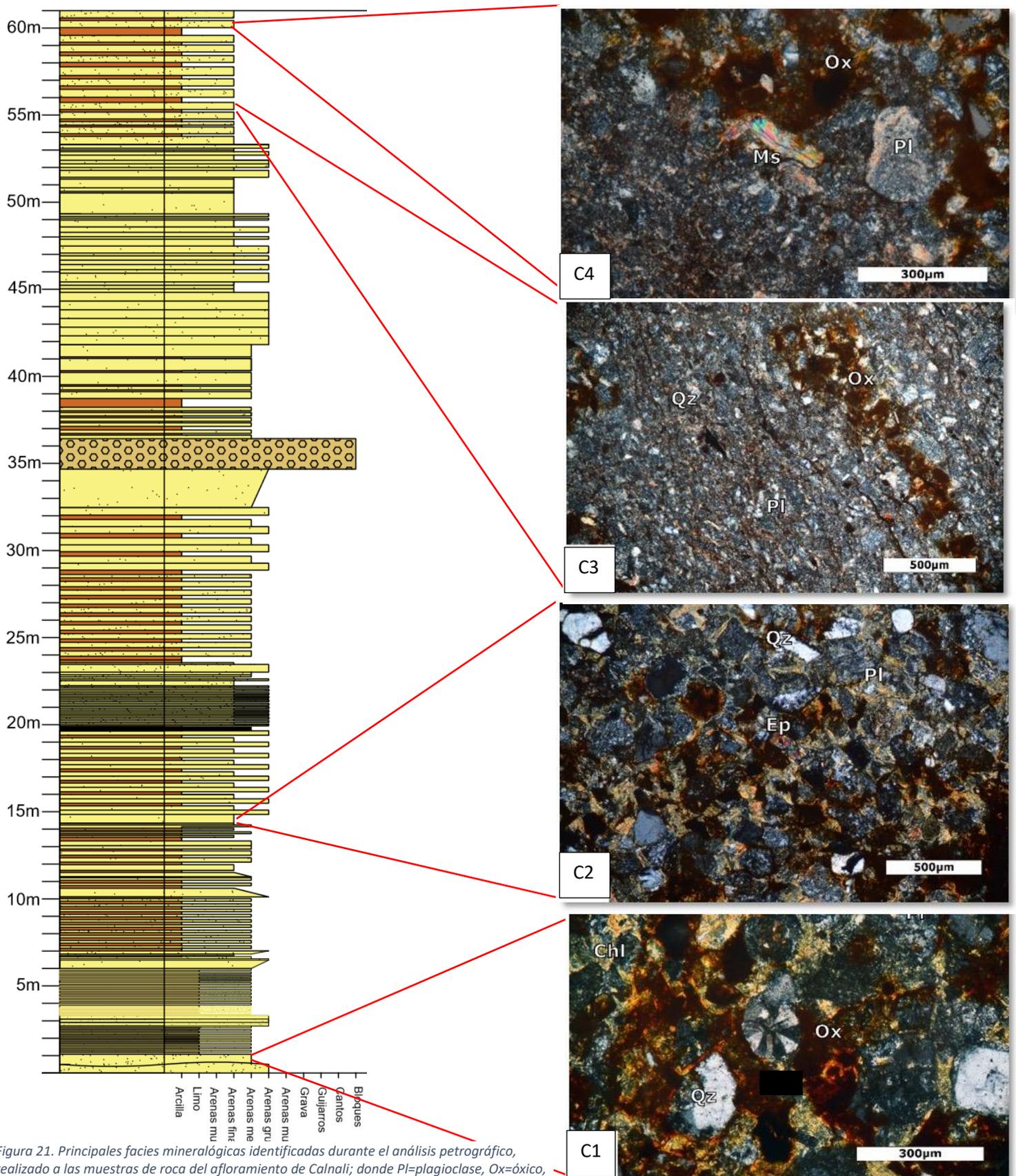


Figura 21. Principales facies mineralógicas identificadas durante el análisis petrográfico, realizado a las muestras de roca del afloramiento de Calnali; donde Pl=plagioclase, Ox=óxido, Qz=cuarzo, Chl= clorita, Ms= muscovita, Ep=epidota.

3.2.4 Análisis sedimentológico-estratigráfico y características del ambiente de depósito.

La columna estratigráfica del afloramiento Calnali está definida por una secuencia sedimentaria de intercalaciones arenisca-lutita con granulometrías máximas en las areniscas de arenas gruesas, sin llegar a muy gruesas y mínimas de arenas finas; estas variaciones granulométricas indican que la energía del ambiente en el que se depositó la secuencia cambiaba en función del tiempo.

Los estratos arcillosos se depositaron en periodos de tiempo cortos en los que la energía del ambiente era muy baja, posteriormente la energía aumentaba por periodos de tiempo mayores favoreciendo así el depósito de arenas finas y medias en estratos de mayor espesor que las lutitas y que además representan los depósitos más abundantes en toda la columna, sin embargo, también se registraron estratos de arenas gruesas que indican que en intervalos de tiempo la energía de depósito era todavía mayor sin llegar a ser alta.

Como evidencia de estos cambios se reportaron en la columna estratigráfica estructuras sedimentarias como laminaciones cruzadas en ambas litologías (arenisca y lutita), estructuras lenticulares en las lutitas y laminaciones paralelas que están presentes en la mayor parte de los estratos que forman la secuencia.

Estos cambios en la dinámica del ambiente de depósito pueden relacionarse a factores externos como lo son los aumentos y descensos intermitentes en los niveles eustáticos del mar que favorecieron la invasión del océano al continente, de esta manera se generan intervalos de inundación en llanuras cercanas a la costa que no llegan a ser dominados por mareas por lo que el nivel de energía es bajo.

Otra evidencia de que las condiciones en las que se depositó la secuencia analizada debió de ser forzosamente de baja energía, es el abundante contenido de material fosilífero de plantas continentales y la coexistencia que existe de estas con crinoides en el horizonte fosilífero definido en la columna medida. El registro de crinoides apunta a que el depósito se dio en la costa o cercano a ésta, y para que se diera la preservación de las plantas continentales, estas debieron de ser arrastradas poca distancia en un ambiente de baja energía para después ser depositadas en los límites costeros (ambiente mixto o transicional), posiblemente en una laguna litoral.

3.3 Análisis del afloramiento Papaxtla, Hgo.

3.3.1 Medición de columna estratigráfica

El segundo afloramiento pérmico perteneciente a la Formación Tuzancoa georreferenciado con las coordenadas UTM 542556, 2299786, que fue seleccionado para la medición de columna estratigráfica y determinación de su paleoambiente de depósito se localiza aproximadamente a 780 m. al NW del poblado Papaxtla y 9.3 km. al NE del poblado Xochicoatlán (Figura 22). Para acceder al afloramiento es necesario tomar desde Xochicoatlán el camino de terracería que atraviesa los poblados Tototla y Tlaxcoya en dirección hacia el poblado Papaxtla. El afloramiento se encuentra antes de llegar a Papaxtla.



Figura 22. Ubicación afloramiento Papaxtla. Modificada de Google Earth, 2018.

En este sector se encuentra expuesta una columna sedimentaria de espesor aproximado de 130 m., constituida por una secuencia de intercalaciones de arenisca-lutita de bajo espesor que se torna a una secuencia de areniscas hacia la cima sumamente alteradas y en la cual éstas dominan la secuencia. La secuencia expuesta presenta un grado de intemperismo visiblemente alto y mayor que en el afloramiento Calnali, en esta la roca se ha transformado en suelo debido a la elevada cantidad de vegetación (Figura 23). Se midió una columna estratigráfica a detalle de 81 m., que se caracteriza por tener una asociación fósil de plantas continentales.



Figura 23. Vista general del afloramiento Papaxtla, donde se aprecia como la vegetación ha desarrollado suelo, dejando a la roca poco visible.

Se trata de una secuencia arrítmica de edad paleozoica, de muy baja competencia y muy alterada químicamente, donde el desarrollo de los 3 perfiles del suelo es notable, tiene un alto contenido fosilífero de plantas continentales en moldes internos y externos, que se caracterizan por su estado de conservación precario y que están alojados en estratos de areniscas y lutitas que son mayormente visibles hacia la base de la columna. El contenido fosilífero encontrado en el afloramiento es típicamente continental y muy similar al encontrado en el afloramiento de Calnali, está definido por coníferas, helechos y cicadales, sin embargo, el equipo de paleontólogos definió también la presencia de semillas de frutos. El dato de estratificación con el que se inicia la secuencia es $SE60^{\circ},62^{\circ}$, medido en la base de esta (Figura 24).

En este afloramiento se trabajó por paquetes de estratos que se delimitaron en base a cambios físicos y litológicos y no por superficies de estratificación, sobre todo por encima de los 25 m. medidos, donde se dificulta diferenciar estratos de areniscas debido a su bajo espesor y que no son visibles por el nivel de intemperismo en algunas zonas del afloramiento. Una característica importante del afloramiento es su abundante contenido de arcillas dispuestas en láminas de color blanco y negro de menos de 1 cm. de espesor que parecieran ser alteraciones químicas de areniscas con alto

contenido de feldespatos que han sido caolinizados. De igual manera el color rojizo del afloramiento indica altos niveles de oxidación.

Las areniscas dominan la columna estratigráfica y hacia la cima llama la atención la ausencia de lutitas, siendo depósitos de arenas únicamente, éstas tienen granulometrías de arenas finas, medias y gruesas con espesor entre 7 y 30 cm., siendo las arenas finas y medias las de mayor abundancia en la secuencia. Las lutitas tienen espesores menores a 7 cm. y en comparación con el afloramiento Calnali tienen mucha menor presencia en este afloramiento. Se registro un estrato de conglomerado de 50 cm. con clastos bien redondeados y dimensiones de 14 x 9 x 7 cm. en promedio, de procedencia volcánica y con textura de matriz soportado por arenas finas.

Para el afloramiento Papaxtla se tomaron 3 muestras representativas de mano para su posterior análisis petrográfico en función de criterios como el nivel de exposición y grado de intemperismo, donde se dio prioridad a los estratos que presentaron la mayor abundancia de material fósil en la base de la columna. La figura 25 presenta la columna estratigráfica medida completa. El dato de estratificación registrado en la cima de la columna medida es NW 30° 77°.



Figura 24. Detalle del afloramiento de Papaxtla, Hgo., donde se observa la posición de la estratificación SE60°,62°, así como la zona principal de recolección paleontologica (acotada por las flechas).

3.3.2 Descripción y clasificación del contenido paleontológico.

Los afloramientos de Calnali y Papaxtla se encuentran a una distancia entre sí de 12 km en línea recta, dirección franco norte; esta distancia no es de consideración en términos sedimentológicos, razón por la cual durante el trabajo de campo se esperaban encontrar similitudes en el contenido fosilífero de ambos afloramientos.

Alojados en horizontes cercanos a la base de la columna se encontraron restos fósiles de plantas continentales pertenecientes al grupo de las gimnospermas, siendo éstas las mismas especies registradas para el afloramiento Calnali, sin embargo, también se tuvo registro de semillas de frutos y polen. Resaltó el hecho de que una vez que se terminan las intercalaciones de lutita-arenisca, no se vuelva a tener registro fósil en el afloramiento. También se destaca que en este afloramiento no se encontró contenido fosilífero de origen marino a diferencia del afloramiento de Calnali, donde coexiste con las plantas continentales.

Las coníferas se encontraron en un paquete de estratos de arenisca de grano grueso y espesores desde 4 hasta 18 cm., localizado en el octavo metro de medición, con un estado de conservación malo y sumamente frágiles por la baja competencia de la roca en la que están alojadas (se observaron impresiones de esta especie).

Subiendo 0.9 m. estratigráficamente se registró abundante contenido fosilífero de helechos en impresiones, alojados en una intercalación de areniscas -lutitas con características similares a los estratos de areniscas donde se encontraron las coníferas. Dato estructural: rumbo SE75°,65°; 0.5 metros arriba se registraron cicadales y semillas de frutos fósiles en estratos de lodolita con espesores de 4 a 12 cm. y de arenisca de grano grueso y espesores variables de 15 a 18 cm. que presentan partes plegadas. Este contenido fosilífero es registrado nuevamente en intercalaciones de arenas de grano fino con arenas de granulometría gruesa en los metros medidos 15 y 20. Posteriormente las intercalaciones con lutitas se terminan y la secuencia continúa con areniscas de diferentes granulometrías; el material fosilífero encontrado en los primeros metros medidos del afloramiento no es registrado en otro punto del afloramiento estudiado.

3.3.3 Petrología de muestras representativas

Para el afloramiento Papaxtla se tomaron 3 muestras representativas de roca para su análisis petrográfico, estas se tomaron distribuidas en los paquetes de estratos en donde se encontró el material fosilífero, y en donde la roca presenta un grado de alteración menor, pues gran parte del afloramiento no es apto para el muestreo debido a su fragilidad. Las muestras fueron laminadas en el sentido de la estratificación con el objetivo de identificar o reconocer material fosilífero microscópicamente.

El grado de alteración en esta secuencia pérmica es mayor que en el afloramiento Calnali y se refleja en las láminas delgadas de las muestras; el contenido de arcillas que forman a la matriz de las 3 muestras representa más de 60% de las muestras y estas se visualizan como la parte oscura de las mismas, esto debido a que no permiten el paso de la luz polarizada, no obstante, no se encontraron cristales que no tengan efectos de la alteración sufrida. Ejemplo de lo anterior son los cristales de feldespatos que presentan un avanzado estado de alteración, tornándose negros en su parte interna, pareciendo indicar una probable caolinización (tipo de alteración química de feldespatos a arcillas).

Sin embargo, es posible distinguir cristales de feldespatos (plagioclasas) y cuarzos que, si bien están sufriendo procesos de alteración en sus estructuras, aún es posible su análisis. Los cristales de plagioclasas presentan formas irregulares y en la mayoría de los casos están bien redondeados mientras que algunos cristales de cuarzo presentan formas subangulosas que indican una probable fuente que los aporte no muy lejana de la zona en la que se depositaron, sin embargo, estos representan una minoría en las 3 muestras. Independientemente de los cristales de cuarzo y feldespato que aun son visibles, se cree posible que la muestra tenga minerales ferromagnesianos escasos, sin embargo, la alteración es muy avanzada para determinar lo anterior.

También se destaca la disposición en lóbulos, de óxidos rojizos, probablemente de hierro que pueden explicar el color rojo/marrón intenso del afloramiento (Figura 26), sin embargo es necesario un análisis mas puntual para afirmar lo anterior, así como para determinar el tipo de arcillas que contiene la secuencia sedimentaria. En cuanto a la clasificación puntual de las areniscas analizadas, se considera que dadas las condiciones que presenta, macro y microscópicamente, se podría incurrir en una afirmación errónea considerando que la mayor parte de los cristales ya no existen pues han sido alterados a minerales arcillosos que requieren estudios específicos. Sin embargo, pareciera ser una arenisca similar a la analizada en Calnali.

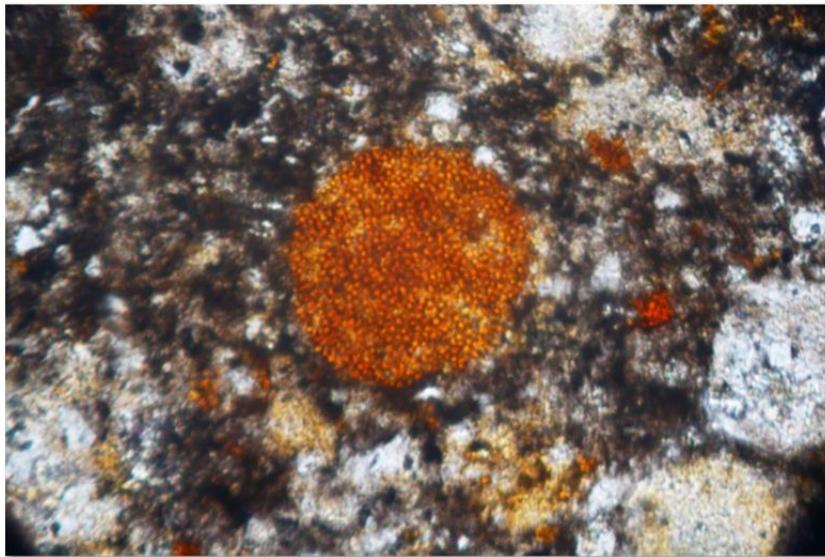
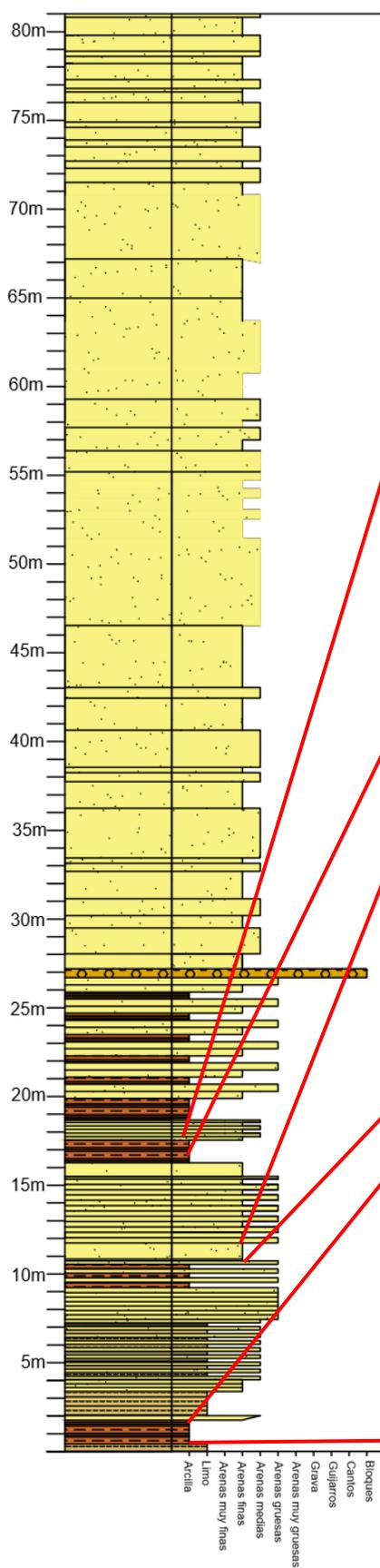


Figura 26. Oxidos acumulados en forma de lobulos sobre cristales de cuarzo.

En la Figura 27 puede observarse la posición estratigráfica de las muestras analizadas (lutitas y areniscas de grano fino), mientras que en la Figura 28 se muestran las principales fases mineralógicas identificadas durante el análisis petrográfico.



Fotografía de muestra representativa P3 en el afloramiento Papaxtla.



Fotografía de muestra representativa P2 en el afloramiento Papaxtla.



Fotografía de muestra representativa P1 en el afloramiento Papaxtla.

Figura 27. Ubicación estratigráfica de las muestras analizadas, en el afloramiento de Papaxtla, Hgo.

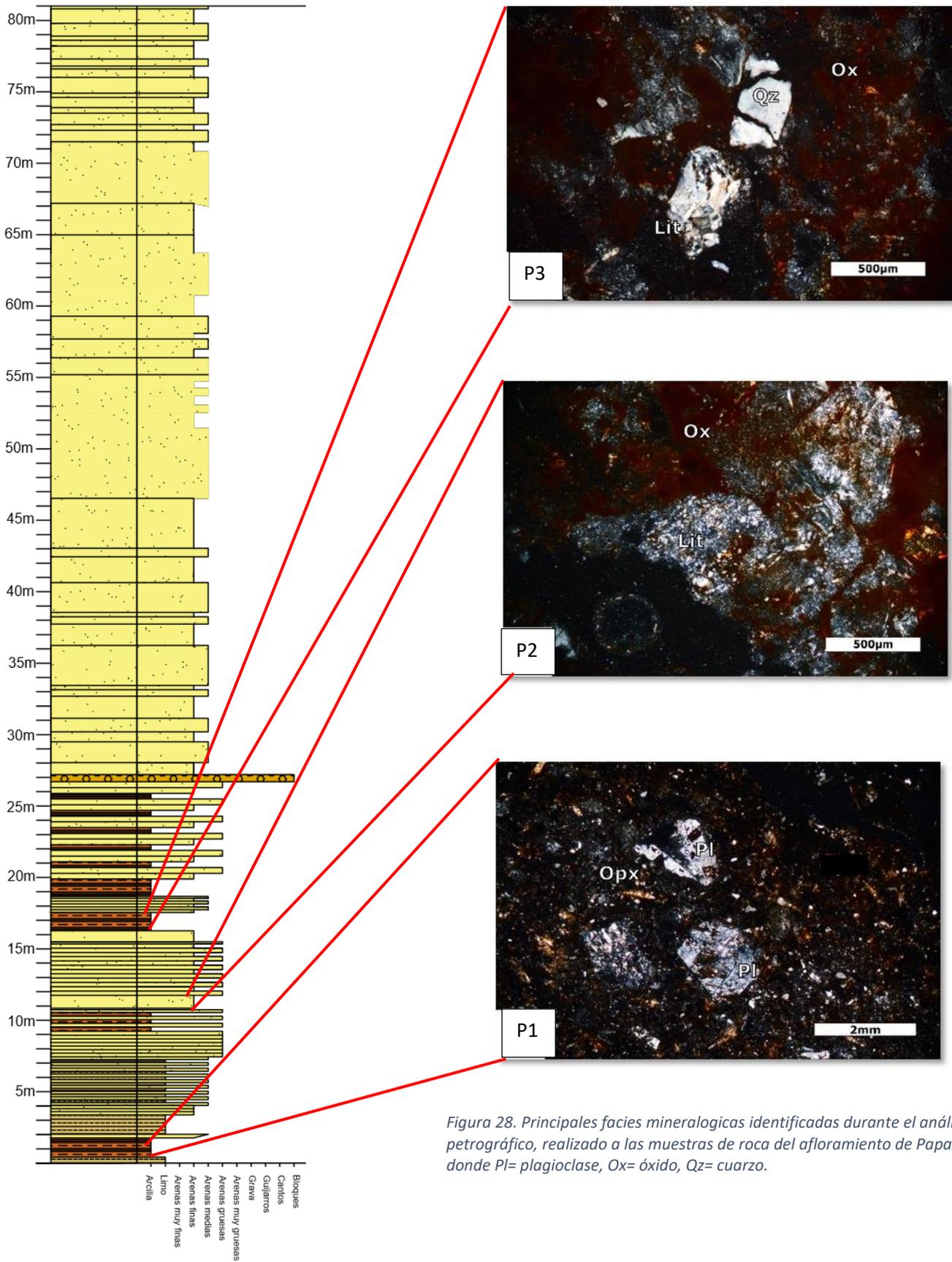


Figura 28. Principales facies mineralógicas identificadas durante el análisis petrográfico, realizado a las muestras de roca del afloramiento de Papaxtla; donde Pl= plagioclase, Ox= óxido, Qz= cuarzo.

3.3.4 Análisis sedimentológico-estratigráfico y características del ambiente de depósito.

La secuencia sedimentaria de Papaxtla, Hgo. tiene muchas similitudes con la secuencia en las cercanías del poblado de Calnali, sin embargo, tiene puntos a considerar que evidencian que las condiciones del depósito no fueron las mismas en ambas.

La columna se caracteriza en una primer parte por una intercalación de areniscas con pequeños espesores que en su mayoría no sobrepasan los 30 cm. y granulometrías de arenas gruesas a finas, y lutitas en estructuras laminadas y lenticulares acuñadas que no pasan de los 8 cm.; en esta primer parte la energía del ambiente de depósito podría haber tenido variaciones provocando el depósito de arcillas en los episodios de baja energía y las arenas en episodios donde la energía se incrementaba, característica que también presenta la columna estratigráfica de Calnali.

En una segunda parte que comienza desde el depósito de un estrato de conglomerado con clastos de origen volcánico en el metro medido 27, las lutitas se pierden, quedando únicamente el registro estratigráfico de paquetes de areniscas medias, finas y gruesas intercaladas, patrón sedimentario que continua hasta la cima de la columna.

La primer parte de la columna donde las areniscas se intercalan en finos estratos de lutitas, representan los horizontes donde fueron encontrados los restos de plantas continentales de clima tropical. Este registro fósil no se encontró en la parte de las intercalaciones arenisca-arenisca hacia la cima de la columna, pudiéndose tratar de un episodio de mayor energía en el ambiente de depósito que tuvo una duración mayor.

El contenido de arcillas es interpretado como causa del intemperismo y alteración, y es posterior al depósito por lo que no es un factor para determinar un ambiente de depósito de baja energía, sin embargo, al analizar la granulometría de toda la columna se observa que no se tiene registro de estratos con granulometría mayor de arenas finas; este mismo patrón sucede en la secuencia que aflora en Calnali.

Por otro lado, el material fósil continental encontrado y la ausencia de especies marinas como los crinoideos registrados en Calnali, da la pauta para intuir que el paleoambiente de depósito se encontraba más adentrado en el continente, posiblemente llanuras de inundación cercanas a la línea de costa.

3.4 Interpretación paleoambiental del área de estudio.

Existe una relación entre las secuencias sedimentarias pertenecientes a la región norte del Anticlinorio de Huayacocotla (Formación Tuzancoa), las cuales se depositaron en un ambiente mixto o transicional, como lo es la secuencia medida en Papaxtla, Hgo., en donde las condiciones del paleoambiente favorecieron el depósito de un número mayor de paquetes de areniscas haciendo que el depósito de lutitas sea menor a diferencia de la secuencia medida en Calnali, Hgo., en donde se dieron las condiciones necesarias para que la secuencia de alternancias lutita-arenisca esté presente en toda la columna.

El contenido paleontológico de ambas secuencias presenta fósiles continentales retrabajados típicos de climas tropicales y subtropicales, que indican que estos fueron arrastrados en condiciones tranquilas y en distancias cortas; solo de esta manera se pudo dar la conservación de los mismos. La secuencia en Calnali además presenta contenido fosilífero de crinoides, los cuales vivían en condiciones marinas y la coexistencia de estos con las plantas continentales tropicales apunta a un paleoambiente transicional, como puede ser una laguna litoral.

Este tipo de ambientes al estar en regiones donde el mar hace contacto con el continente, tienen influencia del oleaje y las mareas, así como de las corrientes fluviales que desembocan directamente sobre la laguna costera. Estas lagunas son formadas principalmente por procesos de dominio marino como el oleaje, y suelen encontrarse detrás de una barrera arenosa que corre paralela a la línea de costa (Day et al. 1989), adquiriendo 3 configuraciones principales, en función del grado de restricción que se presente: obstruidas, restringidas y abiertas (Figura 29).

Las lagunas obstruidas están delimitadas por una barra arenosa que hace a la influencia de mareas y oleaje mínima, en estas el aporte de arenas es abundante. Las lagunas costeras restringidas tienen una influencia mayor de oleaje y mareas mientras que en las lagunas costeras abiertas no hay aporte de arenas y al contrario esta se erosiona.

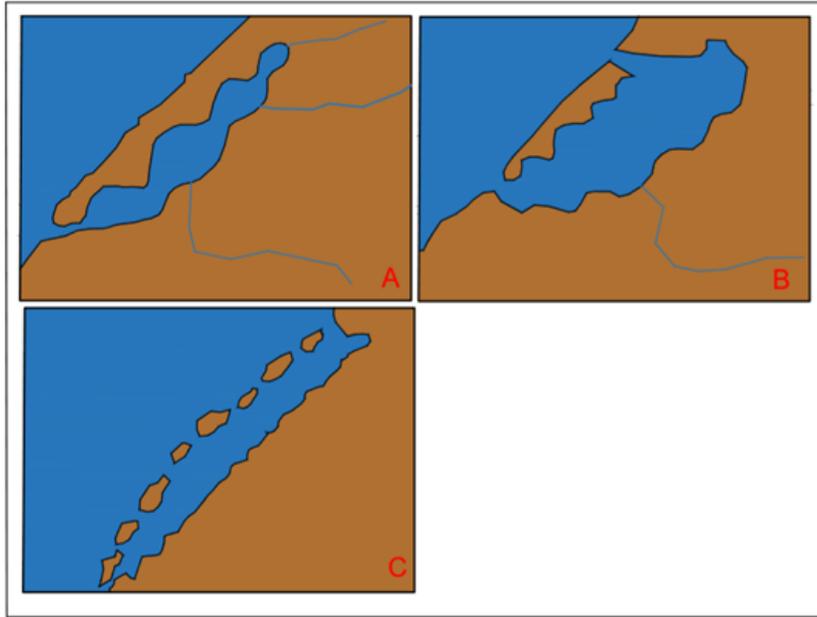


Figura 29. A) Laguna costera obstruida. B) Laguna costera restringida. C) Laguna costera abierta.

Las barras protegen a las lagunas costeras de la influencia del oleaje, provocando condiciones sedimentológicas tranquilas donde es común el depósito de sedimentos finos y haciéndolas un ambiente sedimentario donde se puede dar la coexistencia de organismos continentales con marinos, como lo es el caso de nuestra área de estudio.

Las características de depósito de las secuencias sedimentarias pérmicas analizadas, en donde se observan intercalaciones de bajo espesor en ambos casos, y en las que las variaciones granulométricas están presentes, se pueden interpretar como cambios en el nivel energía del depósito, asociados a las variaciones en el nivel eustático, viéndose influido el ciclo sedimentológico, pues al aumentar el nivel medio del mar, este invadió y ganó terreno al continente, inundando zonas continentales.

De ahí que el paleoambiente de depósito interpretado de las secuencias de Calnali y Papaxtla, Hgo., corresponde a una laguna litoral con facies de llanura de inundación asociada, la cual pudo haberse dado en condiciones de restricción con algunos episodios de obstrucción, determinados por la variación de los factores ya mencionados.

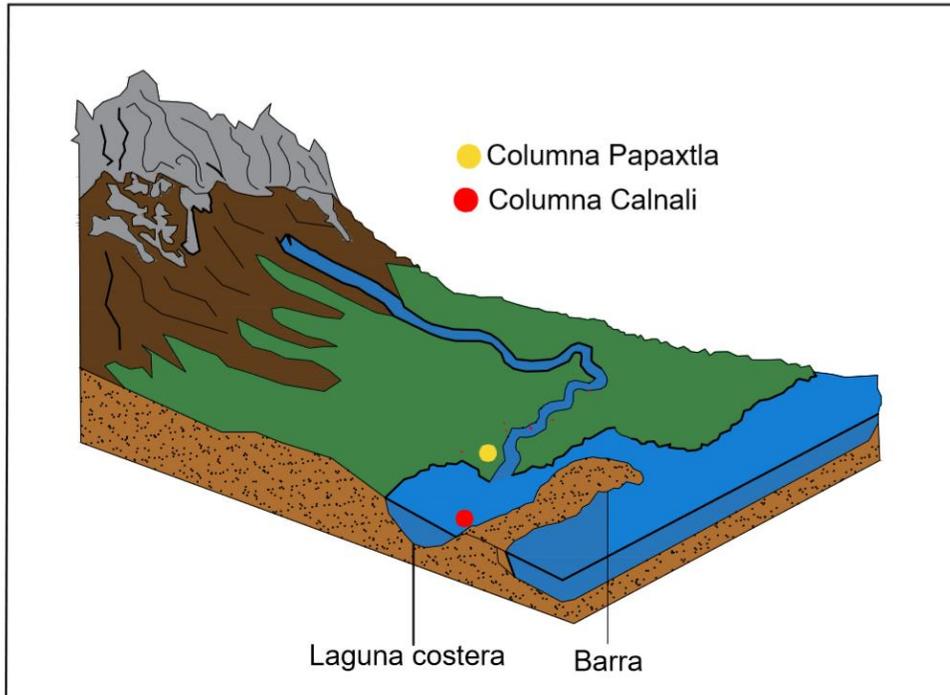


Figura 30. Modelo sedimentológico tridimensional.

La figura 30 muestra el modelo tridimensional generado, en el se ubican ambos afloramientos analizados dentro de la laguna costera propuesta. El afloramiento Calnali, se ubico dentro de la laguna costera propuesta debido a las características ya descritas, sin embargo, la coexistencia y preservación de restos fosiles continentaes y marinos en el mismo afloramiento fue un factor clave.

Por otro lado, el afloramiento Papaxtla, tiene registro fosilifero solo de tipo continental y hacia la cima de la columna el registro estratigráfico de lutitas esta sesgado , siendo unicamente de areniscas que evidencian un episodio de mayor duración y de mayor energía. Esto dio la pauta para inferir que el depósito de este afloramiento se dió en una zona adentrada en el continente, donde las corrientes fluviales tienen mayor influencia que el oleaje y las mareas. Dentro de las llanuras de inundación de la misma laguna costera y sin descartar la proximidad a la desembocadura de un río.

4 Conclusiones.

El análisis sedimentológico-estratigráfico de 2 afloramientos ubicados en la región norte del Anticlinorio de Huayacocotla (Formación Tuzancoa), del Paleozoico Superior (Pérmico), sirvió para definir el paleoambiente de depósito favorable para la acumulación de sedimentos constituidos de grauvacas feldespáticas-limolitas-lutitas que les componen, estas se caracterizan por el alto nivel de intemperismo evidenciado tanto en las muestras representativas como en el análisis petrográfico, en el que las alteraciones a arcillas representan la matriz, que va de 25 a 40% en las muestras analizadas en el afloramiento Calnali. Para el afloramiento Papaxtla, que presenta un estado de intemperismo mayor, las alteraciones a arcillas que representan la matriz de las muestras llegan hasta 60%.

De acuerdo a las características sedimentológicas y paleontológicas observadas, como son los diversos restos fósiles de plantas continentales (gimnospermas tales como coníferas y Gangamopteris, helechos, cicadales y equisetáceas) y crinoides registrados en el afloramiento ubicado más al norte de la región delimitada para el estudio (poblado Calnali, Hgo.), así como las interstratificaciones de bajo espesor de arenisca-lutita, se interpretó que el depósito se dio en condiciones transicionales, específicamente en lo que pudo haber sido una laguna costera con facies de llanuras de inundación.

Considerando que para la conservación del material fósil continental, éste tuvo que ser arrastrado por las corrientes fluviales distancias cortas, se propone que para el afloramiento de Calnali, el ambiente de depósito fue muy cercano a la zona central de una laguna costera, donde la presencia de arenas y lutitas es constante, y la coexistencia de éste con material fósil marino (crinoides) es factible.

El afloramiento Papaxtla, Hgo (10 kilómetros al sur del afloramiento Calnali) no registró contenido fósil de origen marino, y la abundancia de depósitos arenosos sobre los limo-arcillosos, dio pauta para definir que el ambiente de depósito se dio en una laguna costera (posiblemente obstruida) delimitada por una barra arenosa que hace que la influencia de mareas y oleaje sea mínima favoreciendo el aporte de la fracción arenosa. No se descartan facies en condiciones cercanas a la desembocadura de un río dentro de la misma laguna costera.

Recomendaciones

Se propone realizar el levantamiento y análisis de nuevas columnas estratigráficas de la Formación Tuzancoa, que confirmen la interpretación paleoambiental realizada en este trabajo. También es conveniente realizar el levantamiento de columnas complementarias cercanas a la zona de estudio (de edad no paleozoica) que permitan establecer un modelo coherente de evolución paleosedimentaria para antes y después del Pérmico.

Bibliografía

Archangelsky, S., Arrondo, O.G., [1967] 1969. The Permian taphofloras of Argentina with some considerations about the presence of "northern" elements and their possible significations. En: Gondwana Stratigraphy, IUGS Symposium, pp. 71-89. Buenos Aires, Argentina

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

Buitrón, B.E., PATIÑO, J. & MORENO, A. 1987. Crinoideos del Paleozoico Tardío (Pensilvánico) de Calnali, Hidalgo. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, V1, pag. 125-135.

Buitrón, B.E., López Lara, O., Vachard, D., (2017). "Algunos crinoideos del Pérmico de la region de Pemuxco, Hidalgo": *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, V.69, núm.1, p.21-34.

Campa, M.F., and Coney, P.J., 1983, Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in México: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 20, p. 1040-1051.

Cantú-Chapa, A., 1971, La serie Huasteca (Jurásico Medio-Superior) del centro este de México: *Rev. Inst. Mex. Petroleo*, v.3, p. 17-40.

Caraglinio, B., (2011). " El Pérmico de la Cuenca La Golondrina: paleobotánica, bioestratigrafía y consideraciones paleoecológicas": Tesis de doctorado en ciencias naturales, Universidad Nacional de la Plata.

Carrillo Bravo, J., (1965). "Estudio geológico de una parte del Anticlinorio de Huayacocotla". *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*. 17(5-6) p.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*, p.233-285.

Clement-Westerhof, J.A., 1987, Aspects of Permian palaeobotany and palynology; VII, The Majonicaceae, a new family of Late Permian conifers: *Review of Palaeobotany and Palynology*, 52, 375-402.

CONAGUA/INEGI, (2007). Mapa de red Hidrográfica de México, Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la carta Hidrológica de Agua Superficiales serie 1. México, p.1-2.

Condie, Kent, 2011, *Earth as an evolving planetary system*, 3rd edition.

Cserna, Z. de, 1989, *An outline of the geology of Mexico: The Geology of North America – An overview: Vol. A*, The Geological Society of America, p. 233-264

Day, J.W., JR. and A. Yañez-Arancibia. 1982. *Coastal lagoons and estuaries: ecosystem approach*, *Ciencia interamericana* 22:11-26.

Dickin, A.P., and Higgins, M.H., 1992, *Sm/Nd evidence for a major 1.5 Ga crust forming event in the central Greenville province: Geology*, v.20, p. 137-140.

Eguiluz de Antuñano, S., Aranda García M., Randall Marret., (2000). "Tectónica de la Sierra Madre Oriental", *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. México 53:1-26.

Farjon, A, 2008, *A Natural History of Conifers: Portland, TimberPress*, 304 pp.

Fitz, E., Tolson, G., (2012). "The role of folding in the development of the Mexican fold-and-thrust belt": *Geological Society of America*.

Florin, R., (1963). "The distribution of conifer and taxad genera in time and space"; *Acta Horti Begiani*, V.20, p.122-312.

Fries, Carl, Jr., y Rincon Orta, César, 1965, *Nuevas aportaciones geocronológicas y técnicas empleadas en el laboratorio de geocronometría: Univ. Nac. Autón. México, Inst. Geología*, Bol. 73, p. 57-133.

González-Ramírez, I., Calvillo-Canadell, L., Cevallos-Ferriz, S., (2013). "Coníferas cupresáceas de 'EL CHANGO', Chiapas (Aptiano)": *Paleontología Mexicana* 63, p.24-31.

Hermosp de la Torre, Carlos, Martínez-Pérez, Jesús. 1972, *Medición detallada de formaciones del Jurásico Superior en el frente de la Sierra Madre Oriental* : Bol. Asoc. Mex. Geólogos Petroleros, v., p.45-64.

Hernandez-Bernal, M.S., Hernández- Treviño, J.T., 1991, *Evolución geológica de la region de Metztlán/Zacuatlipán, Estados de Hidalgo y Veracruz, México, D.F., UNAM, Facultad de Ingeniería* , Tesis Profesional, 89p.

Hernández-Castillo, G. R., Silva-Pineda, S.A., Cevallos, S.R.S. (2014). "Early Permian conifer remains from Central Mexico and reevaluation of Paleozoic conifer morphotaxa": *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(2), p.85-96.

Hoffman, P.F., 1991. *Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside-out?* *Science* 252, 1409–1412.

Husby, Chad., (2013). " *Biology and Functional Ecology of Equisetum with Emphasis on the Giant Horsetails*": *The Botanical Review* , V.79, Issue 2, p,147-177.

Imlay, R.w., Cepeda, E., Alvarez, M., Díaz, T., (1948). "Stratigraphic relation of certain Jurassic formations in eastern Mexico": *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.32, p.1750-1761.

INEGI, 2009. *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. México.

Lawlor, P.L., Ortega-Gutierrez, F., (1999). " *U-Pb geochronology, geochemistry, and provenance of the Grenvillian Huiznopala Gneiss of Easter Mexico*": *ELSEVIER, Precambrian Research* 94 , p.73-99.

Mapes, G., Rothwell, G.W., 1991, *Structure and relationships of primitive conifers: Neues Jahrbuch fuer Geologie und Palaeontologie Abhandlungen*, 183, p. 269-287.

Martínez-Pérez, J., (1962). "Estudio geológico de una porción de la Sierra Madre Oriental de Zacuatlipán y Tianguistengo, Hgo". (Tesis de licenciatura), México, IPN.

Maynard, J.B., Y Klein, G.D., 1995, *Tectonic subsidence analysis in the characterization of sedimentary ore deposits- examples the Witwatersrand (Au), White Pine (Cu), and Molango (Mn)*: *Economic Geology*, v.90, num.1, p.37-50.

Menéndez, C.A., 1962. Hallazgo de una fructificación en la flora de *Glossopteris* de la Provincia de Buenos Aires (*Lanceolatus bonaerensis* sp.nov.). Consideraciones sobre la nomenclatura de fructificaciones de *Glossopteris*. *Ameghiniana* 2, p.175- 182.

Miller, Ch. N., Jr., (1977). Mesozoic conifers: *Bot. Rev.*, V.43, p.217-280.

Morales Palacios, A., (2015). "Actualización sistemática de los crinoides del Paleozoico Tardío de Sonora, Consideraciones estratigráficas": Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.

Moreno-Cano, L., Patiño-Ruíz, R., (1981). "Estudio del Paleozoico de la region de Calnali, Hgo. (En la Sierra Madre Oriental)." (Tesis de licenciatura), México, IPN.

Ochoa-Camarillo, H.R., (1996). "Geología del Anticlinorio de Huayacocotla en la region de Molango, estado de Hidalgo." (Tesis de maestría en ciencias), México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias.

Ochoa-Camarillo, H.R., Buitrón, B.E., Silva-Pineda, A., (1998). "Contribución al conocimiento de la bioestratigrafía, paleoecología y tectónica del Jurásico (Anticlinorio de Huayacocotla) en la region de Molango, Hidalgo, México": *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, V.15, n.1, P.57-63.

Ochoa-Camarillo, H.R., Buitrón, B.E., Silva-Pineda, A., (1999). "Red beds of the Huayacocotla Anticlinorium, state of Hidalgo, east-central Mexico". In Bartolini, C., Wilson, J.L., and Lawton, T.F., eds., *Mesozoic sedimentary and tectonic history of north-central Mexico: Geological Society of America Special Paper 340*, p.59-68.

Padilla y Sánchez, R.J., (2007). "Evolución geológica del sureste mexicano desde el Mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México": *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Tomo LIX, núm.1,2007, p.19-42.

Padilla y Sanchez, R.J., (1986), *Post-Paleozoic tectonics of Northeast Mexico and its role In the evolution of the Gulf Of Mexico: Geofísica Internacional*, V. 25, No. 1, P. 157-206

Pedrazzini, C., Bazañez-Loyola, 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 Petroleo*, 10(3), 6-25.

Pindell, J., Dewey, J.F., 1982, *Permo-Triassic reconstruction of western Pangea and the evolution of the Gulf of Mexico/Caribbean region: Tectonics*, v. 1, no. 2, p. 179–211

Rigby, J.F., [1962] 1963. *On the collection of plants of Permian age from Baralaba, Queensland. Proceedings of the Linnean Society of New South Wales* 87, 341-351.

Rosales-Lagarde, L., Centeno-García, E., Dostal, J., Sour-Tovar, F., Ochoa-Camarillo, H., Quiroz-Barroso, S., (2005). "The Tuzancoa Formation: Evidence of an Early Permian Submarine Continental Arc in East-Central Mexico." *International Geology Review*, v.47, p.901-919.

Rueda-Gaxiola, J., Dueñas, M.A., Rodríguez, J.L., "Los anticlinorios de Huizachal-Peregrina y de Huayacocotla": *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, V.49, núm.2, p.1-29.

Salvador, A., 1991c, *Origin and development of the Gulf of Mexico Basin*, in A. Salvador, ed., *The Gulf of Mexico Basin: Geological Society of America, The Geology of North America*, v. J, p. 389– 444.

Sánchez, N., Huguet, L., 1959, *Conifers of Mexico: Unasylla* (en línea), <<http://www.fao.org/docrep/x5390e/x5390e04.htm>>

Sour-Tovar, F., Pérez-Huerta, A., Quiroz-Barroso, S.a., Centeno-García, E., (2005). "Braquiopodos y trilobites del Pérmico inferior del Noroestes del Estado de Hidalgo, México." *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(1), p.24-35.

Suter, M., (1990), *Hoja Tamazunchale 14Q-e(5), con Geología de la Hoja Tamazunchale, estados de Hidalgo, Queretaro y San Luis Potosí: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Carta Geológica de México, serie 1:100,000, núm.22.*