

20



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ORIGEN, SEDIMENTOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA DEL
PALEOLAGO DE AMAJAC, HIDALGO.

298839

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA GEOLOGA

P R E S E N T A :

ROSALBA SALVADOR FLORES



DIRECTOR: ING. JAVIER ARELLANO GIL

MEXICO, D.F.

2001



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-542

SRITA. ROSALBA SALVADOR FLORES
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Javier Arellano Gil y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

**ORIGEN, SEDIMENTOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA DEL PALEOLAGO DE AMAJAC,
HIDALGO**

	RESUMEN
I	INTRODUCCION
II	GENERALIDADES
III	GEOLOGIA REGIONAL
IV	SEDIMENTOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA
V	ORIGEN Y EVOLUCION DEL PALEOLAGO
VI	CONCLUSIONES
	BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D.F., a 25 de abril de 2001

EL DIRECTOR


ING. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB*RLLR*gtg



DEDICATORIAS

*Muy especialmente a mis padres
el Sr. Nestor Salvador Pedraza y la Sra.
Juana Flores Cruz, que gracias a su
comprensión y apoyo incondicional
durante toda la carrera, pude realizar
el último trabajo de mi formación
académica.*

*A mis hermanos
Yazmín, Yolanda,
Omar y Nestor, por
toda la paciencia
que tuvieron
conmigo.*

*Y a Monserrat,
que apenas comienza a vivir.*

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al ingeniero Javier Arellano Gil por su ayuda y dirección durante la realización de esta tesis.

También a los ingenieros:

Ing. Emiliano Campos Madrigal

Ing. Héctor Luis Macías González

Ing. Arturo Tapia Crespo

Ing. Martín Carlos Vidal García

Por su revisión y comentarios acerca de esta tesis, que me resultaron muy útiles.

Un agradecimiento especial a la doctora Patricia Velasco De León por su apoyo e interés para este proyecto.

A mis amigos, Horacio Membrillo Ortega y Mauricio Galindo Charles, por su valiosa ayuda en la elaboración de las figuras que ilustran esta tesis y por su invaluable apoyo en las travesías bajo el sol sofocante, en campo. Y a toñito, por sus siempre atinados comentarios para esta tesis.

A Marco Carreón por su ayuda en la elaboración del mapa geológico.

Y a todos los demás cuates que me ayudaron de alguna u otra manera pero que no menciono por que son bastantes

PROLOGO

Esta tesis se realizó con el apoyo del consejo de Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) en el marco de los proyectos de investigación. La tesis "Origen, Sedimentología y Estratigrafía del Paleolago de Amajac, Hidalgo" forma parte del proyecto CONACYT "Estudio Paleoecológico de Santa María Amajac, Atotonilco El Grande, Hgo." Con No. 34854T.

El trabajo de campo y laboratorio se realizó bajo la supervisión de el Ing. Javier Arellano Gil y la Dra. Patricia Velasco De León, académicos de la Facultad de Ingeniería y de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza respectivamente.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	3
I.1 OBJETIVO GENERAL DEL TRABAJO	
I.2 OBJETIVOS PARTICULARES	
I.3 MÉTODO DE TRABAJO	
II. GENERALIDADES.....	5
II.1 LOCALIZACIÓN	
II.2 VIAS DE COMUNICACIÓN	
II.3 CLIMA	
II.4 HIDROLOGÍA	
II.5 VEGETACIÓN	
III. GEOLOGÍA REGIONAL.....	8
III.1 FISIOGRAFÍA	
III.2 HIDROGRAFÍA	
III.3 GEOMORFOLOGÍA	
III.4 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL	
III.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	
III.6 GEOLOGÍA HISTÓRICA	
IV. SEDIMENTOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA.....	26
IV.1 FACIES	
IV.2 ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS	
IV.3 ESTRATIGRAFÍA	
V. ORIGEN Y EVOLUCIÓN DEL PALEOLAGO.....	65
V.1 ORIGEN	
V.2 INFORMACIÓN GENERAL	
V.3 LA SEDIMENTACIÓN EN EL LAGO	
V.4 EL MODELO DE FACIES	
V.5 SEDIMENTACIÓN EN ZONAS MARGINALES. DELTAS LACUSTRES	
V.6 LA SEDIMENTACIÓN DETRÍTICA EN ZONAS LACUSTRES PROFUNDAS	
VI. CONCLUSIONES.....	78
BIBLIOGRAFÍA.....	81
APÉNDICE PETROGRÁFICO.....	84

RESUMEN

En las cercanías de Santa María Amajac, Hidalgo, se estudió una secuencia lacustre que corresponde con la Formación Atotonilco el Grande; la localidad se localiza a aproximadamente 34 Km al Noreste de la Ciudad de Pachuca Hidalgo. Se analizó la sedimentología, estratigrafía, ambiente sedimentario y origen de la secuencia clástica que cubre a las formaciones Mesozoicas y al Grupo Pachuca.

La Formación Atotonilco El Grande se encuentra sobreyaciendo discordantemente a las formaciones El Abra, Tamabra y Soyatal, así como también al Conglomerado Amajac y al Grupo Pachuca; su contacto superior es discordante con derrames basálticos.

El área en estudio tiene gran contraste en el relieve, ya que se encuentra en el límite de dos provincias fisiográficas, su porción norte pertenece a la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental y su sector sur al Eje Neovolcánico, ambas con desniveles topográficos considerables.

Por las características litológicas, sedimentológicas y estratigráficas que presenta la Formación Atotonilco El Grande se interpreta que se acumuló en un ambiente lacustre; en el paleolago denominado en este trabajo "Paleolago de Amajac". El origen de éste se debió al cierre temporal del Río Amajac, evento ocasionado por un deslizamiento de masas que se desprendió de los taludes escarpados del cañón ubicado al noroeste del poblado Doñana; el movimiento se vio favorecido por el gran fracturamiento y fallamiento de tipo inverso que tiene en esta localidad la Formación El Abra. La gravedad y precipitación pluvial actuaron de manera conjunta y ocasionaron una avalancha de materiales de grandes dimensiones, ya que se acumuló una columna heterogénea de cuando menos 160 m de espesor; los escombros cerraron el cañón del Río Amajac dando origen al lago. Se interpreta que la superficie aproximada que alcanzó el lago en tiempos de máxima inundación era de 80500 m².

Posteriormente la erosión y transporte de sedimentos de las partes elevadas y el aporte de material volcánico (cenizas) hacia la cuenca derivó en la acumulación de sedimentos detríticos que corresponden a areniscas, limolitas, margas, tobas y lutitas limosas.

La sedimentación culmina cuando la erosión actuó sobre la avalancha y el mismo río comenzó a remover los escombros al colmatarse de sedimentos la zona del embalse, evento probablemente asociado a una mayor carga hidráulica debida a una gran precipitación pluvial. Posteriormente siguió una fase intensa de erosión de los sedimentos lacustres quedando en la actualidad únicamente lomeríos de roca lacustre profundamente disectados.

Se midieron cuatro columnas estratigráficas en las proximidades de los poblados de Santa María Amajac y Sanctorum, encontrándose un espesor mínimo de 70 m y un máximo de 151.3 m.

Se caracterizaron las facies sedimentarias de la secuencia lacustre, las que corresponden con facies de conglomerado, de areniscas, limolita I, limolita II, lutita limosa, lutitas y tobas; los conglomerados presentan clastos de andesita, riolita, tobas y en menor proporción de calizas, el tamaño va de cantos a bloques, con matriz arenosa

medianamente compactados aunque en ocasiones se encuentran cementados por calcita, son de color ocre por alteración; presenta laminación cruzada y gradación normal, forman además paleocanales. Las facies de arenisca son principalmente grauwas liticas, litarenitas (calcáreas) y arcosas con un alto contenido de material volcánico, que varían en tamaño de grano de arena muy fina a gruesa, son de color verde o gris, con laminación, laminación cruzada, laminación convoluta, gradación normal, grietas de desecación y gotas de lluvia, sus estratos tienen espesores que van de 3 a 40 cm; contiene algunos horizontes de materia orgánica. Las lutitas limosas son de color crema al intemperismo y gris al fresco, con estratos delgados que presentan laminación y laminación cruzada, con algunas concreciones de calizas y horizontes con abundantes hojas fósiles. La facies de limolita I corresponde con una potente secuencia de depósitos clásticos, influenciada de manera importante por material volcánico, los estratos varían de 0.5 a 1.5 m, presentan lentes conglomeráticos y se encuentra intensamente erosionada; la facies de limolita II son de color gris al fresco y crema al intemperismo, con importante influencia volcánica, contiene ignofósiles y horadaciones, sus estratos varían de 60 cm hasta 1.5 m de espesor. La facies de lutita corresponden con una secuencia rítmica de tonos crema a amarillo ocre, finamente laminado con espesores de 1 a 3 cm, como estructuras sedimentarias presenta laminación normal y convoluta, con un alto contenido de hojas fósiles, peces y gran cantidad de diatomeas. La facies de tobas son de color gris al fresco y crema al intemperismo, con estratos de 3 a 10 cm de espesor, presentan calcos de hojas.

En la localidad de Sanctorum la secuencia lacustre presenta gran cantidad de flora y fauna fósil, en relación a la flora se reconocieron a las Familias Salicaceae, Platanaceae, Fagaceae y Rosaceae; en cuanto a la fauna, son abundantes los gasterópodos del género *Planorbis*, ostrácodos peces pequeños, insectos y restos de un vertebrado, (probablemente un anfibio). El insecto pertenece al orden Coleoptera, que por sus características morfológicas se le ubica en la familia Meloide, posiblemente perteneciente al género *Epicuta*. En menor proporción se encuentran horizontes con estratos que contienen hojas fósiles en las siguientes localidades: en El Paso Amajac que se encuentran dentro de la facies de arenisca, en Los Baños Amajac estas hojas se encuentran dentro de la facies de lutita limosa y en Santa María Amajac se encuentran en la facies de tobas.

Con base en su contenido fósil y en el registro estratigráfico se le asigna a la Formación Atotonilco El Grande una edad del Plioceno (Blancano).

I. INTRODUCCIÓN

I.1 OBJETIVO GENERAL DEL TRABAJO

Realizar el análisis sedimentológico-estratigráfico integral que permita conocer las características y condiciones que prevalecieron y que dieron origen al Paleolago de Amajac, Hidalgo.

I.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Conocer las características del Paleolago de Amajac, con relación a su evolución, extensión y edad.
- Definir las facies sedimentarias que caracterizan a la secuencia lacustre de Amajac.
- Conocer la edad del Paleolago con base en su contenido fosilífero y relaciones estratigráficas.
- Conocer la litología y estructuras sedimentarias de las unidades depositadas en el Paleolago de Amajac.
- Conocer la evolución del Paleolago con base en las estructuras, fósiles y facies sedimentarias.
- Estudiar la flora y fauna de los sedimentos del Paleolago de Amajac.

I.3 MÉTODO DE TRABAJO

La metodología que se siguió para llevar a cabo este trabajo se puede dividir en cuatro etapas las cuales fueron:

RECOPIACIÓN Y SÍNTESIS DE LA INFORMACIÓN

Consistió en la recopilación de información geológica, geográfica y cartográfica del área de trabajo, la cual se estudió, analizó y sintetizó. Se revisaron artículos, informes técnicos, memorias, monografías, tesis, cartas topográficas y geológicas.

Se realizó el análisis fotogeológico correspondiente con un estereoscopio de espejos modelo WILD HEERBRUGG ST4-9691; las fotografías se encuentran a escala 1:35 000, a color, del INEGI¹. Con lo que se determinaron los contactos entre formaciones geológicas, las estructuras mayores y la distribución de la secuencia lacustre.

¹ INEGI: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

TRABAJO DE CAMPO

Se llevó a cabo como primer actividad el reconocimiento del área de estudio, posteriormente se realizó la verificación de el material cartográfico y de las fotografías aéreas; y se les hicieron las correcciones pertinentes. Como segunda actividad se identificaron los mejores afloramientos y se procedió al levantamiento geológico a detalle de tres columnas estratigráficas representativas de la secuencia lacustre, la medición de estas columnas se realizó con el Báculo de Jacob, y se hizo la colecta de muestras de mano de forma sistemática tanto de rocas como de fósiles.

Finalmente se hizo una supervisión de campo por parte del director de tesis, en donde se aclararon dudas, se hicieron sugerencias y correcciones necesarias.

TRABAJO DE LABORATORIO

El trabajo en el laboratorio de petrología sedimentaria consistió en la descripción microscópica de 33 láminas delgadas. Simultáneamente se hizo la descripción megascópica de las muestras de mano.

LAS SIGUIENTES ACTIVIDADES FUERON REALIZADAS EN GABINETE:

Se dibujaron y complementaron los mapas definitivos.

Se realizó la interpretación de todos los datos geológicos.

Se esquematizaron tres columnas estratigráficas levantadas en campo.

Se integró el texto de este trabajo de tesis con la recopilación bibliográfica, datos obtenidos en campo y laboratorio.

II. GENERALIDADES

II.1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio se encuentra localizada en la porción Sur Central del Estado de Hidalgo, a aproximadamente 34 Km al Norte de la Ciudad de Pachuca, Hidalgo.

Está limitada por los paralelos 20° 15' y 20° 23' Norte y los Meridianos 98° 40' y 98° 49' Oeste. (Figura 1)

II.2 VIAS DE COMUNICACIÓN

Para arribar al área de trabajo se transita por la carretera federal No. 105 (Tampico-Tuxpan) vía corta, por la cual, a 34 Km al Norte de la Ciudad de Pachuca, Hidalgo, se llega al Municipio de Atotonilco el Grande límite oriente del área estudiada. Por el poniente, a través de la carretera Federal No. 85 México-Laredo, se arriba al Municipio de Actopan Hidalgo, a partir de esta ciudad se pueden elegir dos rutas de acceso a la zona de estudio; la primera es dirigirse hacia el oriente por un camino de terracería que a 23 Km comunica al poblado de La Mesa Chica; que es el límite poniente del área estudiada, o bien continuar por la carretera México-Laredo para llegar a la Ciudad de Pachuca y realizar el recorrido antes mencionado.

Para desplazarse dentro de la superficie de trabajo, existen varios caminos de terracería con algunos sectores que comunican a los diferentes poblados que ahí se localizan, por ejemplo, están las terracerías que van de Atotonilco el Grande a Santa María Amajac, Sanctorum, Mesa Chica y Mesa Doñana.

Existen además una gran cantidad de veredas por las que se puede caminar a pie.

II.3 CLIMA

Según la Síntesis Geográfica del INEGI 1991, el área de trabajo queda comprendida en una región cuyo clima pertenece al subgrupo de clima templado subhúmedo con lluvias en verano "C(w2)". Se presentan temperaturas medias anuales que varían entre los 14°C y 20°C y la precipitación media anual varía entre los 600 y 1000 mm.

II.4 HIDROLOGÍA

Cruza la zona de estudio el Río Amajac, que va desde la margen Sureste hasta la margen Noreste, tiene una longitud aproximada de 42 Km dentro del área.

La parte Sur, Oeste y Noroeste del área, corresponde a la Subcuenca del Río Amajac (S3345) y la margen Noreste corresponde a la Subcuenca Río Venados (V2638), ambas pertenecientes a la Cuenca Río Moctezuma(D) y a la Región Hidrológica de Pánuco (RH26).

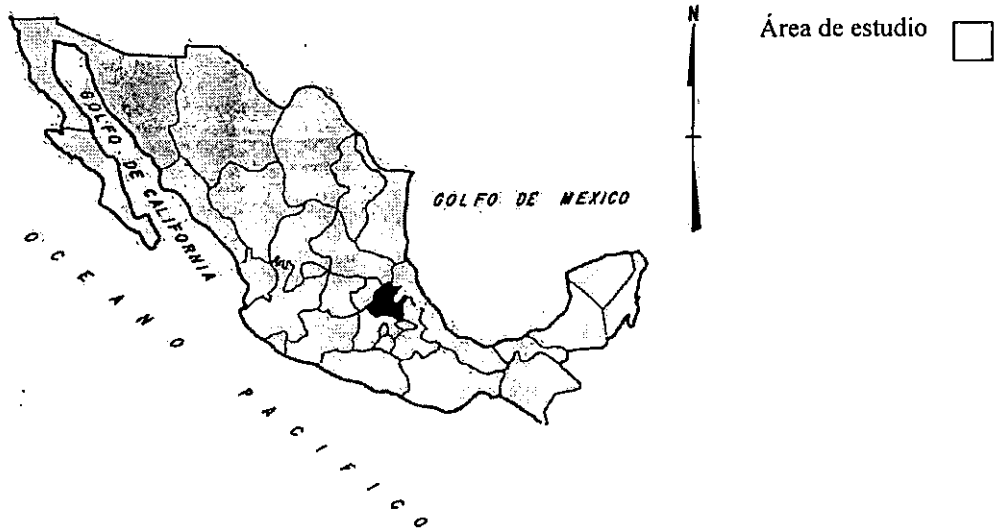
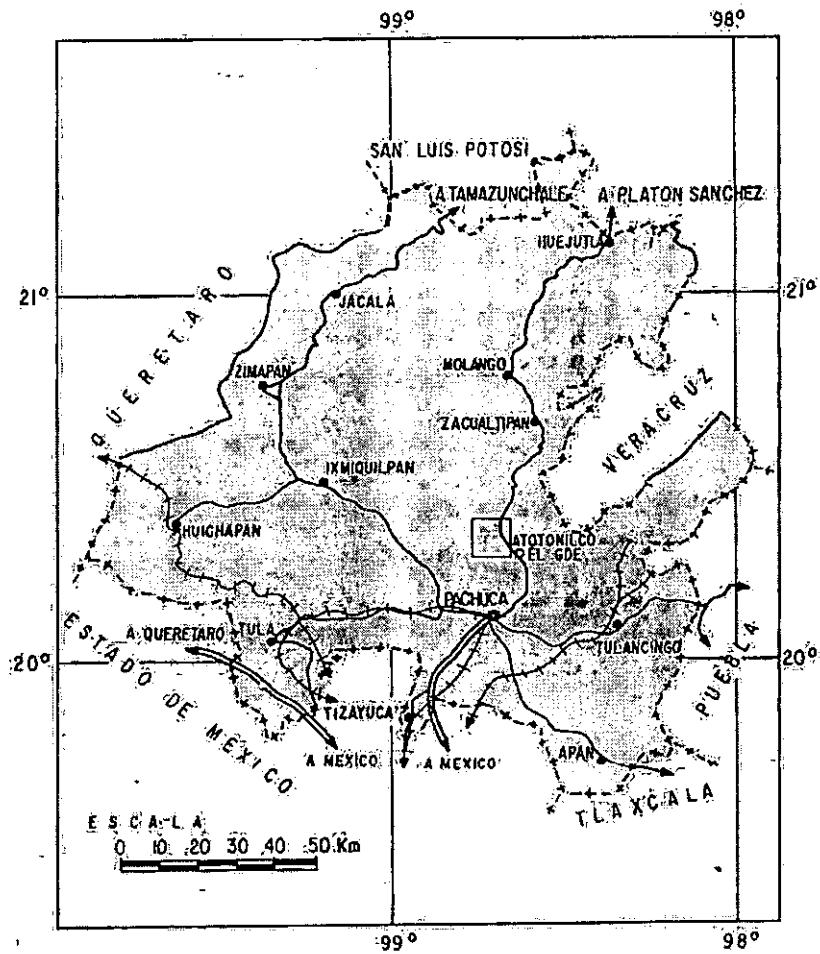


Figura 1. Mapa de localización

Según datos de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, la Subcuenca del Río Amajac, ocupa un área de 4,031 Km². Con una precipitación media anual que varía entre 600 y 2000 mm y un escurrimiento medio anual de 1,402.5 mm. La Subcuenca Río Metztlán, ocupa un área de 2,576 Km², presenta precipitación media anual entre 341 y 1354 mm y un escurrimiento medio anual de 178.3 mm.

El área analizada cuenta con una gran cantidad de arroyos principalmente intermitentes, los de carácter permanente se caracterizan por conducir caudales muy bajos, sobresaliendo el arroyo "Los Baños Amajac" el cual se forma a partir del manantial termal del mismo nombre.

En la margen noreste del área, sobre la mesa de Atotonilco, existen varias presas y bordos, tanto de tierra como de mampostería; sus aguas son utilizadas para riego. El INEGI en 1982, muestreo la presa "La Quilita", resultando estar construida de mampostería, con obra de toma en su margen izquierda, sus aguas se clasifican como agresivas ya que tienen abundantes sólidos disueltos (326 ppm), el constituyente principal es el CaCO₃, con 173.0 ppm.

Las aguas del Río Amajac se clasifican como incrustantes, con un total de sólidos disueltos de 523 ppm, el constituyente principal es el CaCO₃, con 340.5 ppm.

Las aguas del Río Amajac se utilizan para la agricultura, ganadería y uso doméstico. Sin embargo, sólo el 10 % es aprovechable, debido a las condiciones orográficas existentes. En el Río Amajac, sobre su sector más sur dentro del área de estudio se está construyendo una presa derivadora que tiene como finalidad proveer de agua para cultivos a las zonas bajas.

Por otra parte, las aguas del manantial termal "Los Baños", y de acuerdo al informe de análisis químico del INEGI (1982), se le clasifica como aguas incrustantes, con un total de sólidos disueltos de 2,422 ppm, siendo los principales constituyentes SO₄ con 1,585.4 ppm y CaCO₃ con 1,537.5 ppm; tiene una temperatura promedio de 52°C. En el manantial se construyeron obras de captación para concentrar el agua que es destinada al uso recreativo en el balneario.

II.5 VEGETACIÓN

En la zona estudiada se desarrolla vegetación de matorral submontado y pastizales. Con más precisión, podemos encontrar en las márgenes del Río Amajac sauces y alies (*Alnus*, sp) en las laderas; en el relieve alto predominan, huizache, mezquite, nopal, garambullo, maguey, organo, yuca, palma, biznaga y pirul.

En las zonas de mayor relieve encontramos encinos, madroño, palma y lechuguilla.

III. GEOLOGÍA REGIONAL

II.1 LOCALIZACIÓN FISIOGRAFICA.

De acuerdo a Lugo, (1991), el área estudiada se ubica en el límite de dos provincias fisiográficas: Sierra Madre Oriental (subprovincia Sierra Alta) en su parte Sur, y Cinturón Neovolcánico Transversal (subprovincia Sierras Volcánicas y Planicies del Centro), hacia su parte Norte-Centro. (Figura 2)

La Provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental, es un sistema montañoso constituido principalmente de rocas mesozoicas sedimentarias plegadas y falladas, extendida desde el Norte de Coahuila hasta el paralelo 20° en la costa de Veracruz. Aunque la estructura geológica es uniforme en la mayor parte de su extensión, el relieve presenta diferencias notables debido a las condiciones climáticas, que son gradualmente más húmedas hacia el Sur. Por esto, en el Norte son comunes los relieves de crestas alargadas limitadas con pedimentos o disecadas por valles intermontados, controlados por la estructura geológica. En su porción Sur el relieve dominante es de crestas montañosas paralelas, sobre planicies de erosión-acumulación condicionado por la neotectónica y el clima.

La provincia del Cinturón Neovolcánico Transversal, geomorfológicamente cuenta con planicies escalonadas ocupadas por montañas volcánicas y estratovolcanes cuaternarios muy disectados. Sobre las rocas volcánicas se han labrado varias cuencas endorreicas.

III.2 HIDROGRAFÍA

Según el análisis hidrográfico realizado en el área de estudio, se tiene un sistema fluvial complejo, que está compuesto por corrientes permanentes e intermitentes, la más importante es el Río Amajac, caracterizándose por presentar una sucesión continua de meandros muy cerrados. A este río confluyen sus afluentes principales, con cursos de agua permanente, correspondientes al Río Chico, el Arroyo Los Gómez, el Arroyo Los Baños Amajac y el río que pasa por la localidad "El Puente de Dios". Las corrientes intermitentes corresponden con una gran cantidad de arroyos que son afluentes secundarios del Río Amajac y por dos arroyos afluentes del Río Venados, que se localiza al Noroeste, fuera del área de estudio. También se tienen algunos manantiales, el más importante es de agua termal que se conoce como "Los Baños Amajac", el cual alimenta al arroyo del mismo nombre; otro es un manantial de agua fría que se encuentra en la localidad "Agua Nacida". Se tienen además algunos manantiales de menor orden.

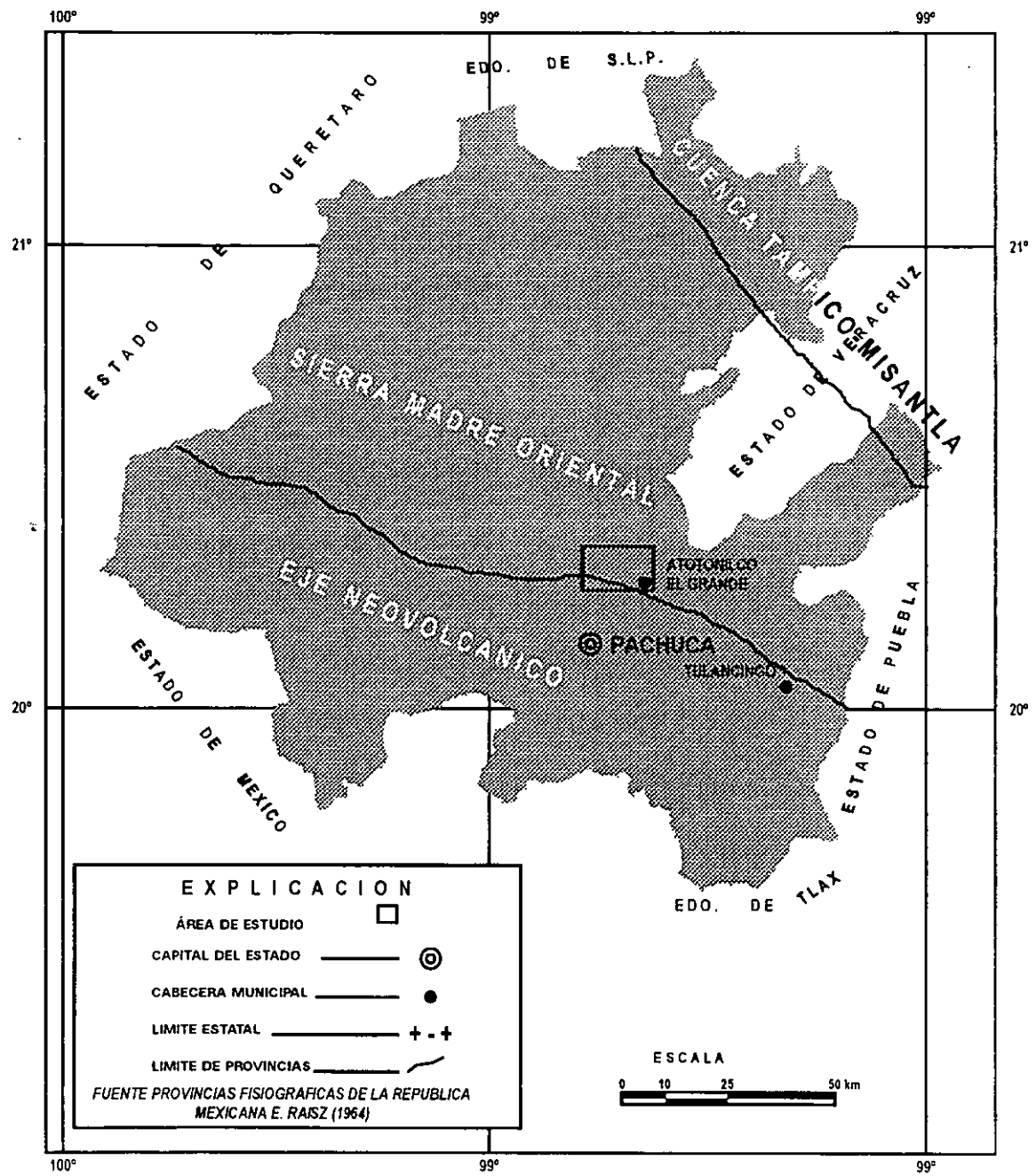


Figura 2. Provincias Fisiográficas. Tomada de la Monografía del Estado de Hidalgo editada por el Consejo de Recursos Minerales, 1992

III.3 OROGRAFÍA

En el área de estudio se tiene relieve muy variado, ya que existen sierras, mesas, cerros, valles y cañones. El relieve de esta región nos evidencia los procesos exógenos y endógenos que lo han formado y modelado, los cuales han sido tectónicos y volcánicos en el caso de los endógenos y los exógenos, son la erosión y el intemperismo, los principales agentes de modelación.

Las formas de relieve más notables son: sierras de calizas, sierras de andesitas, mesas de basaltos y escarpes. Se presentan algunos lomeríos en lutitas, en andesitas y en volcanoclásticos; se observa también laderas, cañones, cavernas y terrazas aluviales; sus características principales se describen a continuación.

RELIEVE DE ROCAS SEDIMENTARIAS MARINAS

Sierras de Calizas. Hay tres sierras, una hacia el Este, de la cual forma parte el Cerro Tiltepec, su altura máxima alcanza la cota de 2080 msnm¹ y la mínima corresponde a 1980 msnm (100 m de desnivel), su ancho es de aproximadamente 1 km, hacia su margen oriente presenta pendiente de 12.5% y hacia su margen poniente de 26.4%. La segunda sierra se ubica hacia el Este del poblado de Santa María Amajac, cuya altura máxima alcanza los 2300 msnm, la mínima es de 1900 msnm (400 m de desnivel), su ancho es de aproximadamente 2.5 Km, hacia su límite sur; su flanco Oriente presenta pendiente de 56.6% y de 19.5%; en su parte media, tiene pendiente de 34.6% para el flanco oriente y de 21% en el poniente. En su límite Norte tiene pendiente de 34.6% en su flanco Oriente y de 30.9% en el flanco Poniente. La tercera sierra esta localizada hacia el Oeste de Santa María Amajac, alcanza los 2200 msnm como altura máxima y la mínima tiene la cota 1340 msnm (860 m de desnivel), su ancho promedio es de aproximadamente 2.3 km, con pendientes son en promedio del 30%, hacia el Oriente y del 40% hacia el Poniente. Dichas formas de relieve corresponden a estructuras anticlinales cuya orientación varía desde NW10°SE hasta NW45°SE.

Lomerío de lutitas. Se localizan al Noroeste de Santa María Amajac, entre dos Sierras de calizas. Su morfología fue modelada principalmente en lutitas calcareas y calizas arcillosas donde se han desarrollado principalmente en las estructuras sinclinales cuya orientación general es NW45°SE; su ancho es de 3 km y sus pendientes son del 18% en promedio.

El origen de las formas positivas del relieve se asocia con la fuerte actividad tectónica a la que fue sometida la región (Orogenia Laramide) al final del Cretácico y durante el Eoceno, lo que causó el plegamiento, levantamiento y cabalgamiento de las secuencias de rocas carbonatadas de la Formación el Abra y a las lutitas calcareas y calizas arcillosas de la Formación Soyatal; dando como

¹ msnm.- metros sobre el nivel del mar.

resultado los sinclinales y anticlinales que se observan en el relieve del lugar, los que han sufrido una intensa erosión y disección.

Cañón labrado de calizas. Inicia al Suroeste del poblado de Santa María Amajac y se extiende en dirección predominantemente Este-Oeste, hasta la margen Suroeste de la mesa de Doñana, donde da vuelta y continua por la margen Noroeste de la carta, formando meandros.

La disección es tan profunda que tiene desniveles de más de 300 metros, con paredes verticales formando zonas inestables con frecuentes deslizamientos que causan flujos de masas.

RELIEVE EN ROCAS IGNEAS

Sierras de Andesitas. Se encuentra localizada hacia la margen Sur del área estudiada, su orientación es Este-Oeste, y es parte de la Sierra de Pachuca, su punto más elevado se encuentra a 2380 msnm y tiene una pendiente promedio de 44.4%.

El proceso endógeno que le dio origen, fue el vulcanismo extrusivo mismo que aportó la mayor parte del material y en menor proporción, el magmatismo intrusivo. Predominan rocas de composición andesítica, lo que indica la existencia de un arco volcánico.

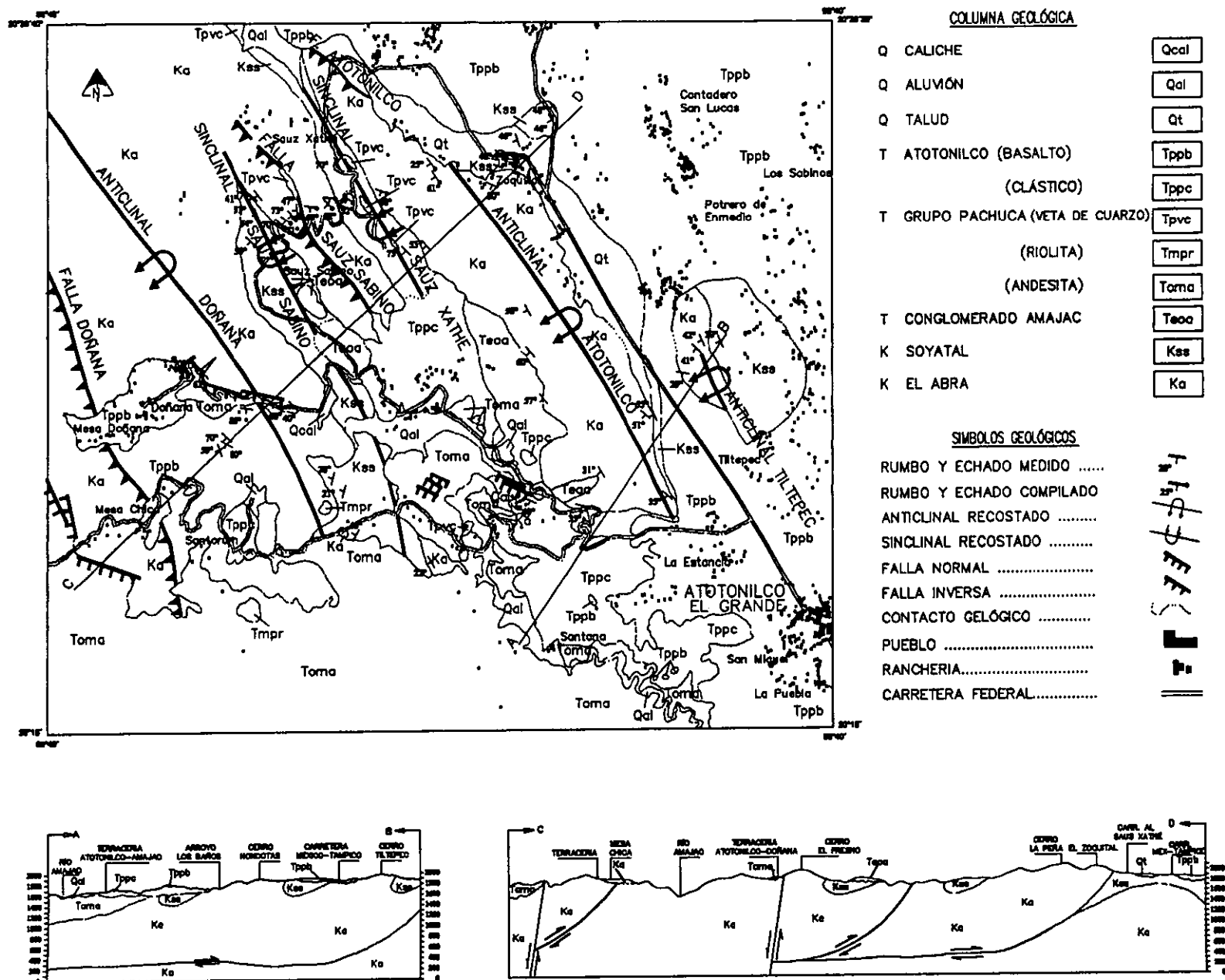
Lomerío de andesitas. Son producto del modelado de derrames de andesitas, por efecto de intemperismo y erosión fluvial, se localizan al Sur del pueblo de Santa María Amajac.

Mesas de Basalto. En el área de estudio existen tres mesas de basalto que son la Mesa de Atotonilco El Grande la cual se localiza al Este del área en estudio; la Mesa Doñana y la Mesa chica ubicadas en la parte Oeste del área de estudio, las cuales se encuentran separadas por el cañón del Río Amajac.

III.4 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL

III.4.1 FORMACIONES MARINAS

En la región estudiada solo afloran tres formaciones marinas que son, la Formación El Abra, la Formación Tamabra y la Formación Soyatal; tres unidades continentales, Conglomerado Amajac, Grupo Pachuca, Basaltos Atotonilco; también se tienen sedimentos recientes. La distribución de todas las unidades se muestra en el mapa geológico. (Figura 3)



FORMACIÓN EL ABRA

Definición. Garfias (1915), usó el término "El Abra Limestone" por vez primera, este nombre fue formalmente elevado a la categoría de Formación por Kellum en 1930, quien la dividió en: "Miliolina phase" y "Taninul phase", estas fueron consideradas más tarde como las facies El Abra y Taninul por Bonet (1952, 1956, 1963), Griffith (1969) y otros.

Localidad tipo. Se encuentra en el Cañón El Abra, en la sierra del mismo nombre, sobre la carretera San Luis Potosí-Tampico, a 10 km al oriente de Ciudad Valles, San Luis Potosí.

Distribución. La Formación El Abra se encuentra distribuida, en el área de estudio de la siguiente manera: hacia la parte Este en los cerros Tiltepec y en la sierra al Oeste de Atotonilco el Grande; en el sector Oeste aflora en los cerros el Fresno, El Aguila, Cerro Blanco y los alrededores del poblado Sanctorum Mesa Chica y Mesa Doñana, y en la parte Noroeste se encuentra en lo alrededores de poblado de Sauz Xhaté y en los cerros El Tigre y La Ventana.

Litología y espesor. Son calizas wackastone de color gris al intemperismo y gris claro al fresco, se encuentran en estratos con espesores gruesos que varían de 60 cm a 2 m y algunos son masivos. También se puede observar en algunas partes una recristalización parcial, y en otros sitios estilolitas.

El espesor de la Formación solo ha sido estimado ya que no se ha podido medir por que la base no aflora; sin embargo con base en la construcción de secciones estructurales, se estima mayor a 750 m.

Edad y correlación. Se le ubica en un rango cronoestratigrafico del Albiano-Cenomaniano, se correlaciona con la Formación Morelos de la cuenca de Guerrero-Morelos, con la Formación Tamaulipas Superior y con la Formación Cuesta del Cura. (Figura 4)

Ambiente de depósito. De acuerdo a las características litológicas y el contenido fosilifero, se infiere que se acumuló en un ambiente de plataforma carbonatada y su posición en el área de estudio podría corresponder a la parte post-arrecifal interna o lagunar, de la denominada plataforma de Actopan. (parte Sur de la Plataforma San Luis-Valles)

FORMACIÓN TAMABRA

Definición. Heim (1940), consideró como Formación Tamabra al complejo calcáreo debajo de las formaciones San Felipe o Xilitla (Agua Nueva). Para Heim las calizas Tamaulipas, Tanunil y El Abra son facies de la misma Formación Tamabra;

TABLA DE CORRELACION ESTRATIGRAFICA

**ORIGEN, SEDIMENTOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA DEL PALEOLAGO DE AMAJAC, HIDALGO.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	PISO	PROSPECTO QUERETARO - TULA (MANUEL ZOZAYA, 1971)	HIDALGO MERIDIONAL (SEGERSTROM Y KENNET, 1962)	STA. MARIA AMAJAC HGO. (AREA DE ESTUDIO)**	PORCION CENTRAL Y OCCIDENTAL DE LA PLATAFORMA VALLES - SLP*	CUENCA DE TAMPICO - TUXPAN (EN HOJA PACHUCA)	
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE		Aluvi3n Basalto	Aluvi3n Basalto	Depositos Recientes	Aluvi3n	Aluvi3n	
		PLEISTOCENO							
	PALEOGENO	NEOGENO	PLIOCENO		Tarango - Alot3nico	Tarango - Alot3nico	Atot3nico	La Borreguita	Santo Domingo
			MIOCENO		Rocas Volc3nicas	Rocas Volc3nicas			
			OLIGOCENO			Riolita Cereza Grupo Pachuca Grupo El Morro	Grupo Pachuca		
			EOCENO						
	PALEOCENO				Cg. Amajac				
MESOZOICO	CRETACICO	SUPERIOR	MAESTRICHTIANO						
			SENONIANO	Mexcala	M3ndez	Mexcala	M3ndez		
			TURONIANO						
			TURONIANO	Soyatal	Agua Nueva	Cuautla	Soyatal	Cuautla	
			CENOMANIANO		Cuesta del Cura				
			ALBIANO		El Abra	Doctor	El Doctor	? Morelos	
	INFERIOR	APTIANO		Otates					
		BARREMIANO			Santuario				
		NEOCOMIANO		Tamaulipas Inferior		Santuario		Guaxcam3	Tamaulipas
	JURASICO	SUPERIOR	TITHONIANO						
			KIMMERIDGIANO		Las Trancas		Las Trancas		
		MEDIO	CALLOVIANO						
BATHONIANO									
BAJOCIANO									
INFERIOR		LIASICO							
	TOARCIANO								
TRIASICO	SUPERIOR								
	MEDIO								
	INFERIOR								
PALEOZOICO	PERMICO								
	PENSILVANICO								
	MISSISSIPICO								
	DEVONICO								
	SILURICO								
	ORDOVICICO								
CAMBRICO									
PRECAMBRICO									

Ausente por erosi3n o no dep3sito

 Contacto inferior no observado

Figura 4

las cuales se interdigitan lateralmente y en ocasiones se repiten una encima de la otra en la misma localidad.

Distribución. Se encuentra aflorando cerca del balneario de aguas termales “Los Baños Amajac”, sobre la carretera que va de Atotonilco El Grande a Santa María Amajac.

Litología y espesor. En el afloramiento se observa una brecha calcárea intraformacional de color gris al intemperismo y gris claro al fresco, parcialmente recristalizada y dolomitizada; se encuentra en forma masiva. Se le ha estimado un espesor de 2000 m. (Hernández y Hernández, 1991).

Relaciones estratigráficas. La base de la Formación no se encuentra expuesta, su contacto superior es concordante con la Formación Soyatal y en otros sitios se encuentra en contacto por medio de una discordancia con la Formación Atotonilco El Grande.

Edad y correlación. Se le asigna una edad del Albiano-Cenomaniano por su relación de interdigitación con las rocas arrecifales de la Formación El Abra, como se observa en al figura 4.

Ambiente de depósito. Se acumuló en el talud continental, producto de flujos de escombros.

FORMACIÓN SOYATAL

Definición. El nombre de Formación Soyatal lo utilizó por primera vez Wilson (1955), quien describe que esta secuencia en su parte inferior, está formada por estratos bien definidos, de 10 a 20 cm de espesor, de caliza gris oscura de grano fino, separados por intercalaciones delgadas de lutitas rojas. La parte superior consiste de caliza con interestratificación de capas más delgadas (5 a 10 cm), de caliza arcillosa y lutita calcárea.

Por otra parte Segerstrom (1961), reporta que la Formación Soyatal está integrada por caliza arcillosa de color gris, en capas espesor mediano a delgado y sin pedernal.

Distribución. Se encuentra aflorando hacia el Norte, Noroeste y Suroeste de Santa María Amajac, así como hacia el Este del Cerro Bondotas y al Este del Cerro Tiltepec.

Litología y espesor. En la base de la secuencia podemos observar estratos de caliza con textura Packestone, formados por intraclastos, fósiles, micrita y cuarzo; sobreyaciendo cambian a caliza arcillosa; el espesor de los estratos varía entre 10 y 20 cm, se encuentran interestratificados con capas de lutitas calcáreas con

espesores de 3 a 5 cm. Hacia la cima de la secuencia predominan estratos de lutitas calcáreas cuyo espesor varía entre 3 y 20 cm.

El color de los estratos de caliza varía entre tonos de gris a negro, tanto al fresco como al intemperismo, mientras que para la lutita calcárea predominan los tonos verde seco.

Como estructuras sedimentarias primarias, se observan marcas de corriente, laminación paralela y algunas estructuras orgánicas tales como pistas y galerías.

Relaciones estratigráficas. Esta Formación se encuentra sobreyaciendo concordante y transicionalmente a la Formación El Abra y su límite superior no aflora en el área de estudio.

Edad y correlación. De acuerdo a la fauna fósil que se ha reportado en otros estudios, como: Helvetoglobotruncana helvethica Bolli, Whiteinella inornata Bolli, Marginotruncana y Heterohelix, a dicha Formación se le asigna una edad del Turoniano, aunque se considera que puede abarcar hasta el Santoniano. (Velez, 1981), como se muestra en la figura 4.

Se correlaciona con las formaciones Mezcala de la cuenca de Guerrero-Morelos y Agua Nueva de la cuenca Tampico-Misantla.

Ambiente de depósito. Basados en la litología y microfauna, se puede interpretar que su depósito ocurrió en un ambiente de mar abierto, con aguas someras, en condiciones inestables cercanas y con aporte de terrígenos.

III.4.2 FORMACION LACUSTRE

FORMACIÓN ATOTONILCO EL GRANDE

Definición. La Formación Atotonilco el Grande consiste de una secuencia clástica de ambiente lacustre, de material derivado principalmente de las rocas volcánicas terciarias de la región y solo en pequeña parte de las rocas sedimentarias Mesozoicas. La secuencia se encuentra cubierta localmente por coladas de lava.

El nombre de la Formación se deriva de la población Atotonilco el Grande, Hidalgo que se encuentra ubicado aproximadamente a 34 Km al Norte de la Ciudad de Pachuca.

Distribución. La Formación esta distribuida ampliamente en la zona de estudio en donde se extiende desde el Oeste en las cercanías de Atotonilco el Grande y hasta la parte septentrional al Noroeste de Santa María Amajac. De manera aislada se encuentra otro afloramiento de esta Formación hacia el Oeste en el poblado de Sanctorum.

Litología y espesor. La secuencia lacustre de la Formación Atotonilco el Grande es de una litología variada y contrastante, pero que sigue un patrón sedimentario uniforme en la forma de su depósito.

De manera general la secuencia lacustre consiste de la base a la cima de conglomerados, en donde la mayoría se encuentran medianamente compactados a excepción del conglomerado que se encuentra en Sanctorum, el cual está más compactado. Son mal clasificados donde predominan fragmentos de andesita y en menor proporción de riolita, tobas y calizas; el tamaño de los clastos varía de arenas gruesas a cantos y bloques, bien redondeados aunque en ocasiones son subangulosos, con matriz arenosa.

Sobreyaciendo a los conglomerados se encuentran depósitos de limolita o de arenisca, en el caso de las limolitas son de color gris al intemperismo y al fresco, con vesículas, ignófosis y horadaciones de raíces con marcada influencia volcánica; en estratos que varían de 60 cm a 1.5 m de espesor. Se intercalan con tobas vitreo-líticas o pumíticas de color gris al fresco y tonos oscuros al intemperismo, en donde se pueden observar cristales de feldespato; se presenta en estratos de 3 a 10 cm y hasta 40 o 50 cm de espesor, los cuales esporádicamente presentan calcos de hojas. En otras zonas de la secuencia las limolitas se encuentran intercaladas con areniscas clasificadas de acuerdo al contenido de matriz (arcillosa) o cementante (silicio o calcárea) en grauwasas líticas, litarenitas (calcáreas) y arcosas con un alto contenido de material volcánico, que varían en tamaño de grano de arena muy fina a gruesa.

Así mismo se pueden encontrar horizontes de lapilli, lutita limosa y tobas que han sufrido cierto retrabajo. Hacia la cima de la secuencia se pueden observar varios lentes de arenisca conglomerática y de conglomerados. Sin embargo, en contraste y sobreyaciendo de igual manera al conglomerado, en el poblado de Sanctorum, se encuentra una secuencia rítmica, finamente laminada de limolitas arenosas y margas con intercalaciones de tobas vitreo-pumíticas. Dicha secuencia se caracteriza también por su abundante contenido microfósil y microfósil.

La secuencia muestra horizontes de material volcánico con cristales grandes y bien definidos, pero parcialmente alterados por lo que no se pudo determinar su composición. Así también se tienen algunos horizontes de yeso.

El espesor que se midió en este trabajo fue de 151.3 m.

Edad y correlación. En Segerstrom (1961), se reporta que Villarelo y Böse (1902), encontraron en la Formación Atotonilco, algunos restos de mastodonte, probablemente del Plioceno Superior o del Pleistoceno Inferior, y Córdoba (1991), reporta para dicha Formación, Angiospermas y Moluscos del Plioceno-Pleistoceno. Sin embargo actualmente de acuerdo a las determinaciones de edades en microfósiles recolectados en la zona, se le asigna a esta Formación una edad del Blancano. (Figura 4)

Ambiente de depósito. Su depósito ocurrió, en condiciones lacustres de agua dulce con gran aporte fluvial.

III.4.3 FORMACIÓN CONTINENTAL FLUVIAL

CONGLOMERADO AMAJAC

Definición. El nombre de Conglomerado Amajac, se propone para referirse a un paquete de conglomerados calcáreos masivos, que aflora al Noreste y Este-Sureste del poblado de Santa María Amajac.

Distribución. Aflora en las cercanías del pueblo de Santa María Amajac en la parte Noroeste y Este-Sureste.

Litología y espesor. Es un conglomerado que presenta tonalidades grises y gris oscuro, bien compactado, mal clasificado, masivo, con partículas de arenisca y caliza en su mayoría; en menor proporción contiene clastos de sílice y pedernal, caliza arcillosa, lutitas calcáreas, material tobaceo y cuarzo. El tamaño de los clastos varía desde arena, gravas y hasta bloques aunque predominan los bloques mayores a 1 metro y van desde subangulosos a subredondeados, con matriz calcárea. En algunos clastos se observan brechas intraformacionales de la Formación Tamabra, con matriz y cementante calcáreo.

En otra localidad se observa una interestratificación de capas de conglomerado calcáreo con espesores de 80 cm y 2.30 m con capas de toba lítica. La toba está constituida por cenizas de grano fino, fragmentos de roca volcánicos y calcáreos; el color al intemperismo es de tonos pardo- amarillentos y al fresco tonos café claro.

De acuerdo a secciones estratigráficas el conglomerado se estimó en un espesor de 50 m.

Edad y correlación. Por posición estratigráfica, litología y correlación, se le asigna una edad Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano.

Se le correlaciona, con el Conglomerado Metztlán (Facultad de Ingeniería, UNAM 1989), el Conglomerado el Morro, el Grupo Balsas y el Conglomerado Guanajuato (Geyne, 1963), como se observa en la figura 4.

Ambiente de depósito. Estas rocas se depositaron en un ambiente continental, en depresiones producidas localmente por plegamiento y fallamiento, en forma de depósitos de talud y abanicos aluviales. En el caso de la localidad de La Luna, se interpreta un ambiente lacustre, con influencia volcánica.

III.4.4 GRUPO PACHUCA

Definición. El Grupo Pachuca fue definido formalmente por Geyne, Fries, Segerstrom, Black y Wilson (1963), que agrupa bajo este nombre a las rocas volcánicas que se conocen dentro del distrito minero de Pachuca-Real del Monte, dividiéndola en diez formaciones.

Se trata de una potente sucesión de rocas volcánicas andesíticas, compuestas por derrames de lava interestratificados con capas de toba y de brecha, también están intercalados en algunas localidades con materiales sedimentarios continentales derivados de la erosión de las rocas volcánicas y depositadas por agentes fluviales (Geyne et al 1963).

Edad y correlación. Al conjunto de rocas del Grupo Pachuca, se le asigna una edad Oligoceno Temprano-Mioceno ó Plioceno (Geyne et al 1963).

De manera más precisa, a las andesitas se les considera Oligoceno-Mioceno, a las riolitas Mioceno o Plioceno temprano; la edad de las vetas de cuarzo es "probablemente" Plioceno temprano, ligeramente más jóvenes que las riolitas (Cepeda, 1991) (Figura 4)

Litología y espesor. Las unidades litológicas que se encuentran aflorando en el área estudiada, corresponden con derrames de lava andesíticos y domos riolíticos. En donde las andesitas varían de color por efecto del intemperismo, van desde el verde violeta, pardo-rojizo (zonas muy oxidadas), gris claro, amarillo, verde olivo y pardo amarillento; al fresco el color que predomina es el gris claro, ya que contienen principalmente andesina, oligoclasa, piroxenos (augita), calcita y minerales opacos; clasificándose como una andesita de augita, de textura microlítica.

Toda la secuencia se presenta muy fracturada por efecto de deformación frágil y muy alterada debido a intemperismo (propilitización).

En el caso de las riolitas, son de color al fresco violeta claro a rosa, al intemperismo presenta tonos violetas, rosa y gris claro; tienen una textura eutaxítica. Su composición consiste de vidrio, cuarzo, esferulitas y opacos; en una matriz cuarzo feldespática. En ocasiones presenta estructura fluidal bien desarrollada.

Se presentan como cuerpos dómicos, de poca extensión, que corresponden con el cerro el Picacho, y con la margen Sureste del Cerro el Aguila, ambos en la parte Suroeste del área. Su espesor es mayor a 2000 m.

Ambiente de depósito. Su depósito y emplazamiento ocurrió en condiciones continentales, con intenso vulcanismo, asociado a una margen tectónica convergente.

III.4.5 DEPÓSITOS RECIENTES

Definición. Son depósitos de material de acumulación reciente, de origen continental, los cuales corresponden con depósitos de talud, aluvión y caliche.

Distribución. Estos depósitos se encuentran distribuidos de la siguiente manera: los de talud localizados al Sureste y Noroeste del poblado el Zoquital, los de aluvión corresponden principalmente a los depósitos del valle del Río Amajac y

sus afluentes, y las principales costras de caliche se localizan tanto al Sureste como al Oeste del poblado de Santa María Amajac.

Litología y espesor. Los depósitos de aluvión corresponden a gravas (gránulos, guijarros, guijarrones y bloques), arenas, limos y arcillas; principalmente de andesitas, riolitas y basaltos; en otras localidades los clastos que predominan son de calizas.

El caliche corresponde a depósitos que se encuentran cementando a otros depósitos recientes y que enmascaran a los afloramientos rocosos.

Los depósitos de talud, consisten de gravas arenas y limos, de composición calcárea, mal seleccionados y mal clasificados, hacia la cima han desarrollado suelos residuales.

El espesor de estos depósitos es muy variable, ya que en algunos sitios puede tener espesores de tan solo un metro mientras que en otros llega a ser de pocos a decenas de metros.

Relaciones Estratigráficas. Estos depósitos cubren en forma discordante a las diferentes secuencias que afloran en el área, así, los depósitos de talud localizados al Sureste y Noroeste del Zoquital, cubren discordantemente a rocas de las formaciones el Abra, Soyatal y Atotonilco el Grande.

El caliche del Sureste de Santa María Amajac, cubre discordantemente al Conglomerado Amajac y el que está al Oeste de dicho poblado, cubre discordantemente a las formaciones El Abra y Soyatal.

El aluvión que se encuentra en el valle del Río Amajac y sus afluentes, cubren discordantemente a las formaciones el Abra, Soyatal, Atotonilco El Grande, conglomerado Amajac, y Grupo Pachuca.

Edad y Correlación. Es de edad Reciente. (Figura 4)

III.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las principales estructuras del área son tres anticlinales y tres sinclinales, los que se caracterizan por ser asimétricos, recostados hacia el Noreste, con ejes subparalelos. Las principales estructuras se muestran en el mapa geológico de la figura 3.

III.5.1 ANTICLINALES

ANTICLINAL ATOTONILCO. Se localiza al Noroeste del Poblado de Atotonilco el Grande, se prolonga hacia el Noroeste por aproximadamente 11 Km, hasta la margen Norte del Cerro Buenavista, en donde es cortado por la Falla Atotonilco, su ancho es de aproximadamente 2.5 Km.

Su expresión topográfica esta representada por una sierra alargada cuya altura máxima alcanza los 2300 msnm, en el Cerro Buenavista, en el Noroeste de la

estructura, mientras que su altura mínima corresponde a la cota 1900 msnm, en su parte Sureste.

En su núcleo afloran rocas de la Formación El Abra y sus flancos están bordeados por rocas de la Formación Soyatal.

ANTICLINAL DOÑANA. Es una estructura asimétrica ubicada en la parte Oeste del área de estudio, su expresión topográfica, esta representada por una sierra amplia cuya altura máxima se presenta hacia el oriente de dicha estructura y alcanza los 2200 msnm, la mínima corresponde a la cota 1340 msnm, en el punto donde el Río Amajac sale del área. Dicha estructura está disectada por el cañón del Río Amajac; disección asociada a un sistema de fracturamiento y posiblemente fallamiento. Hacia el Suroeste de la mencionada estructura se tienen como remanentes de la erosión y separadas por el cañón, a las mesas Doñana y Mesa Chica, constituidas principalmente por basaltos.

En su núcleo afloran rocas de la Formación El Abra, hacia su flanco Oriente está bordeado por rocas de la Formación Soyatal y en su flanco poniente presenta pequeñas áreas cubiertas por andesitas y coladas de basalto.

ANTICLINAL TILTEPEC. Se localiza en la parte Este del área de estudio, es un anticlinal asimétrico, recostado hacia el Oriente y su orientación es aproximadamente N20°W.

Su expresión topográfica, esta representada por un pequeño cerro alargado cuya altura máxima alcanza la cota 2080 msnm y la mínima corresponde a la cota 1980 msnm.

En su núcleo afloran rocas de la Formación El Abra, en su margen oriente rocas de la Formación Soyatal y hacia su margen Sur, Oeste y Norte esta cubierto por coladas de basalto.

III.5.2 SINCLINALES

SINCLINAL SAUZ SABINO. Se localiza al Oeste del Pueblo de ese nombre, se prolonga hacia el Sureste, hacia la parte sur del poblado Cerro Blanco, tiene una longitud de aproximadamente 12 Km con un ancho de aproximadamente 2.5 Km.

Su expresión topográfica esta representada por un valle cuya altura promedio corresponde a los 1850 msnm.

En su núcleo afloran rocas de la Formación Soyatal, hacia su flanco oriente tiene algunas áreas cubiertas por conglomerados, volcanoclásticos y andesitas. Hacia el Noreste dicha estructura se va cerrando y sólo afloran rocas de la Formación El Abra.

SINCLINAL SAUZ XATHÉ. Se localiza al centro del pueblo del mismo nombre, tiene una longitud de aproximadamente 6 Km, y su ancho es de aproximadamente 1 Km.

Su expresión topográfica, esta representada por un valle cuya altura promedio corresponde a los 1900 msnm.

En su núcleo afloran rocas de la Formación Soyatal, hacia sus flancos tiene rocas de la Formación El Abra. Se caracteriza por que al Noroeste del pueblo, se encuentran tres vetas de cuarzo que cortan a dicha estructura.

SINCLINAL TILTEPEC. Se localiza al Oeste del área entre el Anticlinal Atotonilco y el Anticlinal Tiltepec, su orientación es aproximadamente N20°W, en su margen Sur-Oeste afloran rocas de la Formación Soyatal, pero en general, se caracteriza por estar cubierto por coladas de basalto y depósitos de talud.

III.5.3 FALLAS INVERSAS

FALLA ATOTONILCO EL GRANDE. Esta representada por una brecha de falla que aflora en el corte de la terracería que comunica a la localidad El Sauz Xathé, con El Zoquital y en el Cerro Buenavista. Dicha falla dislocó a las rocas de la Formación El Abra y tiene una orientación Noroeste-Sureste. El Plano de falla presenta rumbo N59°W, con echado de 85° SW.

FALLA SAUZ SABINO. Aflora en el corte de la terracería que comunica a los poblados El Sauz Xathé, con el Sauz Sabino; aproximadamente a 1.5 km al Noreste de la escuela Primaria de Sauz Sabino.

Esta representada por una brecha de falla que tiene aproximadamente 10 m de espesor. La falla dislocó a las calizas de la Formación El Abra, la brecha está constituida por caliza fracturada que al removerse se rompió en fragmentos angulosos de tamaño de arena y grava; la orientación es al Noroeste-Sureste. El plano de falla tiene rumbo de N35°W, con echado de 44°SW.

FALLA DOÑANA. Esta representada por una brecha de falla que aflora al Oeste del plano geológico, en los cortes de la terracería que comunica al poblado de Sanctorum con la Mesa Chica. Su plano de falla presenta un rumbo promedio N54°W, con echado de 49°SW.

Obsérvese que las fallas descritas anteriormente presentan una orientación NW-SE y afectan esencialmente a la Formación El Abra del Albiano-Cenomaniano, por lo cual dichas fallas corresponden a la deformación que origino a la Sierra Madre Oriental desde el Cretacico Tardío hasta el Paleogeno (Paleoceno) en la llamada Orogenia Laramide.

III.5.4 FALLAS NORMALES

En la Formación El Abra se tienen dos fallas normales de poco desplazamiento las cuales tienen orientación NW75° y NW65°; sus echados promedio son de

64°NW y 60°NE respectivamente. Estas fallas se encuentran ubicadas hacia el Oeste de la carta, en los contactos de la Sierra de Andesitas y la Formación El Abra.

Dada la naturaleza de las fallas normales, estas pueden representar un proceso de extensión que afecto a la Formación El Abra y al Grupo Pachuca del Oligoceno-Mioceno; puede interpretarse que estas fallas son posteriores a la formación del Grupo Pachuca. Sin embargo con lo que se cuenta de información no se ha podido establecer si estas fallas corresponden con un fallamiento normal local o sea parte de un proceso de extensión regional asociado a la migración del vulcanismo de Norte a Sur.

III.5.5 FRACTURAS

En el área de estudio se han reconocido dos sistemas de fracturamiento principales que tienen orientaciones generales de NE5°SW y NW55°SE.

III.6 GEOLOGÍA HISTÓRICA

De acuerdo a las formaciones que se describieron anteriormente y que afloran en la zona de estudio, y que se encuentran subyaciendo a la Formación Atotonilco El Grande, se describirá a continuación la evolución geológica de la región.

Durante el Triásico Tardío-Jurásico Medio se tiene la apertura del Golfo de México el cual fue producto de la separación de la Placa Norteamericana, de las Placas Africana y Sudamericana; evento que originó la formación de horts y grabens, estructuras que condicionaron la distribución de las áreas continentales y marinas del Jurásico y Cretácico, y por lo tanto los patrones sedimentológicos del Noroeste y centro de México (Padilla, 1982). Posteriormente se tiene el desarrollo y evolución de plataformas, taludes y cuencas marinas.

En el Cretácico Medio, cuando los mares cubrieron totalmente la Plataforma de Actopan, comenzó la acumulación de los sedimentos de la Formación el Abra, en un ambiente de plataforma carbonatada que de acuerdo a las características litológicas y fosilíferas que presenta el área, corresponde a la sedimentación de la parte post-arrecifal interna o lagunar de la plataforma. Al mismo tiempo, en la zona de talud se depósito una gruesa secuencia de brechas intraformacionales de la Formación Tamabra.

Para el Turoniano, hubo un cambio en el régimen sedimentario y comenzaron a depositarse los sedimentos calcáreo arcillosos de la Formación Soyatal, en un ambiente de aguas someras (plataforma clástica), en condiciones inestables y con aporte de terrígenos derivados de áreas positivas cercanas. Todo lo anterior,

como consecuencia de una regresión generalizada en la que los mares se retiraron al oriente.

Al final del Cretácico comenzó el levantamiento de la Sierra Madre Oriental, el cual se intensificó en el Paleoceno y culminó en el Eoceno temprano, producto de la Orogenia Laramide, que se originó como respuesta a un cambio rápido en el incremento de la convergencia de las Placas Farallón y Norteamericana, dicho evento ocasionó la deformación de las rocas sedimentarias marinas, dando origen a estructuras plegadas (Anticlinales y Sinclinales), recostadas hacia el Oriente, así como a fallamiento inverso que dislocó a dichas estructuras. Las capas del Eoceno superior, tanto las continentales de esta región como las marinas situadas más al oriente, descansan por discordancia angular en las rocas más antiguas, cubriendo inclusive las secuencias del Eoceno inferior. A medida que las rocas de la región fueron ascendiendo y plegando, se intensificaba la erosión en las partes más elevadas, a tal grado que al final del Eoceno se había removido de las cimas de los anticlinales más elevados de la región, toda la sucesión marina hasta descubrir la parte media de la Formación El Abra y Tamabra. Al cesar el evento compresional hacia mediados del Eoceno, comenzaron a formarse numerosas fallas normales con la dislocación correspondiente que formó bloques levantados, hundidos e inclinados.

En el Eoceno Tardío-Oligoceno temprano, se depositaron las rocas del Conglomerado Amajac, en un ambiente continental, en forma de depósitos de talud y en depresiones producidas localmente por el plegamiento y fallamiento.

Para el Oligoceno, el Eje Neovolcánico inicia su actividad como resultado de un nuevo cambio en la convergencia de placas, y alcanza la región costera en el Mioceno Temprano (Damon, 1981); en la región, se desarrolla el vulcanismo calcoalcalino que en un ambiente continental, originó a las rocas del Grupo Pachuca (Oligoceno – Mioceno o Plioceno).

Esto coincidió con la iniciación de una época larga de vulcanismo activo, que duro desde el Oligoceno tardío hasta el Plioceno temprano, con la acumulación local de varias decenas de metros de espesor de rocas volcánicas de composición variable, predominando riolita y andesita y en menor proporción basalto. Este proceso, que caracteriza especialmente todo el Mioceno, indudablemente causó grandes y repetidos cambios topográficos y de la red hidrográfica. No puede escaparse la conclusión de que en esta época de vulcanismo intenso culminará en el Plioceno temprano, con la intrusión en varios lugares de numerosos diques, acompañada o seguida de la mineralización de sulfuros en el distrito de Pachuca, Real del Monte y en otros cercanos. Es probable que también ocurriera un reajuste isostático en los sitios de mayor acumulación de las rocas volcánicas, con relación a sitios de menor acumulación.

Surgió un notable cambio a mediados del Plioceno, consistente en la extravasación de lavas máficas de centros esparcidos en casi toda la región. Esta

nueva actividad volcánica también produjo cerros y mesetas elevadas, separados por cuencas más bajas, de manera que la región siguió con un relieve considerable y alturas grandes sobre el nivel del mar. A la vez, se interpreta que el clima se hizo más árido y comenzaron a acumularse los sedimentos que componen a la Formación Atotonilco El Grande en una cuenca lacustre producida cuando el Río Amajac se cerró por un flujo de materiales en las proximidades de la Mesa Doñana; la parte clástica de la Formación Atotonilco el Grande, nos indica que las rocas del Grupo Pachuca estuvieron sujetas a intensa erosión y que existieron cuencas endorreicas en las que en condiciones lacustres y de relleno fluvial, se acumuló dicha formación.

Cuando el Plioceno culminó, hubo un cambio notable de clima, en este caso se interpreta mayor humedad. El vulcanismo máfico siguió interrumpiendo el desagüe en muchos lugares y produciendo lagos efímeros.

Ocurrió además un evento distensivo que dislocó a las rocas del Grupo Pachuca, las que sufrieron fallamiento normal; esto permitió el emplazamiento del vulcanismo basáltico que cubre a la secuencia clástica de la Formación Atotonilco El Grande; vulcanismo que presenta en el área la última manifestación del magmatismo relacionado con el Eje Neovolcánico.

La historia reciente del área, esta representada por la denudación de las partes altas de todas las secuencias, lo cual ha producido la acumulación de depósitos de talud, la formación de costras de caliche y la acumulación de aluviones en las partes bajas.

IV. SEDIMENTOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA

En este capítulo se presenta el análisis sedimentológico y las características estratigráficas de las columnas que se midieron en campo de la Formación Atotonilco el Grande.

Estas columnas se midieron en una secuencia clástica lacustre que presenta facies finas y gruesas con gran influencia fluvial. Además de la litología se estudiaron otros criterios como la fauna, los procesos químicos y físicos de sedimentación y los rasgos geomorfológicos.

Posteriormente después de haber sido reconocidos debidamente a los depósitos de la Formación Atotonilco el Grande se eligieron las mejores secciones que posteriormente se midieron y caracterizaron de forma detallada para conocer sus facies.

La Sedimentología, contribuye a analizar y conocer los fenómenos de depositación de los sedimentos que se acumularon en la cuenca lacustre de Amajac, esto es, al interpretar los procesos sedimentarios podemos identificar un ambiente sedimentario específico, de tal manera que se puede distinguir cada una de las zonas en las que se divide dicho ambiente sedimentario, de acuerdo a las características que presenten sus sedimentos. Los sedimentos son el producto de la vida del lago, consecuentemente, el reflejo del tipo de lago, por lo que analizando a la secuencia estratigráfica de la Formación Atotonilco el Grande se podrá conocer que tipo de lago se formó y como fue evolucionando.

En este sentido se analizaron los parámetros sedimentológicos de los depósitos que conforman la secuencia lacustre en cuestión, en un principio se estudiaron las características físicas más relevantes de estas rocas clásticas, como son su textura (tamaño y forma de grano), clasificación y color, parámetros fundamentales, para determinar la forma del depósito, el transporte y el medio en el que se acumularon. Fue de gran interés analizar además otras características como es la composición de la roca, las estructuras sedimentarias y los fósiles tanto de plantas como de animales.

IV.1. FACIES

Lo observado y cuantificado durante el trabajo de campo fue una serie de propiedades y características físicas de las rocas; cuando se describe una roca sedimentaria, se analizan todos sus componentes y relaciones, con lo que se interpreta los fenómenos que han actuado en el ambiente en el que se depositó dicha secuencia. Las estructuras sedimentarias nos indican las condiciones hidrodinámicas durante la depositación; las estructuras orgánicas y el contenido fósil nos ayudan a reconstruir las condiciones ecológicas del tiempo de

deposición en la cuenca. Las evidencias de procesos químicos tales como intemperismo, diagénesis y precipitación de minerales autígenicos también aportan información acerca del ambiente de deposición.

Las facies representan cuerpos o paquetes de sedimentos (litificados o no) con características específicas, como son color, composición, textura, fósiles y estructuras sedimentarias que lo diferencian de los cuerpos adyacentes lateral o verticalmente.

Sabemos además que hay varios tipos de facies según sean los criterios que se tomen en consideración para la identificación de cada una de ellas o bien para la interpretación de las mismas. Las más comunes son las facies observacionales en donde los criterios fundamentales son la descripción del cuerpo de sedimento (por ejemplo facies arenosas, facies calcárea, etc.); otros tipos de facies son las ambientales, genéticas y tectónicas.

Una facies debe incluir idealmente una roca o sedimento determinado que se formó bajo ciertas condiciones de sedimentación, reflejando un ambiente o proceso sedimentario en particular.

El tipo de facies que aplicamos en este estudio, fue el de tipo observacional, ya que para nuestras necesidades resultó ser el más efectivo e ilustrativo, por que en las observaciones se incluye tanto el tipo de roca que se identificó, así como las variaciones granulométricas, estructuras sedimentarias, contenido fosilífero y su disposición dentro de la cuenca.

A continuación se presentaran las facies que se identificaron y que proporcionan los elementos estratigráficos y sedimentológicos en la interpretación y propuesta para el modelo del paleolago de Amajac.

IV.1.1. FACIES DE CONGLOMERADO

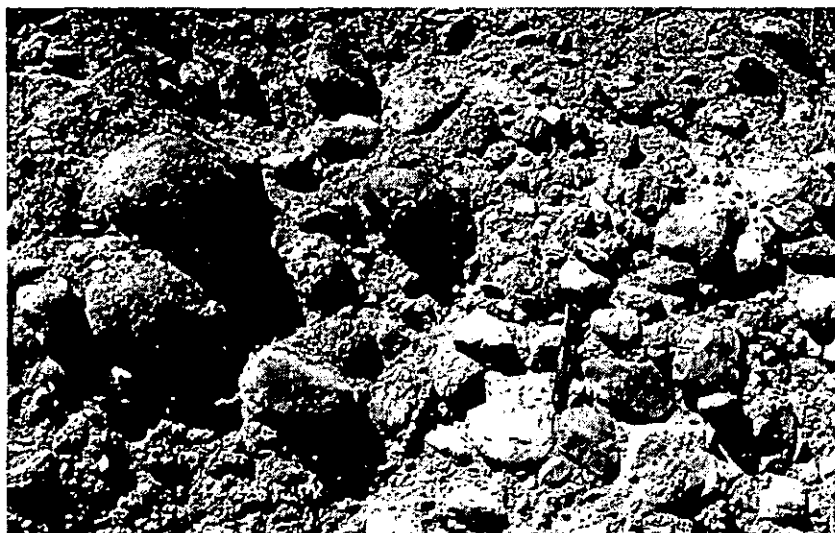
Está representada por una unidad de rocas conglomeráticas, las cuales presentan variaciones en la composición de sus clastos, tamaño y forma; en algunos se observa estratificación paralela o cruzada, o bien estratos irregulares y masivos.

Con base en sus características se hizo una subdivisión de esta facies para contar con información más detallada de todos los cambios observados. Esta facies de conglomerado son la base de todas las columnas medidas, aunque hay algunos horizontes que se observan en forma de paleocanales dentro de secuencias más finas.

CONGLOMERADO A: Consiste principalmente de clastos de andesita porfídica; en menor proporción se tienen fragmentos de riolitas y tobas líticas, los tamaños que van de las gravas gruesas, cantos y hasta los bloques, presentando forma discoidal y en cuanto a su redondez son principalmente subangulosos, con fábrica isotrópica, mal clasificado. De forma general este conglomerado se observa

masivo, pero en ocasiones presenta acuñamientos, estratificación cruzada y paralela.

CONGLOMERADO B: La composición de los clastos es la misma que en el conglomerado A, pero difiere el tamaño de los clastos que es de gravas y algunos cantos, sus clastos tienen forma discoidal y en cuanto a redondez son subangulosos, presenta fábrica isotrópica y está moderadamente clasificado. Contiene estratificación bien definida, acuñamiento y en ocasiones se le observan formas lenticulares producidas por canales. (Fotografía 1)



Fotografía 1. Que muestra la disposición del conglomerado El Paso Amajac.

CONGLOMERADO C: Con la misma composición de los conglomerados A y B, pero con tamaño de clastos de gravas finas, con forma de disco; su fábrica es isotrópica y se presenta moderadamente clasificado. No se observaron estructuras sedimentarias.

CONGLOMERADO D: De color amarillo-verdoso (por alteración), con clastos de andesita porfídica, riolitas y tobas líticas, con tamaños que van de arenas gruesas a gravas, tienen forma discoidal, fábrica isotrópica están moderadamente clasificados. Se presenta en estratos irregulares y lenticulares. (Fotografía 2)



Fotografía 2. Lentes conglomeráticos con laminación cruzada en la localidad El Paso Amajac.

CONGLOMERADO E: Son de color ocre por alteración y contiene abundante matriz arenosa, los clastos son de caliza, los cuales varían en tamaño de las arenas a los cantos; su fábrica es isotrópica y se presenta mal clasificado. Se encuentra en forma masiva.

CONGLOMERADO F: Se compone de clastos con abundante contenido de sílice en su mayoría, pero también contiene fragmentos de roca ígnea y en menor proporción pedernal; predominan en los sedimentos tamaños de gravas gruesas a cantos, su fábrica es isotrópica y se presenta mal clasificado. Se encuentra formando estratos lenticulares como se muestra en la fotografía 3.



Fotografía 3. Lente conglomerático en Santa María Amajac.

CONGLOMERADO G: De color negro por alteración y gris al fresco, predominando clastos de caliza; los tamaños de clastos van desde arenas gruesas, gravas y cantos, los cuales presentan forma discoidal, su fábrica es isotrópica y están mal clasificados. Los estratos son irregulares, ya que se engrosan y adelgazan.

CONGLOMERADO H: Se compone de clastos de andesita en donde se observan cristales de plagioclasas y anfíboles, conteniendo en menor proporción fragmentos de calizas; el tamaño va de cantos a bloques, la forma de los clastos es discoidal, su fábrica es isotrópica y se presenta mal clasificado.

CONGLOMERADO I: De color amarillo ocre y verde olivo, los clastos son de caliza, andesita, tobas y de sílice, con tamaños de gravas finas a gruesas y algunos cantos; está mal clasificado, su fábrica es isotrópica. Se encuentra en cuerpos lenticulares como relleno de paleocanales.

INTERPRETACIÓN:

Los conglomerados A, B y D corresponden a una sola columna que fue medida cerca del Paso Amajac; los conglomerados A y B representan la base de esta columna y en conjunto muestran gradación normal y estratificación cruzada con estratos de grano grueso y fino. El conglomerado D se encuentra intercalado en secuencias más finas a lo largo de la secuencia, principalmente hacia la cima.

Las facies de conglomerado A y B corresponden con la parte más profunda y marginal del paleolago, esto se interpreta por el tamaño de sus clastos, los cuales se depositaron rápidamente en el fondo de la cuenca, además de que difícilmente pudieron ser arrastrados hacia el centro de ella. Su depósito ocurrió por transporte fluvial que a su vez nos indica el principal afluente del paleolago; las condiciones de depósito variaban de grandes avenidas con mucha carga de sedimentos gruesos en temporadas de lluvia a periodos más tranquilos que era cuando los clastos de menor tamaño comenzaban a depositarse. La estratificación cruzada de gran escala que muestra en algunas partes esta unidad en sus facies conglomeráticas A y B, nos hacen pensar en la presencia de un pequeño delta, en donde el frente deltaico tiene un espesor de 10 m aproximadamente.

Por las intercalaciones de limo que se encuentran presentes en las facies A y B, se interpreta como épocas en donde no había precipitación pluvial, ni mucho aporte fluvial a la cuenca, dando como resultado las condiciones adecuadas para que el material fino (como los limos) se pudiera depositar.

Por otra parte los conglomerados E y G que se localizan en las columnas de Santa María Amajac y Sanctorum respectivamente, forman también la base de dichas columnas. Por un lado el conglomerado E fue depositado por medio fluvial con transporte prolongado, debido a que sus clastos se encuentran subredondeados y contienen matriz arenosa. Sin embargo, el conglomerado G indica un depósito producto de la erosión de las rocas que se encontraban cerca o

en las orillas de la cuenca, que es como le evidencian sus clastos subangulosos, que no sufrieron mucho transporte ni retrabajo; además su composición corresponde con las unidades litológicas que actualmente se encuentran aflorando en el área.

El conglomerado C en particular, por su posición dentro de la secuencia que es hacia la cima, corresponde con zonas de planicie de inundación, que se formaban seguramente por cambios en el nivel del lago. Otra evidencia de ello es también la formación de canales tributarios a lo largo de la secuencia, pero principalmente hacia la cima, en donde se puede ver una cantidad considerable de lentes conglomeráticos (D, H, I y F) de tamaño variable, en donde a su vez, por la estratificación cruzada que presenta indica los cambios en la dirección de las pequeñas corrientes del lago. Cabe hacer notar que los clastos de dicho conglomerado corresponde con la litología según el lugar donde se encuentren, por lo que la fuente de aporte a la cuenca se encontraba cerca del lago.

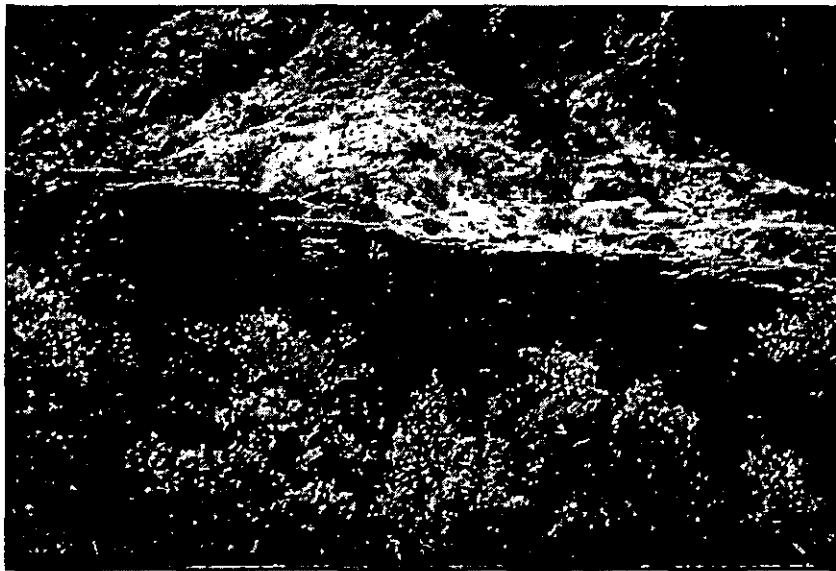
En el caso específico del conglomerado I nos señala la dirección de un pequeño afluente que desembocaba en la cuenca, el cual coincide con la orientación que tienen dos fósiles de peces que se encontraron alineados.

IV.1.2. FACIES DE ARENISCA

Las facies de arenisca muestra una clasificación que va desde las grauwasas líticas, litarenitas (algunas son calcáreas), arcosas y en menor proporción areniscas conglomeráticas; las grauwasas contienen matriz arcillosa y cementante silíceo o calcáreo. Su mineralogía consiste de feldespatos, plagioclasas, cuarzo, biotita, clorita, hornblenda, piroxeno, hematita, calcedonia y minerales arcillosos. Los fragmentos de roca son volcánicos (andesita en la mayoría de los casos) y en ocasiones se encuentran presentes fragmentos de caliza. En algunas muestras se observó vidrio esferulítico y porfídico, pómez y materia carbonosa.

Esta clasificación así como su composición se determinaron en estudios petrográficos con láminas delgadas. A continuación se presenta una subdivisión de esta facies de acuerdo principalmente a su textura, estructuras sedimentarias, geometría de los estratos y contenido fosilífero; lo anterior se determinó por las observaciones de campo, por las observaciones en muestras de mano y en láminas delgadas.

ARENISCA I: Color negro y en ocasiones blanco por intemperismo, al fresco es verde claro o crema; el tamaño de grano varía de arenas medias a finas. Como estructuras sedimentarias presenta laminación normal y cruzada; contiene abundante materia orgánica, hojas, troncos y rastros de carbón. Los estratos son tabulares y tienen espesores que varían de 3 a 10 cm, algunos llegan a medir hasta 40 cm. (Fotografía 4)



Fotografía 4. Que muestra el afloramiento de areniscas en la localidad de Los Baños.

ARENISCA II: Color negro al intemperismo y verde claro al fresco, se observa algunos fragmentos de cristales de calcita y abundantes líticos de procedencia volcánica (andesitas), la fábrica es isotrópica, está mal clasificado; el tamaño de grano va de las arenas a las gravas. En ocasiones presenta acuñamiento y variaciones laterales (arenisca conglomerática); los estratos son delgados de superficie irregular con estratificación cruzada, como se observa en la fotografía 5.



Fotografía 5. Arenisca con laminación cruzada en El Paso Amajac.

ARENISCA III: Color ocre por intemperismo y gris claro al fresco, se observan cristales de feldespato y líticos de roca andesítica, el tamaño de grano es de

arenas finas. Presenta grietas de desecación y gotas de lluvia; los estratos están laminados y presentan laminación convoluta, con espesores de 20 a 30 cm.

ARENISCA IV: Color marrón al intemperismo y gris verdoso al fresco, se observan algunos cristales de cuarzo y abundantes líticos andesíticos, el tamaño de grano es de arenas gruesas. Los estratos son tabulares con espesores que van de 35 a 40 cm, contiene finos horizontes de carbón.

ARENISCA V: Color negro al intemperismo y gris oscuro al fresco, presenta líticos volcánicos con cementante calcáreo. Sus estratos tienen espesores promedio de 40 cm, pero en ocasiones se adelgazan llegando a medir solo 15 cm.

ARENISCA VI: De color café claro al intemperismo y gris claro al fresco el tamaño de grano es muy fino, llegándose a observar cristales de feldespato y cuarzo. Como estructura sedimentaria presenta laminación normal y laminación cruzada.

INTERPRETACIÓN:

La distribución de los sedimentos con los diferentes tamaños de partículas entre 1/16 a 2 mm refleja condiciones de flujo uniforme y sedimentación en distintas partes del lago, así podemos interpretar la reacción de los sedimentos a factores físicos como son las mareas y las corrientes; el modo y lugar de depósito de las partículas es controlado por estos factores. En este tipo de facies podemos observar claramente la variedad de clastos que tenemos en la secuencia sedimentaria, lo cual es característico de depósitos lacustres con aportes de diferentes fuentes; la clasificación del sedimento nos da idea de las condiciones hidrodinámicas que prevalecían dentro de la cuenca. Otra característica que también podemos observar en la variación del tamaño de grano, es que se encuentran intercaladas, esto es que varía de gruesos a finos, lo que indica cambios en la energía del depósito, para ser más preciso, secuencias finas hacia la cima indican un decremento en la energía, mientras que las secuencias gruesas hacia la cima indican incremento de energía.

Si consideramos la relación que existe entre la variación de tamaños de grano, la dirección de flujo, la energía de las corrientes fluviales que entraban en el lago y en menor proporción la acción eólica sobre el cuerpo de agua, estos factores fueron influenciados principalmente por el clima que reinaba en el área; se puede interpretar que en este lago existía un clima templado con precipitación pluvial alta, que aportaba gran cantidad de sedimentos y agua dulce, con cambios estacionales típicos.

Las condiciones geoquímicas del lago, su profundidad, su temperatura y salinidad, eran apropiadas para que se desarrollaran abundantes y diferentes tipos de organismos.

Las facies de arenisca, por su composición mineralógica, su textura, y la forma de sus estratos, nos indican una importante influencia volcánica de que su depósito ocurrió en condiciones acuosas alojadas de la desembocadura del río y de los arroyos; además hubo eventos volcánicos próximos simultáneos a la sedimentación del lago, en láminas delgadas y en algunas muestras de mano observamos cristales de micas y de feldespatos bien preservados; estos cristales sufrieron poco transporte por lo que algunos se encuentran rotos o ligeramente alterados. Las areniscas son principalmente grauwacas líticas y en menor proporción arenitas líticas; éstas últimas son rocas bien seleccionadas, se interpreta que su depósito ocurrió lentamente, acumulada por corrientes fluviales, que la dejaron limpia de matriz. Las grauwacas son rocas, en donde los sedimentos fueron materialmente "vaciados" a la cuenca de depósito a un ritmo tan rápido que no tiene selección apreciable; tampoco sufrió retrabajo por las corrientes. Se interpreta que existió una corriente fluvial principal que aportaba sedimentos variados, en un ambiente con cambios climáticos mínimos y ocasionales aportes de mayor tamaño y energía.

Las facies de arenisca que se encuentran expuestas en las columnas de Los Baños y El Paso Amajac II, corresponden con la margen del lago, en donde de acuerdo a la exposición de areniscas estratificadas con estratos regulares bien definidos se tenía una margen más o menos amplia, sobre la que se depositaron sedimentos en una superficie con un relieve más o menos uniforme con aporte fluvial de baja energía pero constante; no había cambios abruptos en el ambiente. Los depósitos arenosos corresponden con la parte somera de la cuenca en donde había corrientes migratorias durante un régimen de flujo bajo. Cuando esta facies de arenisca se encuentra intercalada con sedimentos más finos como los que se tienen a lo largo de la columna de Sanctorum, se interpreta que ocurrieron flujos de masa que se suscitaban en la parte profunda del cuerpo de agua, o debidos también a la presencia de vulcanismo activo cercano al área.

De acuerdo a las estructuras sedimentarias primarias observables en la facies de arenisca, correspondientes con estratificación cruzada y gradada normal, se interpretan condiciones hidrodinámicas variables, las primeras correspondían a corrientes reversibles, inducidas por tormentas en el cuerpo de agua relativamente somero, mientras que la gradación normal es evidencia de cambios en la energía de depósito.

Las facies de arenisca conglomerática, corresponden a paleocanales que se desarrollaban en las zonas de hondonadas o superficies de erosión, las cuales fueron rellenadas por estos depósitos para nuevamente ser cubiertos por la sedimentación de capas de material detrítico del tamaño de arenas medias y finas.

La zona de llanura de inundación está representada por la facies de arenisca de grano fino (Facies III), en donde tienen estructuras de grietas de desecación y gotas de lluvia, por la exposición subaérea en algunos periodos de la vida del lago o cambios en el nivel del agua. Esta zona que estuvo expuesta

por algún tiempo, se encuentra precisamente en la parte media de la columna "Los Baños".

IV.1.3. FACIES DE LIMOLITA I

Esta facies está representada por una potente secuencia de depósitos con textura limosa influenciada de manera importante por material volcánico; los estratos varían en espesor de 1 a 5 m. En la columna en donde se encuentran bien expuestos estos depósitos (El Paso Amajac II) contiene una gran cantidad de lentes de arenisca conglomerática y de conglomerados. El color que presenta de manera general varía de tonos crema a lila y verde pálido. Este depósito no se encuentra bien consolidado, por lo que ha sido intensamente erosionado, se constituye principalmente de fragmentos entre 1/16 a 1/256 de mm de rocas volcánicas y en menor proporción de fragmentos de calizas, como se observa en la fotografía 6.



Fotografía 6. Limolitas con lentes conglomeráticos. El Paso Amajac.

INTERPRETACIÓN:

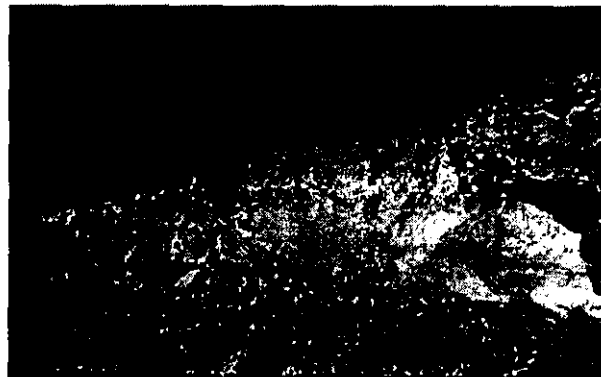
La potente secuencia de limolitas fue depositada en la parte central del lago, en donde se depositaron también cenizas volcánicas que corresponden a depósitos de caída libre, debido a los eventos volcánicos que se suscitaban en el momento en que el lago se encontraba en una etapa de bajo nivel de agua, por lo que algunos horizontes de esta facies fueron depositados en condiciones subaéreas.

Por otra parte, los lentes conglomeráticos y de arenisca conglomerática que presenta, nos indican que existían en ese momento gran cantidad de pequeños y medianos afluentes fluviales que aportaban sedimentos gruesos al centro de la

cuenca de depósito. Por sus características de depósito, esta facies corresponde con uno de los últimos eventos en el periodo de vida del lago.

IV.1.4. LIMOLITA II:

Son sedimentos limosos de color gris al fresco y rojizos por intemperismo, de textura pelítica samítica y aspecto lodoso; con importante influencia volcánica. Se presenta en estratos de 60 cm hasta 1.5 m de espesor, sus partículas consisten de fragmentos de roca volcánica, pómez, vidrio de composición ácida y algunos cristales de sanidino, plagioclasas y cuarzo. Contiene algunos horizontes con ignofósiles y horadaciones, dichas limolitas se pueden observar en la fotografía 7.



Fotografía 7. Limolitas. Santa Maria Amajac.

INTERPRETACIÓN:

Corresponden con la zona más profunda del lago en la parte central del mismo fue depositado bajo condiciones de relativa tranquilidad y baja energía.

En algunos casos, se acumularon en cuerpos de agua completamente estancada, a partir de sedimentos que se encontraban en suspensión; su tamaño fino y la ausencia de evidencia de corrientes de arrastre y oscilantes soportan esta interpretación. La presencia de abundantes raíces e ignofósiles indican que esta parte del lago no era de gran profundidad, por lo que hubo abundancia de materia orgánica.

Tomando en cuenta la composición de dichos sedimentos que conforman esta facies, y las acumulaciones de cenizas volcánicas se interpreta, que las partículas volcánicas fueron depositadas inmediatamente sobre el cuerpo de agua del paleolago por un medio de transporte eólico sin sufrir ningún otro tipo de retrabajo.

IV.1.5. FACIES DE LUTITA LIMOSA:

Esta compuesta de arcillas y limos de color crema al intemperismo y gris al fresco, son de textura lodosa, con abundantes plantas fósiles (hojas); los estratos son delgados de 20 a 30 cm, presentan laminación paralela y cruzada; se encuentran bien consolidados y contienen algunos horizontes de carbón, clastos de lutita y concreciones de caliza arenosa, como puede observarse en la fotografía 8.



Fotografía 8. Lutitas limosas en la localidad de Los Baños.

INTERPRETACIÓN:

En la zona litoral del paleolago, en ocasiones pueden llegar a formarse pequeños estanques de aguas muy tranquilas, propiciando la acumulación de sedimentos finos con un aporte importante de materia orgánica que en nuestro caso consiste solamente de hojas; el depósito ocurrió en la zona marginal del lago.

IV.1.6. FACIES DE TEXTURA PELÍTICA:

Consiste de una secuencia rítmica de tonos crema a amarillo ocre, con textura epiclástica samítica y pelítica; contiene algunos cristales de feldespato,

plagioclasas, hornblenda, minerales arcillosos, calcita radial y microcristalina; también se observan fragmentos de rocas volcánicas, pómez y esquirlas de vidrio, en promedio estos sedimentos son del tamaño de arena fina a arcillas.

Este depósito se encuentra finamente laminado con espesores que varían de 1 a 3 cm; la posición de las láminas es prácticamente horizontal, aún que en ocasiones se puede observar una ligera inclinación de ellos en algunas partes de la secuencia.

El contenido faunístico y florístico son abundantes, consiste de peces y hojas principalmente; la microfauna consiste de abundantes diatomeas, pelecípodos y esporádicamente fragmentos de lamelibranquios.

En lámina delgada, las rocas que conforman esta secuencia se han clasificado como margas, limolitas arenosas calcáreas, lutitas limosas y lutitas con abundantes diatomeas.

La facies muestra además horizontes delgados de sedimentos arcillosos, que no se encuentran lo suficientemente litificados para dar una lutita o limolita, con alto contenido de materia carbonosa. (Fotografía 8)



Fotografía 8. Limolitas arenosas calcáreas en la localidad de Sanctorum

INTERPRETACIÓN:

Son facies internas de margas, calizas arcillosas, lutitas y abundante contenido de materia orgánica, los que se sedimentaron en la parte central del lago; esto se interpreta por su tamaño de grano, el aporte importante que había de sedimentos detríticos finos y a las condiciones hidrodinámicas (oleaje y circulación), así como el relieve circundante del área.

Los sedimentos de esta facies se acumularon en condiciones de agua muy tranquilas y con un aporte importante de sedimentos. En el caso de las margas, que se forman al mezclarse las arcillas con carbonatos y con conchas calcáreas,

indican la zona del epilimnión ya que comúnmente en lagos tropicales y zonas templadas, es donde suelen formarse.

De acuerdo a la cantidad de materia orgánica que contiene, que es abundante, permite interpretar una alta concentración de iones disueltos en el agua que permitió la proliferación y sobrevivencia de organismos, los que al morir, se acumularon como parte de depósitos clásticos finos. Por otra parte, las estructuras de deformación sinsedimentaria indican la forma de depósito de los sedimentos en algunos niveles estratigráficos; en la mayoría de los casos la acumulación se dio sobre superficies regulares y solo en ciertos lugares en pendientes pronunciadas, lo que ocasionó que al depositarse los sedimentos se acomodaran por gravedad desarrollando laminación convoluta.

IV.1.7. FACIES DE TOBAS

En las secciones medidas se presentan dos facies de tobas, las que se distinguen por haberse acumulado en un cuerpo de agua directamente sobre los sedimentos lacustres y las que se acumularon en condiciones subaéreas para posteriormente ser transportadas a la cuenca.

TOBA I: Son flujos de cenizas y vidrio volcánicos de color gris al fresco con tonos oscuros y semiblancos al intemperismo; a simple vista se pueden observar cristales de feldespatos en su mayoría, en lámina delgada se clasifican como tobas vítreas y tobas vítreo-líticas, con líticos de andesita; el vidrio es de composición ácida, en algunas láminas delgadas se observa estructura fluidal.

Los estratos tienen espesores de 3 a 10 cm, aún que pueden llegar hasta 40 o 50 cm; su forma es tabular y se encuentran en posición horizontal. En ocasiones se pueden encontrar hojas entre la superficie de los estratos. Por las características que presenta esta facies, se interpreta que el medio de transporte fue eólico, acumulándose en un cuerpo de agua (lago).

En esta facies se incluye a un horizonte de lapilli, con un espesor de 30 cm aproximadamente como se observa en la fotografía 9.



Fotografía 9. Tobas. Santa María Amajac.

TOBA II: Constituida por piroclastos de color café claro al intemperismo y crema al fresco, de textura piroclástica, con abundantes cristales de cuarzo y materia orgánica entre los estratos, los cuales varían de 3 a 10 cm y hasta un metro de espesor. Contiene líticos de pómez, andesita y riolitas, del tamaño de arena y grava. En lámina delgada dichas rocas se clasificaron como tobas vítreo-pumíticas o líticas. Por las características que muestra, es notorio que está facies sufrió cierto retrabajo antes de llegar a depositarse dentro de la cuenca.

INTERPRETACIÓN:

La presencia de material piroclástico indica los diferentes eventos volcánicos que se suscitaban en los alrededores de la cuenca, y que algunos ocurrieron muy próximos; su actividad se ve reflejada en las tobas cristalinas y líticas depositadas en el lago. Por un lado las tobas vítreas que no tuvieron mucho tiempo para cristalizar antes de depositarse, indican que la fuente de aporte se encontraba relativamente cerca, a diferencia de las tobas cristalinas que indican un transporte más largo y como consecuencia más tiempo para cristalizar; las cenizas por estar en estratos delgados testifican que su fuente de origen se encontraba lejana.

La intercalación que muestran estos depósitos con limolitas en la columna de Santa María Amajac, es la evidencia de los diferentes periodos de vulcanismo que existía en el tiempo de la vida del lago.

Algunos estratos de tobas manifiestan también la forma en que ocurrió su depósito; en el caso de la toba I, se depositaron casi inmediatamente después de ser expulsados, es decir, con muy poco transporte, en un medio acuoso de escasa profundidad, como lo evidencian las capas de espesores variables, que son la forma típica en que se encuentran los estratos de esta secuencia.

Las tobas retrabajadas, sufrieron cierto transporte antes de depositarse, ya que su textura y composición señalan que fueron acumulados originalmente en laderas cercanas a la cuenca y posteriormente arrastradas al centro y periferia del lago.

IV.2. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

Por estructuras sedimentarias entendemos a los arreglos geométricos que forman los sedimentos, los cuales se han originado durante o justo después de su depositación. Se pueden distinguir a las estructuras primarias que se forman al mismo tiempo durante el depósito y las que se forman después del depósito, que corresponderían con las estructuras secundarias.

A diferencia de los fósiles y los clastos, siempre se forman in situ y no pueden ser transportados; por eso es que su estudio es de gran importancia ya que nos indican las condiciones hidrodinámicas de sedimentación dentro de la

cuenca, así como también en ocasiones permiten interpretar la dirección de flujo y de manera indirecta la proveniencia de los sedimentos.

De manera más precisa, una estructura sedimentaria se define como la disposición geométrica o arreglo de los diferentes elementos que constituyen un sedimento o roca sedimentaria, que son producidos como resultado de procesos físicos, químicos y/o biológicos. Estos procesos pueden actuar durante el depósito o bien un cierto tiempo después de haber ocurrido éste. Cabe aclarar que las estructuras que se observaron en la secuencia lacustre de Santa María Amajac son de origen físico solamente.

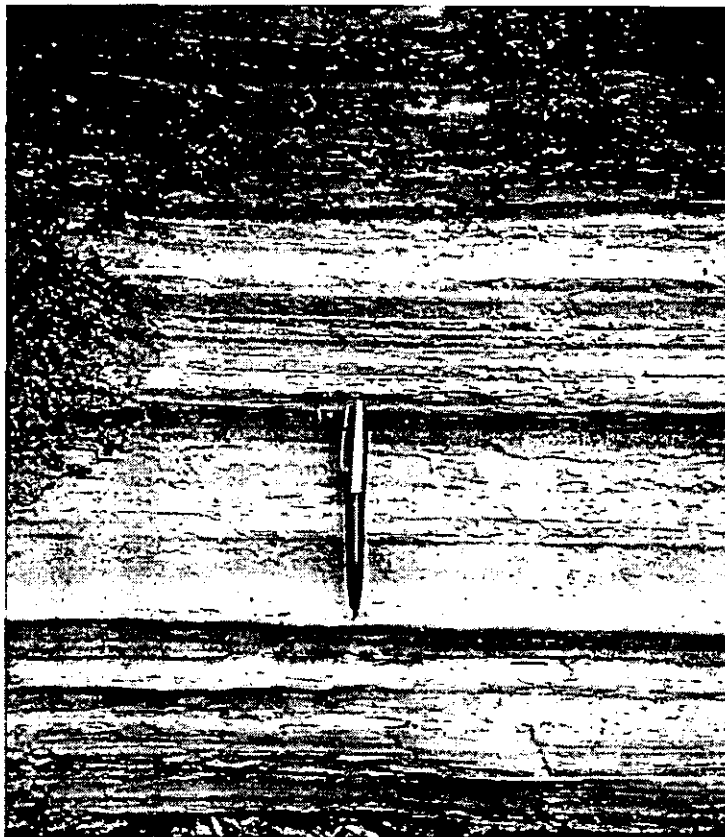
A continuación se describirán cada una de las estructuras sedimentarias identificadas en campo, que corresponden con las que comúnmente se encontrarían en los depósitos de un ambiente lacustre. Sin embargo no todas las estructuras primarias que caracterizan este ambiente se encontraron en la secuencia, pues recordemos que las condiciones varían de un lugar a otro.

Estratificación y Laminación.

En ocasiones, las características más distintivas por la cual se reconoce inmediatamente en el campo a una roca sedimentaria es su disposición en estratos, capas y láminas.

Se define a un estrato como una capa individual de roca con espesor igual o mayor a 1 cm, separada del estrato superior y del inferior por un cambio marcado de litología o por separación física (plano de estratificación). Una lámina es semejante a un estrato, pero su espesor es menor a 1 cm.

La secuencia lacustre de la Formación Atotonilco El Grande, presenta estratificación completamente horizontal. Los estratos en el caso de las areniscas tienen espesores que van de 10 hasta 30 cm, de forma tabular; la separación de estratos se produjo principalmente, por ligeras interrupciones en la depositación del sedimento. Así mismo se observa estratificación en tobas, en donde los estratos tienen espesores que van de 10 a 15 cm. En el caso de los estratos que se localizan en la columna de Santa María Amajac, estos se encuentran intercalados con finas láminas de arcilla (o ceniza volcánica) de color blanco, lo que dio origen en parte a la separación de estratos. La geometría de estos estratos es tabular y también se encuentra en posición horizontal. Se tienen además estratos más gruesos y no necesariamente intercalados con láminas de arcilla, como es el caso de las columnas de Los Baños, El Paso Amajac y Sanctorum, en donde dichos estratos tienen intercalaciones menores de limos, también son de forma tabular y se encuentran completamente horizontales. Estas estructuras indican la zona por arriba y por debajo de la acción del oleaje, como se muestra en la fotografía 10.



Fotografía 10. Intercalaciones de margas y Limolitas en la localidad de Sanctorum

Laminación cruzada.

Se caracteriza por que las laminaciones dentro de un estrato tienen un cierto ángulo con respecto a otras láminas de ese mismo estrato y no existe erosión en la base de la nueva secuencia; se forman por el cambio en la dirección del flujo, pero este cambio es paulatino, por lo que no existe erosión. La estratificación cruzada puede formarse por acción del agua o del viento.

En el caso de la estratificación cruzada que se ha desarrollado dentro de la secuencia estudiada, es debida a la bidireccionalidad de la acción de las corrientes de agua y se observa principalmente en las areniscas a nivel estrato y en menor proporción en los conglomerados; ambos correspondientes a la columna de El Paso Amajac. Estas estructuras nos señalan la zona por encima de la acción del oleaje.

Estratificación gradada.

Se caracteriza por tener las partículas más gruesas hacia la base y las más finas hacia la cima, se presenta cuando la energía del medio de transporte disminuye paulatinamente, dando lugar a que las partículas más gruesas sean depositadas en la parte baja y en forma gradual se vayan depositando las partículas más finas.

La estratificación gradada se encuentra a lo largo de la columna de El Paso Amajac, en los depósitos de arenisca principalmente, en donde se observa una clara variación en el tamaño de grano, que va de grueso a fino o sea presenta gradación normal. En la base se tienen conglomerados, que también presentan estratificación gradada; hacia la cima los depósitos más finos también están gradados.

Este tipo de estructuras se encuentra principalmente en la zona por debajo de la acción del oleaje.

Grietas de desecación.

Se formaron en la superficie de estratificación de areniscas de grano fino, son de origen físico, y se originaron cuando la superficie de estratificación se encontraba en condiciones subaéreas; se forman cuando el sedimento al perder agua por evaporación sufre pérdida de volumen, dando lugar a fracturamiento en la superficie. Se caracteriza por formas poligonales y sus lados son ligeramente curvados.

Este tipo de estructuras se observa solamente en la columna de "Los Baños", en un área de exposición poco amplia pero que sin embargo verticalmente se tiene en varios estratos delgados que en conjunto tienen un espesor de 1.5 m; este espesor se midió debido a que se identificó la base y la cima donde se encuentran expuestas dichas estructuras sedimentarias, las cuales se pueden observar en la fotografía 11.



Fotografía 11. Grietas de desecación y gotas de lluvia. Los Baños.

Gotas de lluvia.

Son estructuras de forma semicircular que al igual que las grietas de desecación son de origen físico y se formaron en la superficie de los estratos, cuando el

sedimento está aún suave en condiciones subaéreas, por el golpeteo de la lluvia en aguaceros cortos y copiosos. Dichas estructuras se encuentran sobre las estructuras de grietas de desecación descritas anteriormente.

Laminación convoluta.

Se caracteriza por una capa deformada localmente, localizada entre capas no deformadas. Aparecen plegadas con anticlinales cerrados que señala el techo de las capas. Se originan debido a lentos desplazamientos por gravedad de sedimentos no consolidados que se fueron depositando en una pendiente con presencia de agua. Son estructuras que se formaron muy poco tiempo después de que se dio la sedimentación.

Estas estructuras se observan principalmente en la columna de Sanctorum en limos y arcillas, aún que se distinguen también en menor proporción en la columna de El Paso Amajac dentro de las areniscas. Sin embargo, en otra parte de la secuencia de Sanctorum se observó plegamiento con una ligera inclinación de los depósitos, los cuales fueron formados debido seguramente a un hundimiento moderado dentro del cuerpo de agua en sedimentos no consolidados, dicha estructura se muestra en la fotografía 12.



Fotografía 12. Laminación convoluta presente en el área de Sanctorum.

IV.3. ESTRATIGRAFÍA

Las rocas sedimentarias son el único registro de que dispone el geólogo para interpretar las condiciones paleogeográficas existentes en el momento en que estas rocas se formaron. Por esta causa el análisis cuidadoso de las rocas nos puede proporcionar los datos necesarios para poder reconstruir la evolución geológica de la región estudiada. Se detalla a continuación la descripción litoestratigráfica de la Formación Atotonilco El Grande, en la cual se pueden

diferenciar los siguientes elementos litológicos: conglomerados, tobas, areniscas, limolitas y margas.

Para dicho estudio y descripción se midieron cuatro columnas estratigráficas con Báculo de Jacob, en donde el espesor mínimo fue de 70 m y el máximo de 154 m, las cuales se encuentran localizadas, la primera hacia el Noroeste en el pueblo de Santa María Amajac, la segunda muy cerca del balneario de aguas termales "Los Baños", la tercera columna fue medida al Sureste del poblado "El Paso Amajac" y la cuarta columna fue medida en las cercanías del poblado de Sanctorum. Estas columnas estratigráficas pretenden mostrar las variaciones de los depósitos sedimentarios que ocurrieron, así como establecer el espesor de la secuencia.

Se interpreta la correlación de las columnas estratigráficas medidas, para verificar la equivalencia y las relaciones mutuas entre unidades estratigráficas, dicha correlación se muestra en la figura 5

Las columnas estratigráficas formaron parte del trabajo fundamental de esta tesis, para hacer el análisis sedimentológico de la secuencia lacustre, así como también para observar las relaciones estratigráficas de La Formación Atotonilco El Grande y poder ubicarlo en el espacio-tiempo.

IV.3.1. COLUMNA "LOS BAÑOS"

Esta columna consiste de 10 unidades que se encuentran distribuidas e intercaladas a lo largo de esta secuencia. El espesor total de esta columna es de 96.9 m, tal como se muestra en la columna estratigráfica de la figura 6.

0.0 m – 3.2 m

En la base de este afloramiento se encuentran rocas de color café claro por intemperismo y tonos crema en superficie fresca, tiene estratos de por lo menos 1.70 m de espesor; son de grano uniforme, con tamaño de arena media a fina. Presenta en algunos horizontes materia orgánica y algunos cristales de cuarzo.

En lámina delgada (AG2413A), se observó que contiene cementante silíceo, se clasificó como una toba lítica de grano fino.

Subiendo estratigráficamente se tienen una serie de estratos que varían de 3 a 10 cm de espesor de color negro al intemperismo y al fresco verde olivo, el tamaño de grano, es de arena fina bien clasificada; contiene algunos líticos del tamaño de cantos pequeños. En lámina delgada (AG2413B), se determinó que tiene componentes que permiten clasificarlas como una grauwaca lítica, con aproximadamente un 40% de matriz; su mineralogía consiste de feldespato, cuarzo, anfíboles, biotita, clorita y minerales arcillosos. Los fragmentos de roca son subredondeados con baja esfericidad, corresponde con sedimentos moderadamente clasificados, con gradación normal.

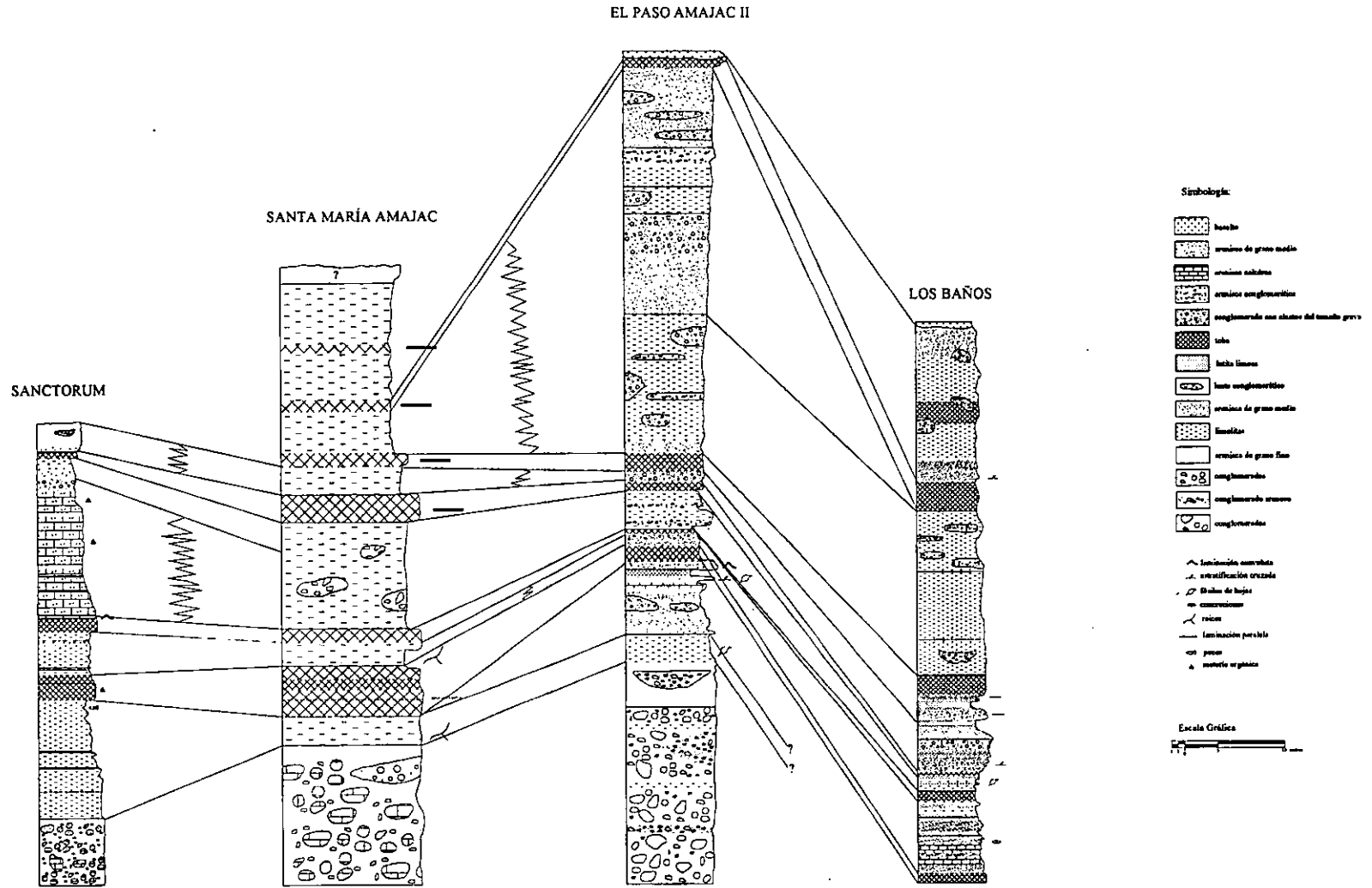


Figura 5. Correlación Estratigráfica de Columnas Medidas

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA "LOS BAÑOS"

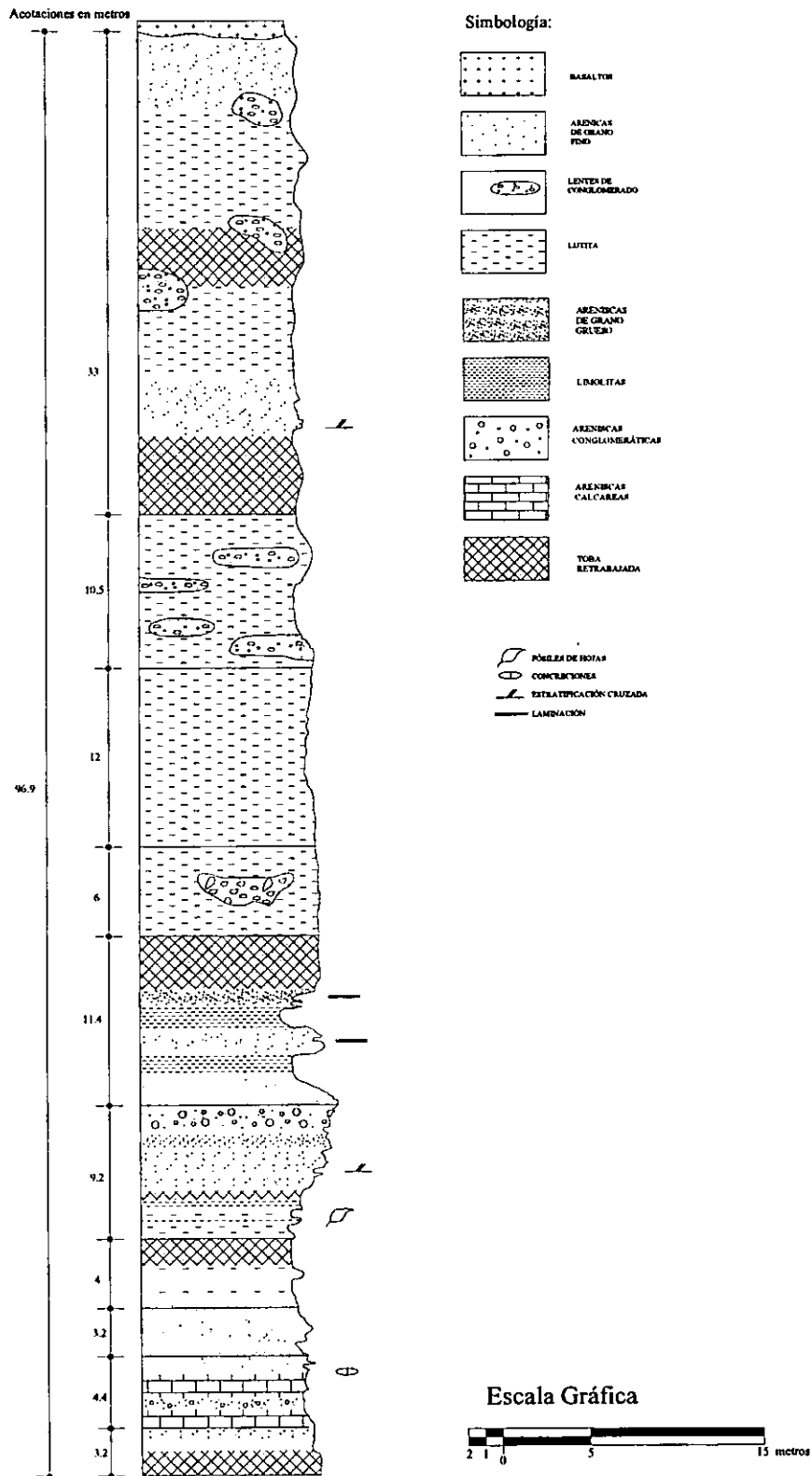


Figura 6

Hacia la cima se encuentran algunos estratos de arenisca de grano medio que presentan laminaciones, la cual puede variar a arenisca conglomerática. En lámina delgada (AG2312), se identificaron componentes que corresponden con una litarenita calcárea, ya que contiene cementante calcáreo; se compone de fragmentos de roca, cristales de plagioclasa, micas alteradas y cuarzo. Los fragmentos de roca se observan redondeados y los cristales se encuentran generalmente bien preservados aún que hay algunos que se advierten rotos; el tamaño es el de arena media, con fábrica isotrópica; presenta óxidos de fierro como alteración.

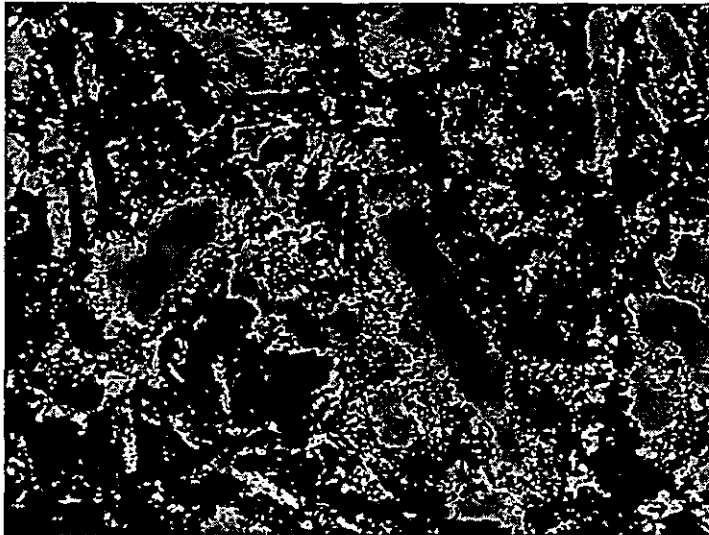
3.2 m – 7.6 m

En la base de este intervalo se tiene una serie de estratos de espesor mediano de color pardo oscuro al intemperismo y al fresco tonos café claro y gris oscuro; se trata de una secuencia de areniscas con estratos tabulares cohesivos los cuales son resistentes a la erosión dado que están cementados por carbonato de calcio; en algunos niveles se tiene laminaciones y en otros, horizontes de arenisca conglomerática. Contiene materia orgánica en los horizontes finos laminados.

En la parte superior de este nivel estratigráfico se tiene una roca que en lámina delgada (AG2313), se determinó que tiene 50% de cementante calcáreo, con abundantes fragmentos de roca, cristales de plagioclasa (25%), cuarzo y vidrio volcánico. El tamaño de las partículas es de arena fina, muy angulosos, con baja esfericidad, empaque suelto y puntual, con fábrica isotrópica. Como alteraciones se puede observar que presenta óxidos de fierro. Textural y mineralógicamente es una roca inmadura que corresponde a una litarenita calcárea.

7.6 m – 10.8 m

En este nivel se observa una serie de estratos que presentan estructuras sedimentarias tales como laminaciones, grietas de desecación y estructuras uniformes semiredondeadas reconocidas como gotas de lluvia, preservadas en una arenisca de color café claro al intemperismo y tonos amarillentos al fresco. En lámina delgada (AG2315 y AGGD), se observa que la roca está compuesta principalmente por fragmentos de roca volcánicos, presentando además anfíboles, biotita, clorita, calcedonia, feldespatos, hematita, minerales arcillosos y vidrio. Está roca presenta una textura epiclástica samítica de grano de arena fina, con clastos subangulosos con baja esfericidad; el empaque es suelto y la fábrica isotrópica. Por otra parte puede observarse una matriz limosa (25%) y en ocasiones cementante calcáreo que varía a sílice cuando la matriz disminuye. Se clasifica como una grauwaca lítica de grano fino, sílicea. En la fotografía 13 se puede observar una sección en lámina delgada.



Fotografía 13. Lámina delgada AGGD. Los Baños.

10.8 m – 15.8 m

Hacia la base de este nivel se observa una intercalación de estratos delgados de arenisca de grano fino y lutita limosa que varían de color café claro al fresco y crema al intemperismo; así mismo se observan finos horizontes de materia orgánica y calcos de hojas en algunos horizontes. Las laminaciones se presentan en las lutitas limosas, las cuales albergan clastos de limolita calcárea y en ocasiones concreciones grandes de caliza arenosa como se le clasificó en lámina delgada (AGC) en la que se identificaron líticos de feldespato, cuarzo, micas fragmentos de roca andesíticos del tamaño de arena muy fina y calcita como cementante; está última también se encuentra reemplazando algunos constituyentes.

Sobre este paquete se encuentra una toba retrabajada, estratificada con espesores que van de 5 a 10 cm, la cual contiene líticos de piroclastos en forma alineada; presentan también calcos de hojas en algunos horizontes de dicha arenisca.

15.8 m – 25 m

En este nivel, se observa un paquete de estratos compuestos de arenisca de grano fino intercalada con horizontes de limolitas que presenta algunos clastos de lutita calcárea. El espesor promedio de las areniscas es de aproximadamente 12 cm. A su vez puede encontrarse finos horizontes de materia orgánica e impresiones de hojas en algunos horizontes de la arenisca.

Sobreyaciendo se encuentra una toba retrabajada y estratificada con espesores que van de 5 a 10 cm, la cual contiene líticos de piroclastos en forma alineada.

En la cima de este paquete se encuentra una arenisca de color ocre al intemperismo y pardo claro al fresco, compuesta por clastos volcánicos partículas de grano medio. El espesor de los estratos varía de 35 a 45 cm, con laminación cruzada como estructura sedimentaria.

Subiendo estratigráficamente, se observa un estrato compuesto de arenisca de grano grueso de color pardo al intemperismo y pardo claro al fresco que presenta algunos pequeños cristales de cuarzo visibles en muestra de mano. Puede variar lateralmente a una arenisca conglomerática al presentar clastos del tamaño de arena gruesa y gravas. La porción arenosa en lámina delgada (AG2317) se compone de 20% de cementante calcáreo, fragmentos de roca volcánica (en su mayoría), feldespatos y micas. Texturalmente los clastos son de tamaño de arena gruesa, subredondeados y con baja esfericidad; la fábrica es isotrópica y el empaque suelto y a veces puntual. Se ha clasificado como una litarenita calcárea.

25 m – 36.4 m

En este intervalo se tiene una secuencia de areniscas intercaladas con limolitas en estratos que varían de 10 a 15 cm de espesor, la arenisca varía en tamaño de grano fino a medio y en ocasiones grueso. Por otra parte en las limolitas se pueden observar laminaciones. No obstante es posible distinguir una variación gradual de las arenisca hacia el campo de las arcillas.

Sobreyaciendo, a los 26.1 m aproximadamente se observa un paquete de estratos arenosos con espesores de 20 cm, los cuales pueden diferenciarse de la secuencia superior de este paquete que se encuentra mejor consolidada. En muestra de mano, el color de la roca al intemperismo varía de gris a gris oscuro, y al fresco se presenta de color gris claro. Es posible distinguir cristales bien formados de feldespato dándole el aspecto de una toba, sin embargo, por su geometría tabular y por la presencia de fragmentos de roca, puede decirse que se trata de una toba re trabajada. En lámina delgada (AG2318), se observa vidrio ácido y fragmentos pumíticos, por lo que se clasifica como toba vítrea.

36.4 m – 42.4 m

Este intervalo se compone de un conglomerado con partículas de andesita porfídica y de tobas que varían en tamaño desde la arena gruesa hasta los cantos pequeños, los cuales se presentan redondeados a subredondeados y embebidos en una matriz arenosa. El conglomerado se encuentra en forma lenticular y corta a la secuencia de tobas por lo que se interpreta como un depósito de paleocanal.

Otra característica de este conglomerado es la de encontrarse un tanto deleznable y presentar tonalidades amarillo-verdoso por alteración.

42.4 m – 54.4 m

Se observa una roca que corresponde a una secuencia de limolitas de color crema al intemperismo y al fresco, que se intercalan con tobas vítreas con espesor promedio de 80 cm aproximadamente.

54.4 m – 64.9 m

Se continua con una secuencia de limolitas con estructuras de paleocanal, los que fueron rellenados por un conglomerado compuesto por partículas de andesita porfídica y de tobas de color amarillo verdoso que varían en tamaño desde la arena gruesa hasta los cantos pequeños; los líticos se presentan redondeados a subredondeados.

64.9 m – 97.9 m

La columna finaliza con los lentes de conglomerado y tobas intercaladas con limolitas, presentando las siguientes características: el conglomerado está compuesto por partículas de andesita porfídica y de tobas que varían en tamaño desde la arena gruesa hasta los cantos pequeños, los cuales se presentan redondeados a subredondeados y embebidos en una matriz arenosa. A su vez las limolitas son de color crema tanto al intemperismo como al fresco, con aspecto terroso; y el tamaño de las partículas es de limo grueso. Su contacto superior es un derrame de basaltos.

IV.3.2. COLUMNA “SANTA MARIA AMAJAC”

En esta columna se tienen 6 unidades litológicas. Tiene un espesor total de 108 m, sus principales características se muestran en el columna estratigráfica de la figura 7.

0.0 m – 25 m

La base de la secuencia se compone de un conglomerado de color ocre al intemperismo, mal compactado. Sus partículas (de calizas en su mayoría) son del tamaño de arena media a cantos pequeños.

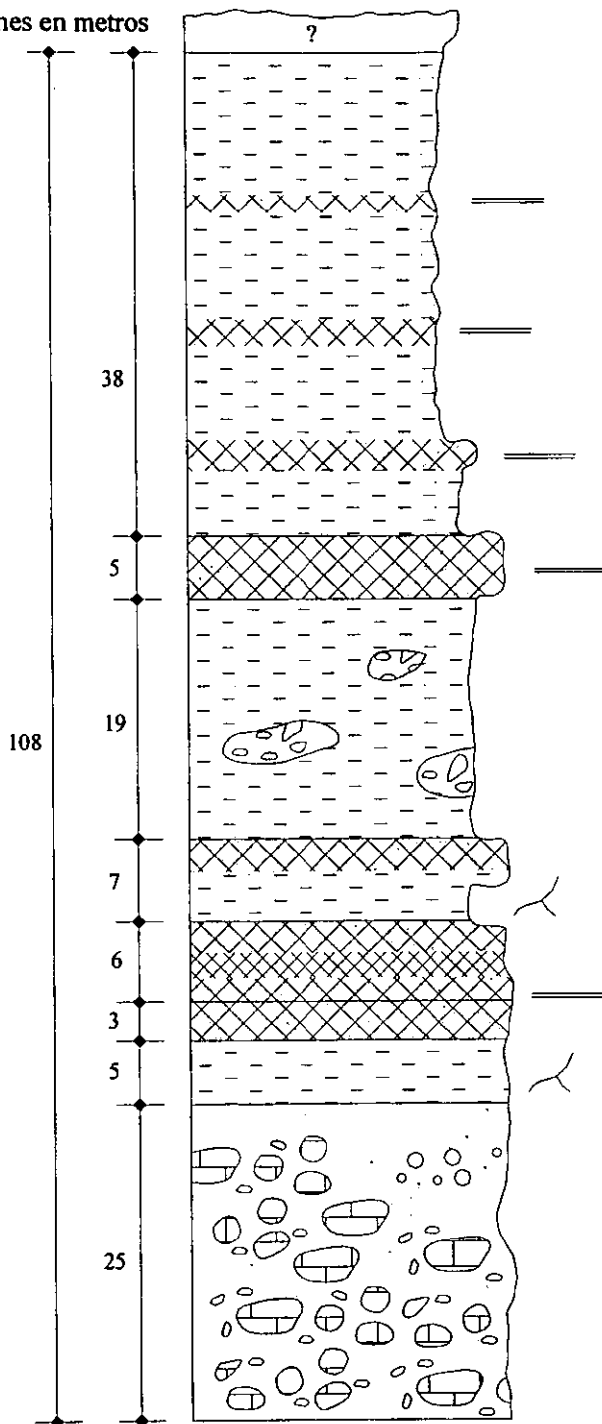
Así mismo, dentro del conglomerado se pueden observar lentes de arenisca conglomerática en los cuales el tamaño de los clastos (calizas), es de arena gruesa embebidos en una matriz arenosa. Se presenta en ocasiones estratificación cruzada con espesor promedio de 1m aproximadamente en la que se observa una variación en el tamaño de grano que va de arena de grano medio a grueso.

25 m – 30 m


Subiendo estratigráficamente, se observan limolitas en estratos con espesores de 80 cm a 4 m de espesor, de color crema al intemperismo, con bastante influencia volcánica. Sin embargo existen variaciones laterales, en donde se observa que


COLUMNA ESTRATIGRÁFICA "SANTA MARÍA AMAJAC"

Alturas en metros



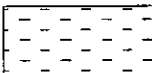
Simbología:

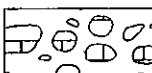
 conglomerado con clastos ígneos

 arenisca conglomerática


 toba

 lapilli

 limolita

 conglomerado con clastos de caliza

 laminación

 raices

Escala Gráfica

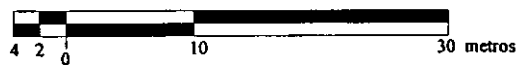


Figura 7

inmediatamente después del conglomerado, este se encuentra en contacto en su cima con una secuencia de limolitas las cuales son de color gris al intemperismo.

30 m – 33 m

En este intervalo se presentan tobas de color negro al intemperismo y gris al fresco, se componen de cristales de cuarzo y feldespatos. Se encuentra estratificada con espesores que varían de 15 a 20 cm aproximadamente.

33 m – 39 m

Hacia la cima de este nivel, se nota que las tobas se encuentran mejor consolidadas y menos alteradas por lo que presentan un color gris claro al fresco, en las cuales es posible advertir claramente cristales de feldespatos. Los estratos tienen espesores aproximados de 10 hasta 40 cm e intercalaciones de lapilli con espesores de 15 cm aproximadamente. En lámina delgada (AG241) se observa una toba vítrea, compuesta de abundantes esquirlas de vidrio y en menor proporción cuarzo y feldespatos. Contiene también calcita secundaria.

39 m – 46 m

En este intervalo se aprecian tobas de color negro al intemperismo y gris al fresco, presentándose en ocasiones horizontes muy blancos en los cuales el tamaño de las partículas es de limo fino, con espesores de estratos entre 1 y 3 cm de espesor. La mayoría de los estratos presentan espesores de 15 a 20 cm, con intercalaciones de limolitas con tonalidades muy pálidas de lila, verde y crema, siendo más abundantes las limolitas que se encuentran en estratos gruesos de 4 a 7 m.

En lámina delgada (AG1022) se identificó a una roca ígnea extrusiva, de textura piroclástica que contiene fragmentos de roca y de pómez, algunos cristales de feldespato, sanidino, plagioclasas, cuarzo y vidrio de composición ácida. Se clasifica como una toba vítrea pumítica.

46 m – 65 m

En este nivel se aprecia un paquete considerable de limolitas que en ocasiones presenta lentes conglomeráticos, los cuales se caracterizan por estar formados de sílice. Texturalmente los clastos son subangulosos, del tamaño de las gravas gruesas a los cantos, con matriz arenosa.

Por otra parte, en la cima de este intervalo, se observa una potente secuencia de limolitas de color crema al intemperismo, las cuales se encuentran en estratos deleznable con espesores que varían de 3 a 6 m.

65 m – 70 m

Esta unidad se compone de limolitas dispuesta en estratos con espesores de 40 a 50 cm de espesor, son color crema.

70 m – 108 m

Una potente secuencia de limolitas de colores rojizos y tonos crema componen a este intervalo. Algunas de ellas se encuentran conformando estratos con espesores de 40 a 50 cm. Se intercalan con tobas estratificadas de color gris, con espesores de 20 a 30 cm, en las cuales, en muestra de mano se observan cristales de feldespatos; en lámina delgada (AG1023) se clasificó como una toba cristalina, conformada por vidrio y cristales de cuarzo y feldespatos. Así mismo, se observa un cierto flujo y alteraciones a carbonatos.

IV.3.3 COLUMNA “EL PASO AMAJAC II”

Esta secuencia se compone de 13 unidades diferenciadas litológicamente. Su espesor total es de 151.3 m, sus principales características se muestran en la columna estratigráfica de la figura 8.

0.0 m – 30 m

En la base aflora un paquete de conglomerado con abundante matriz (60%) compuesta por clastos del tamaño de arena fina a gruesa, los clastos mayores que texturalmente se encuentran bien redondeados, varían en tamaño desde los cantos pequeños a los bloques en forma de disco y esféricos, se componen de andesita porfídica principalmente y en menor cantidad de riolitas y tobas; los sedimentos presentan un empaque puntual y suelto, con fábrica isotrópica.

Como estructuras sedimentarias se observan estratificación normal y estratificación cruzada, observándose una clara variación en el tamaño de los clastos que va de cantos a cantos pequeños por lo que se encuentra moderadamente clasificado. El porcentaje de matriz en los cuerpos lenticulares es de 15 %.

Hacia la cima de este conglomerado podemos encontrar algunas intercalaciones de limolita de color gris oscuro y crema, bien consolidada.

30 m – 43.2 m

Subiendo estratigráficamente aparece una arenisca de grano medio de color negro al intemperismo y gris claro al fresco, se compone de fragmentos de rocas y algunos cristales de cuarzo, los cuales se caracterizan por ser subredondeados y subangulosos. En ocasiones se presentan líticos de andesita que varían en tamaño desde arena gruesa a muy gruesa. El estrato que compone a la arenisca tiene un espesor de aproximadamente un metro, la cual se encuentra truncada por un conglomerado lo cual indica un depósito de paleocanal. Los estratos que se encuentran sobre el conglomerado tienen espesores de 20 a 40 cm. En lámina delgada (AG9211) a la arenisca se le clasificó como una grauwaca lítica, ya que presenta 50% de matriz arcillosa, fragmentos de roca volcánicos, cristales de cuarzo feldespatos, plagioclasas y vidrio esferulítico; presentan una textura

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA "EL PASO AMAJAC II"

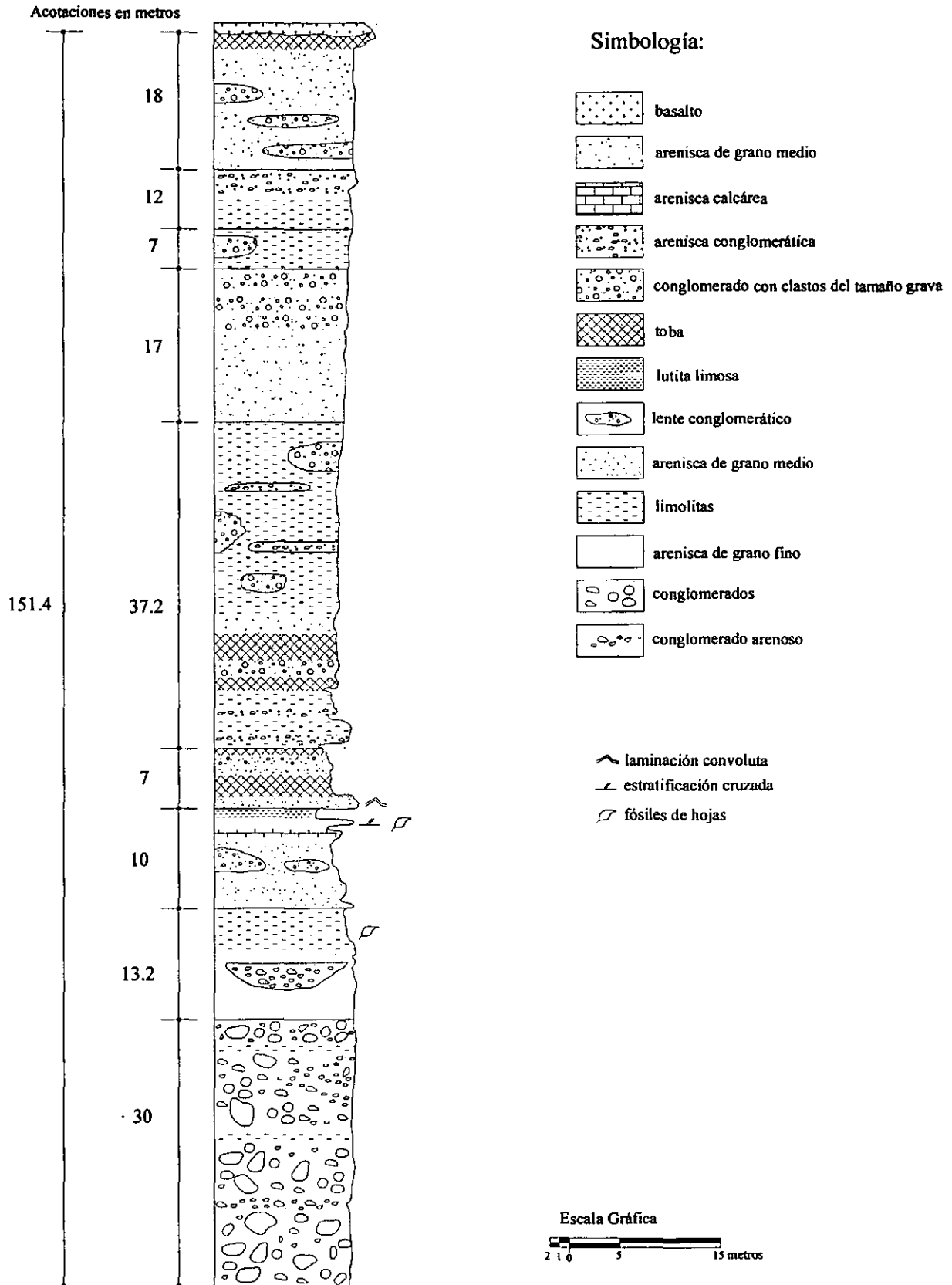


Figura 8

epiclástica samítica de tamaño de arena media a arena gruesa, siendo más abundante esta última. Igualmente pueden observarse micas alteradas (con luz polarizada se observan con alta birrefringencia). Las partículas no presentan ninguna orientación, pero se distingue empaque suelto en clastos de baja esfericidad y subredondeados, se encuentran moderadamente clasificados. Así mismo puede distinguirse que la arenisca muestra una variación gradual desde arenisca conglomerática con clastos de andesita del tamaño de arena gruesa a muy gruesa con matriz arenosa; el empaque es suelto y van de subangulosos a angulosos, mal clasificado con fábrica isotrópica y líticos en forma discoidal.

Intercaladas y subyaciendo se encuentran limolitas de color pardo, con aspecto arenoso, con líticos volcánicos y algunos cristales de cuarzo.

La unidad se ve influenciada de manera importante por material volcánico piroclástico.

A este nivel se encuentran algunos fósiles de hojas y troncos en los sedimentos más finos.

43.2 m – 53.2 m

Arenisca de color negro al intemperismo y café claro al fresco, con horizontes de clastos alineados de andesita. Contiene cristales de feldespato bien definidos, y materia orgánica, con 10% de matriz arcillosa; texturalmente las partículas van de angulosos a subredondeados, con tamaño de arena media a fina por lo que se encuentra moderadamente clasificada, la fábrica es isotrópica. Presenta lentes de arenisca conglomerática.

En lámina delgada, la arenisca estudiada (AG9212 y AG2412), se observa que contienen partículas volcánicas que se encuentran ligeramente cementadas por sílice, donde el 85% corresponde a diversos tipos de líticos volcánicos, cuarzo, feldespato y piroxenos. La fábrica es isotrópica con empaque suelto y puntual y textura epiclástica samítica de grano fino; los clastos son redondeados y con alta esfericidad. Se clasifica como una litarenita volcánica de grano fino.

Sobre la arenisca sin cementante, se encuentra un paquete de aproximadamente 10 cm de espesor de areniscas con cementante calcáreo, de color ocre al intemperismo y color negro al fresco. En lámina delgada (AG9213) esta roca se clasificó como una litarenita volcánica calcárea, al presentar 20% de cementante calcáreo que alberga cristales de plagioclasa y líticos volcánicos en su mayoría, con algunos fantasmas de cristales angulosos y vidrio porfídico, no se ve ninguna orientación en sus clastos por lo tanto es isotrópica con empaque puntual; el tamaño de los clastos es de la arena fina con baja esfericidad. Esta roca fue observada también en la columna de "Los Baños, con un espesor más grande que el que aquí se encuentra.

Sobreyaciendo se encuentra un paquete de lutitas de color pardo, intercalada con areniscas con clastos del tamaño de grano de arena muy fina en estratos de entre 25 cm y 4 m, los cuales en ocasiones muestran laminación cruzada

Una parte de esta sección se observa en la fotografía 14.



Fotografía 14. Intercalaciones de areniscas y limolitas. El Paso Amajac.

53.2 m – 60 2m

En este nivel se observa un paquete de arenisca de color negro al intemperismo y al fresco gris claro, con clastos de tamaño de arena fina, en estratos que varían en tamaño de 20 a 30 cm, los cuales en ocasiones presentan laminación convoluta. En lámina delgada (AG9214) se puede observar que presenta un 30% de matriz de arena fina, su mineralogía consiste de minerales arcillosos, feldespatos, plagioclasas, anfíboles, biotita y clorita; los líticos son volcánicos sin ninguna orientación y con empaque suelto. Los clastos son del tamaño de las arenas medias, de forma angulosa; se le clasificó como una grauwaca feldespática.

Sobreyaciendo a las areniscas se presenta una secuencia de estratos con las siguientes características:

Un paquete de cenizas volcánicas caracterizado por dos estratos de 50 y 20 cm de espesor, las cuales varían respectivamente en color de gris a café.

Sobreyace un estrato de 30 cm de espesor de arenisca de grano medio que en lámina delgada (AG9210) se clasificó como una litarenita volcánica con escasa matriz, la cual hospeda cristales de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca volcánicos subredondeados y altamente esféricos de andesitas que varían en tamaño de arena fina a arena media; también contiene pómez y materia carbonosa. Puede observarse además la presencia de canales de arenisca conglomerática, compuesta por clastos de andesitas, piroclastos que varían en tamaño de arena gruesa a cantos pequeños embebidos en una matriz arenosa.

Finalmente se tiene una toba lítica de color pardo al intemperismo y color crema al fresco.

60.2 m – 97.4 m

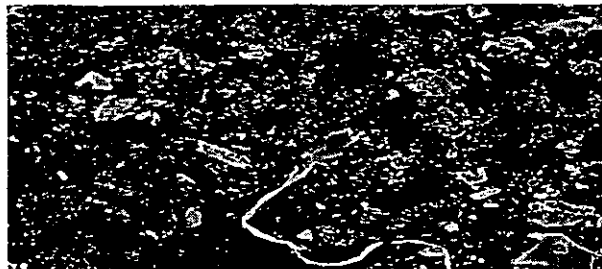
Continuando con la secuencia, se observan intercalaciones de limolitas con un conglomerado fino que presenta clastos del tamaño de cantos pequeños y gravas gruesas en matriz de arena fina. La limolita se presenta muy intemperizada y tiene unos 5 m de espesor, presenta un color gris al fresco. Sobre la limolita se encuentra una toba de color blanco con un espesor aproximado de 2m, seguida de una arenisca conglomerática en forma de lente, sobre la que se encuentra una toba muy intemperizada de 4 m de espesor, que hacia la cima cambia a una arenisca de grano medio a fino.

El resto de este paquete corresponde a limolitas de color gris oscuro, crema, lila y verde muy pálidos por alteración, y tiene una textura en la cual se nota marcadamente la influencia volcánica de cenizas dentro de la secuencia. Así mismo pueden observarse lentes de conglomerado, arenisca conglomerática e intercalaciones de arenisca de grano fino que son de andesitas, riolitas y tobas. Se distingue erosión diferencial por la intercalación de la roca conglomerática.

97.4 m – 114.4 m

En este intervalo se observa una roca de color pardo claro al intemperismo y blanco al fresco, compuesta por partículas del tamaño de arena fina. Se clasificó como arenisca con importante influencia volcánica lo cual se puede notar en la composición de cristales bien definidos de plagioclasas, micas y cuarzo, como se observa en la lámina delgada (AG9219), aún que lo que predominan son los fragmentos de roca que se componen de microlitos, dándole el nombre de arenita volcánica, la cual presenta 5% de matriz arcillosa y ligeras segregaciones de sílice. Texturalmente, los clastos son de baja esfericidad y subangulosos, su tamaño es de arenas finas, con fábrica isotrópica, empaque puntual y suelto. Las areniscas cambian a arenisca conglomerática donde el tamaño de los clastos varía de gravas a cantos. Dentro de este intervalo se presentan lentes conglomeráticos y laminación flaser.

Una variación distintiva se presenta en la arenisca con lámina delgada AG2414, la cual contiene matriz arcillosa mayor al 15% con un contenido de fragmentos de plagioclasas, cuarzo y líticos volcánicos del tamaño de las arenas medias a gruesas con clastos subangulosos de fábrica isotrópica, empaque suelto y puntual, mal clasificados. (Ver Fotografía 15)



Fotografía 15. Lámina delgada AG2414. El Paso Amajac.

114.4 m – 121.4 m

En este intervalo se observa un estrato de arenisca, que en lámina delgada (AG103), muestra las siguientes características; una matriz de arena fina y fragmentos de roca andesíticos subredondeados del tamaño de arena gruesa. Se observan también cristales angulosos de feldespatos del tamaño de arena media y algunos microlitos. El empaque es suelto, la fábrica isotrópica con alta esfericidad en los fragmentos de roca. Se clasificó como una grauwaca lítica.

Abundan los lentes de arenisca conglomerática y lentes de conglomerado que presenta 40% de matriz arenosa. La arenisca conglomerática presenta estratificación flaser.

121.4 m – 133.4 m

Está unidad de limolitas calcáreas que muestra un color pardo al intemperismo y ocre al fresco, que en lámina delgada (AG102), ha sido clasificada como limolita arenosa calcárea, el tamaño de las partículas es de limo, pero también contiene arena con mucha calcita. Los fragmentos son del tamaño de limo y de arena media con cuarzo, feldespato, horblenda, biotita, líticos de andesita y pómez. Como estructuras primarias presenta laminación normal y laminación cruzada.

Dentro de está unidad se observan lentes conglomeráticos, con clastos del tamaño de las gravas, los cuales son de andesita, riolita y tobas, con matriz arenosa; los clastos se observan redondeados.

133.4 m –151.4 m

A este nivel se observa la arenisca de color blanco al intemperismo y color pardo claro al fresco, el tamaño de los clastos es de arena media, se pueden observar algunos cristales de feldespatos y algunos líticos.

Sobreyaciendo se encuentran tobas líticas de color crema al intemperismo y al fresco de color blanco, tiene un espesor de 1.5 m. El límite superior se pone en contacto con un derrame de basaltos.

En la fotografía 16 se observa un lente conglomerático.



Fotografía 16. Arenisca con lentes conglomeráticos y laminación cruzada. El Paso Amajac.

IV.3.4. COLUMNA "SANCTORUM"

En esta secuencia encontramos 10 unidades litológicas. El espesor total de la secuencia es de 70 m, tal como se muestra en la columna estratigráfica de la figura 9.

0.0 m – 10 m

En la base de esta columna se puede observar un conglomerado de color negro al intemperismo y gris claro al fresco, sus clastos se componen de caliza en su mayoría, presentándose de subredondeados a subangulosos. El tamaño de los clastos varía de arena gruesa a muy gruesas y en ocasiones a cantos. En lámina delgada (AG104), se observan algunos clastos que contienen microlitos de feldespato en su mayoría y fragmentos de andesita, se encuentra cementado por calcita. Los estratos que presenta son irregulares con espesores que van de 60 a 80 cm.

Sobreyaciendo se encuentra un conglomerado con clastos subangulosos del tamaño de bloques compuesto de líticos de andesita, donde se pueden observar cristales de plagioclasas y anfíboles que predominan sobre clastos angulosos de caliza embebidos en una matriz arenosa.

10 m – 14 m

En este intervalo se observa limolita y limolita arenosa, con un color al intemperismo negro y crema al fresco, que se observa en estratos de 50 cm de espesor. Contiene líticos andesíticos y algunos cristales de feldespato. En lámina delgada se encontró influencia volcánica ya que está compuesta de cristales de feldespato, cuarzo; contiene también diatomeas centrales.

14 m – 29.5 m

Limolitas laminadas con espesores de 5 a 7 mm, con colores que se intercalan del blanco a beige y marrón. Se observan también finos horizontes de arcilla de color blanco. Las limolitas presentan lentes conglomeráticos con espesores de 80 cm que se adelgazan hasta 30 cm, con clastos de andesita y de caliza con tamaño de las arenas gruesas y matriz arcillosa.

Se tienen intercalados algunos estratos de color blanco que en lámina delgada (AG1122), se pudo observar que presenta una matriz arcillosa con cementante calcáreo y contiene cristales de feldespato, calcita y minerales arcillosos, así como también fragmentos de pómez. Su contenido fosilífero consiste de diatomeas y pelecípodos. La textura de la roca es epiclástica pelítica del tamaño de la arena fina. Se clasifica como una diatomea arcillosa calcárea; en este intervalo se pueden observar fósiles de peces.

Existen también horizontes de aproximadamente 2 cm de espesor de material de color rojizo, en los cuales se observan cristales bien definidos de feldespatos en una matriz alterada muy deleznable; se trata de un producto volcánico (cenizas)

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA "SANCTORUM"

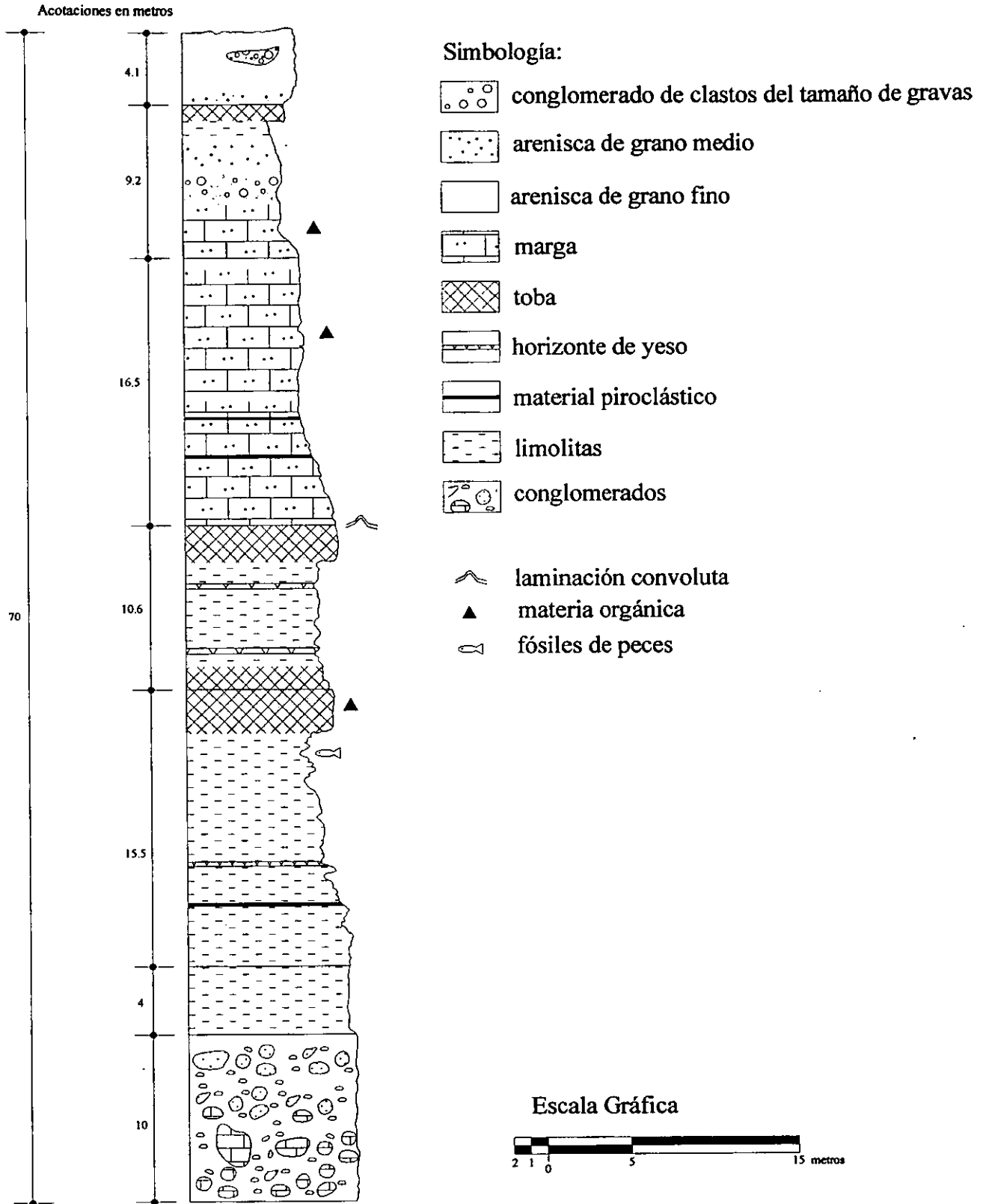


Figura 9

que por su posición en las capas se interpreta que se depositó en un medio acuoso.

Sobreyaciendo se encuentra un estrato de 30 cm de espesor de toba de color negro al intemperismo y blanco al fresco. Se aprecian a si mismo, horizontes muy delgados de 3 a 5 mm de cenizas finas las cuales se encuentran parcialmente caolinizadas.

Observándose inmediatamente después hacia la cima varios horizontes de ceniza de color rojizo, con espesores que varían de unos cuantos mm hasta 7 cm de espesor; inmediatamente después se encuentran horizontes de toba de color gris al intemperismo y al fresco gris claro, intercalado con arenisca de color amarillo claro al fresco y al intemperismo; son de grano medio mal clasificados.

29.5 m – 40.1 m

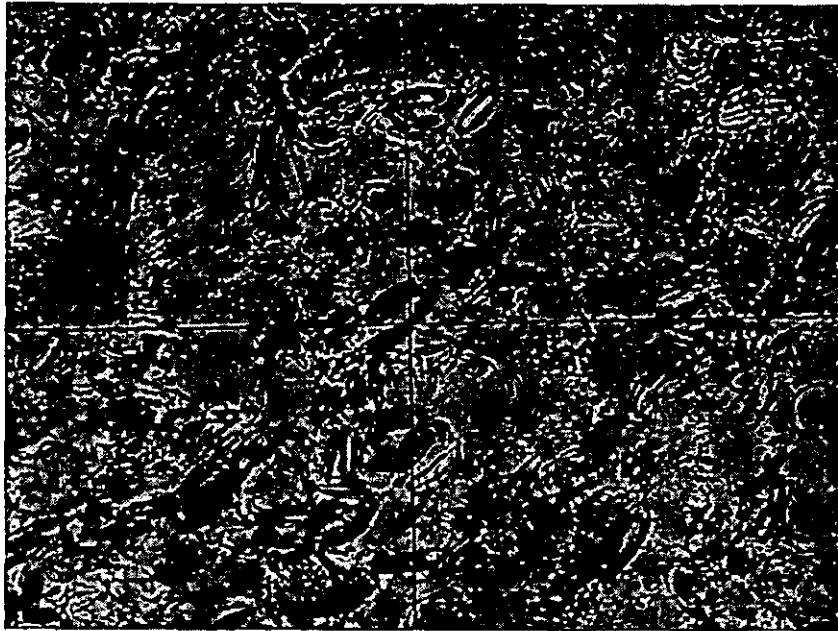
En este nivel se encuentra un estrato tobaceo de 10 cm de espesor de color negro al intemperismo y gris claro al fresco, con abundantes cristales de feldespato. Así mismo, en lámina delgada (AG1123) se observó un abundante contenido de diatomeas de tipo pennales y centrales, así como también pelecípodos. Contiene algunos líticos volcánicos y cristales de feldespato, plagioclasas, calcita, pómez y minerales arcillosos. Su textura es epiclástica pelítica. Se clasificó como una diatomea arcillosa calcárea. (Ver Fotografía 17 y 18)

Sobreyaciendo se encuentran areniscas de color amarillo al intemperismo y crema claro al fresco, la cual presenta laminaciones y un espesor de 10 cm (horizonte fosilífero). En lámina delgada (AG1124), se observan embebidos en una matriz calcárea fragmentos de roca volcánicos y de calizas (como líticos), cristales de feldespato grandes, cuarzo, calcita y calcedonia. En ocasiones los líticos están compuestos por agregados de plagioclasas con textura traquítica, se observan además algunas micas; el tamaño de las partículas es de la arena media a gruesa. Se clasificó a está roca como una litarenita.

Se pueden observar horizontes delgados de yeso en forma de espato, intercalados en la secuencia anterior.



Fotografía 18. Lámina delgada AG1123, con luz polarizada. Diatomeas. Sanctorum



Fotografía 18. Lámina delgada AG1123, sin luz polarizada. Diatomeas. Sanctorum.

40.1 m – 56.6 m

En la base de este intervalo se encuentra una toba cristalina de color negro al intemperismo y gris claro al fresco, de 1.4 cm de espesor; inmediatamente después se aprecian intercalaciones de una marga arenosa laminada de color amarillo al intemperismo y amarillo claro al fresco; contiene líticos volcánicos de color rojizo, y que presenta cristales de plagioclasas; los fragmentos son del tamaño de arena media.

La marga en lámina delgada (AG1125), presenta textura epiclástica samítica de grano muy fino-pelítica, con líticos volcánicos, feldespatos, plagioclasas y calcita. Contiene abundantes diatomeas pennaes que se observan solamente con el objetivo 40 y sin luz polarizada.

Encima del paquete anterior se encuentra un estrato de 40 cm de espesor de arenisca de grano fino con líticos volcánicos, matriz arenosa muy fina, retrabajada; con horizontes esporádicos de arena alterada con algunos líticos grandes de toba silíceo alterada a caolín.

En este nivel se encuentra una arenisca de grano fino con laminaciones, de color marrón al fresco y al intemperismo gris oscuro.

56.6 m – 65.9 m

Se observa una alternancia de lodolitas con margas de color ocre por intemperismo; las últimas en lámina delgada (AG106), corresponden con una marga fosilífera, la cual contiene abundantes pelecípodos. Se observan algunos

fragmentos de andesitas redondeados y esféricos del tamaño de arena fina; también contiene algunos cristales de feldespato subangulosos del tamaño de limo grueso. En la parte epiclástica solo se observan minerales arcillosos. Como estructuras primarias presentan laminación.

A continuación se observan areniscas de grano fino color gris al fresco y al intemperismo amarillo, que varían a areniscas de grano medio con laminaciones y materia orgánica. Se intercalan horizontes arcillosos de color blanco, y una toba lítica de color gris claro al fresco y al intemperismo negro. Como estructuras sedimentarias presenta laminación convoluta.

65.9 m – 70 m

En este último intervalo se observan laminaciones de areniscas de grano fino y medio, de tono crema y negro al intemperismo, siendo gris al fresco, contiene abundante materia orgánica; intercalada con margas de color amarillo que en lámina delgada (AGS), se identificó abundante calcita microcristalina y minerales arcillosos. La secuencia se encuentra muy alterada.

Sobreyaciendo se observa un horizonte conglomerático con espesor de 1.30 m, mal compactado con clastos de caliza, andesita y tobas, del tamaño de grava y arena gruesa a muy gruesa; algunos cantos se encuentran rodeados de matriz de arena fina; el color que presenta este conglomerado es amarillo ocre y verde olivo como alteración, con empaque puntual y suelto.

Este conglomerado en ocasiones se presenta en forma lenticular, en estos casos los clastos son de caliza del tamaño de los cantos, se presentan subredondeados y subangulosos en matriz arenosa y arcillosa.

Por último, se observa un horizonte de arenisca fina con un espesor de 15 cm, de tonos pardos al intemperismo y color gris, al fresco, en la que se aprecian laminaciones e intercalaciones de arcilla alterada de color blanco. En este intervalo se observan líticos de caliza del tamaño de los bloques, los cuales muestran disolución; otros clastos son de sílice de color blanco con tamaño de las gravas. Sobreyaciendo a este paquete se observan areniscas que en lámina delgada (3S), corresponden a litarenitas silicificadas, compuestas de fragmentos de roca volcánica y calcárea; también se observan fantasmas de microlitos en algunos clastos de andesitas, la roca contiene cementante silicio tipo calcedonia.

V. ORIGEN Y EVOLUCIÓN DEL PALEOLAGO

V.1 ORIGEN

Antes de comenzar a hablar sobre el origen del paleolago de Amajac, es necesario tener bien definido el concepto de ambiente sedimentario lacustre, así como saber cuales son las características principales de los sedimentos que se acumulan en este ambiente; con base en lo anterior se puede interpretar y realizar un modelo sedimentario del paleolago.

¿Que es un lago? Un lago es una cuenca cerrada en donde se acumula una cantidad considerable de agua y sedimento durante cierto periodo de tiempo. En este estudio se utiliza el termino "paleolago" para referirnos a un lago que existió en el pasado (tiempo geológico) y que en la actualidad ya no existe y solo quedan vestigios de él, como lo muestra la columna sedimentaria y la paleontología. A estas cuencas se les conoce también como cuencas endorreicas debido al aporte tanto de sedimentos como de agua que es captado de ríos que fluyen hacia esta depresión así como de los escurrimientos menores de las zonas circundantes al lago. La morfología del paleolago estudiado corresponde a una zona baja rodeada de relieve sedimentario y volcánico como se ilustra en la figura 10.

Para otros autores, desde una perspectiva de tiempo geológico, los lagos pueden ser considerados como objetos temporales en la superficie de la Tierra. Existen en tres estados sucesivos, joven, maduro y viejo. De acuerdo con el origen de la depresión lacustre el lago puede tener origen por algún evento geológico drástico, vulcanismo, tectónismo, terremotos o glaciación.

Una clasificación sencilla, basada en el tamaño de los lagos relacionándolo con su origen, es la siguiente. El primero lo constituyen los lagos pequeños (de llanuras aluviales costeras, regiones glaciares, deltas, etc.), formados por estancamiento sedimentario, erosión local, disolución o cese temporal de aportes en ciertas áreas. Suelen ser de vida corta y colmatación relativamente rápida; al respecto el Paleolago de Amajac pertenece a este grupo, por sus características de tamaño y sedimentación. El segundo grupo está constituido por los grandes lagos, que generalmente se asocian a un origen tectónico; los cuales se encuentran en áreas tectónicamente activas y cinturones orogénicos (rift valleys, etc.), que suelen presentar una gran subsidencia y recibir muchos aportes de sedimentos (ej., lagos africanos del rift) y los lagos de áreas cratónicas con hundimiento lento y pronunciado; estos poseen una gran persistencia y sus márgenes pueden fluctuar sobre cientos de kilómetros.

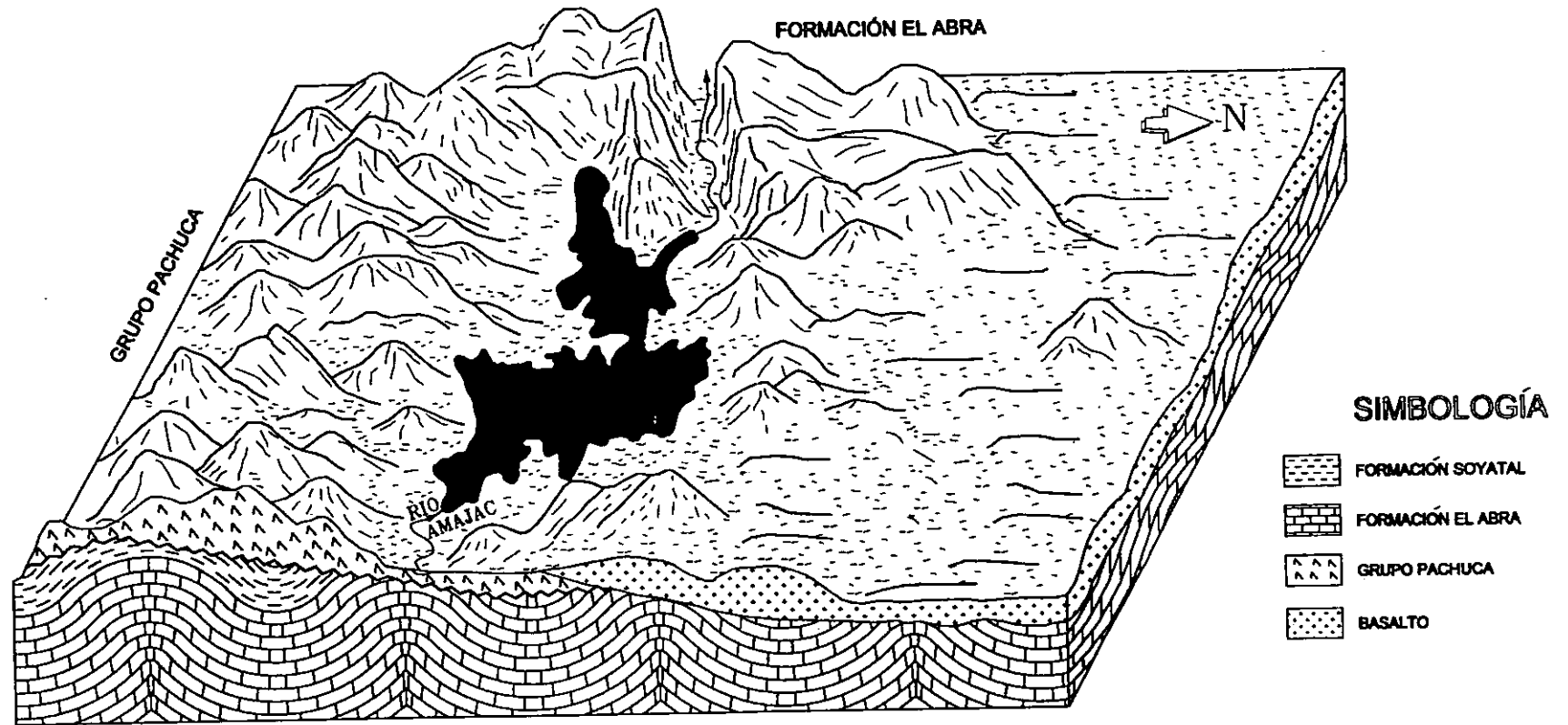


Figura 10. Diagrama Esquemático del Paleolago de Amajac

El origen de la cuenca fue producto del evento del cierre temporal del Río Amajac, ocasionado por una avalancha de materiales que se desprendió de las paredes escarpadas del cañón ubicado al noroeste del poblado Doñana. Con los materiales de la avalancha se cerro el Río Amajac y comenzó la acumulación lacustre. En tiempos de máxima inundación el lago tenía una superficie aproximada de 80,500 m², como se muestra en la figura 11. La sedimentación terminó cuando el mismo río empezó a remover los materiales de la avalancha al colmatarse de sedimentos la zona del embalse, evento probablemente asociado a una mayor carga hidráulica debida a una gran precipitación pluvial. Posteriormente siguió una fase de intensa erosión de los sedimentos lacustres, quedando en la actualidad únicamente lomeríos de roca lacustre profundamente disectados.

Existen otras clasificaciones de lagos según al área de investigación en el que sé este trabajando, por ejemplo, en geomorfología los diferencian por su forma y tamaño; desde el punto de vista biológico se les clasifica según la cantidad de organismos y oxígeno libre en el fondo.

Por otro lado, algunas características generales que comúnmente pueden presentar los lagos son capas extensas de carbonato de calcio (carbonato de agua dulce) y depósitos de diatomeas, así como un relieve irregular dentro de la cuenca, el cual esta bajo constante alteración por fuerzas exógenas: intemperismo, erosión, transporte y depósito.

Por otra parte, la sustentación de la biota lacustre depende de la materia nutriente, del oxígeno disuelto, del clima, la profundidad, el tamaño. Por las características mencionadas, los lagos se clasifican en:

Eutrópicos: con poco oxígeno en el fondo y abundante materia nutriente.

Oligotrópicos: con considerable cantidad de oxígeno en el fondo y limitada materia nutriente.

Distrópicos: sin oxígeno en el fondo y poca materia nutriente.

En climas húmedos la mayoría de los lagos tienen salida en forma de ríos o por vía de agua subterránea, pero en climas áridos los lagos desarrollarán dentro de sus cuencas, acumulaciones de evaporitas ya que no tienen salida.

Los lagos con salinidad normal o sin salinidad difieren de las cuencas oceánicas en los siguientes factores:

1. La baja salinidad permite una baja floculación de partículas de arcilla, a diferencia de las cuencas marinas, en los que se origina una laminación muy distinta.
2. Olas bajas, energía de marea y corrientes débiles indican menor erosión y sedimentación. Variaciones en las estaciones de tiempo en el influjo de sedimentos puede producir ciclos anuales en sedimentos lacustres.
3. La circulación limitada de agua facilita el desarrollo de capas causadas por densidad, por ejemplo, hay termoclina entre capas de agua densas del fondo y menos densas en la superficie, esto resulta en una limitada oxidación para el

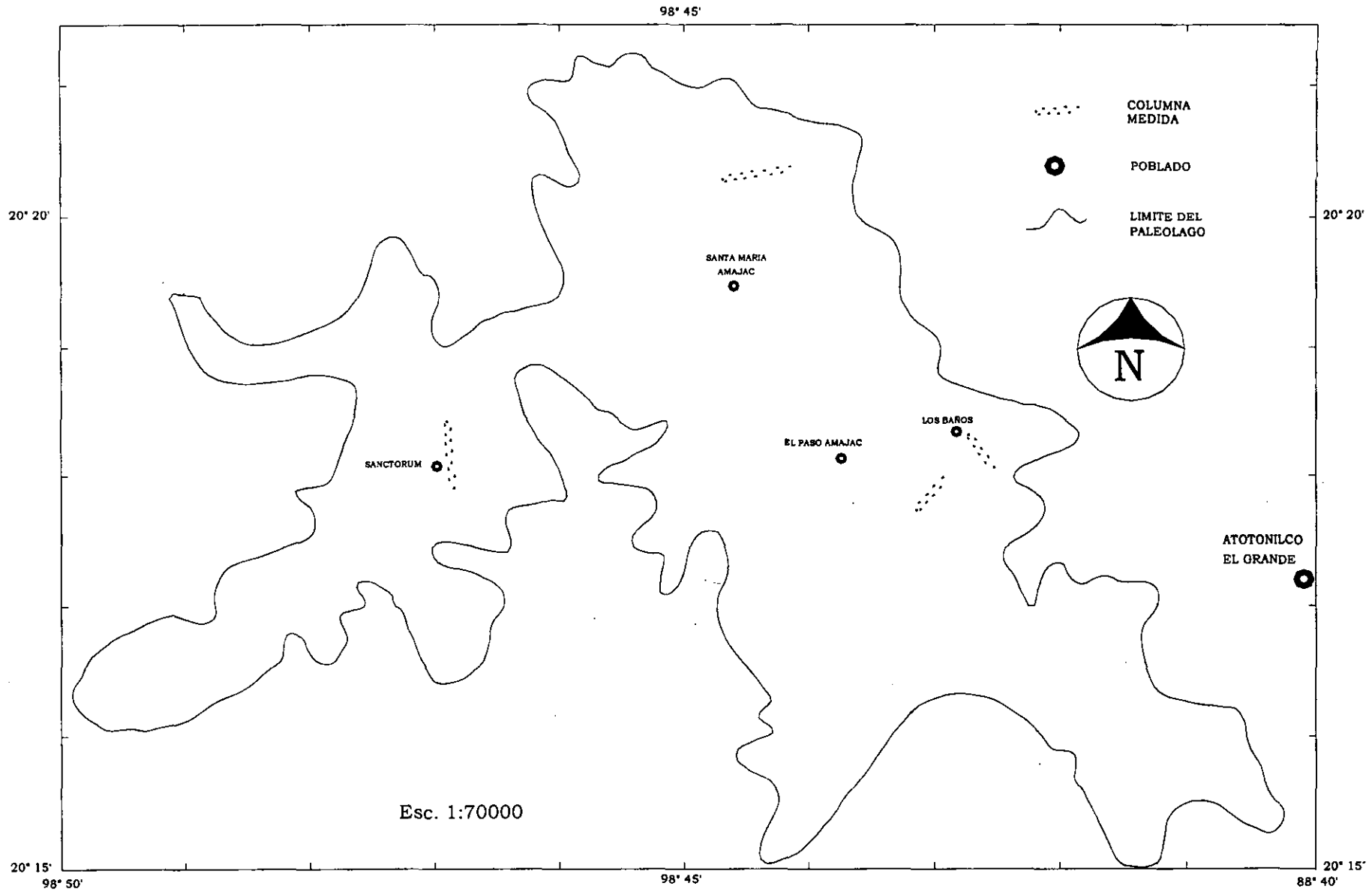


Figura 11. Mapa del Paleolago en Máxima Inundación

material orgánico y en la preservación de sedimentos ricos en materia orgánica en las partes profundas de los lagos.

4. El agua de río tendrá aproximadamente la misma densidad que el agua de lago y además se mezcla bien y ocurre rápidamente el depósito de los sedimentos. El agua de río fría (glaciar) o agua de río con mucha materia suspendida será más pesada que el agua de lago y formará corrientes turbidíticas en el fondo.
5. Los sedimentos de lago presentan diferencias significativas de fauna con respecto de las cuencas marinas. La geoquímica de los sedimentos de lago y la composición de evaporitas también son diferentes de los sedimentos marinos.

V.2 INFORMACIÓN GENERAL

La secuencia sedimentaria que se estudió, consiste de sedimentos clásticos en donde se diferencian varios tipos de rocas que van de conglomerados, areniscas, limolitas, lutitas y tobas, con un contenido fosilífero alto en ciertas partes de la secuencia, principalmente en los horizontes de lutitas y limolitas. Estos sedimentos se encuentran distribuidos, dentro de un valle circundado por una topografía de sierras constituidas por calizas de la Formación el Abra, de andesitas y riolitas del Grupo Pachuca; de cerros que corresponden con lutitas de la Formación Soyatal; algunas mesetas de basalto y lomerios como del Conglomerado Amajac.

Este valle cuenta con salida, aporte de agua y terrígenos transportados por las corrientes del Río Amajac el cual cruza de Sureste a Noroeste el valle; en el sector Noreste podemos observar una topografía más abrupta aún, en donde se reconoce que las calizas de la Formación El Abra han sufrido varios eventos tectónicos que originaron fallas inversas, anticlinales y posteriormente deslizamientos de roca; el río Amajac ha formado meandros en esta secuencia. Otro tipo de salida y aporte al valle es por medio de varios manantiales que existen en la zona estudiada algunas son de aguas termales y otras de agua fría.

Como una consecuencia de la intensa erosión que ha sufrido este lugar debido a la topografía, el clima, el tamaño de las partículas sedimentarias y a el bajo nivel de compactación, la mayoría de los sedimentos lacustres han sido removidos y sólo han quedado algunos relictos aislados, sobre todo de los sedimentos más finos; estos afloramientos se encuentran hacia el Oeste de la zona de estudio.

La morfología que presentan estos depósitos lacustres de manera general, es forma lenticular que han sido labrados por los arroyos intermitentes que fluyen por la topografía de las Sierras aledañas, las cuales se ha calculado que tienen en algunos casos 200 m por arriba del nivel actual, esto con base en la referencia de las mesetas de basaltos, bajo las cuales el relleno aluvial alcanza cotas de 1940 a 1960 msnm, mientras que los sitios de menor relieve se encuentran entre las cotas 1680 y 1760 msnm.

Otra característica morfológica que se observa es la erosión diferencial que se ha desarrollado debido a los diferentes tipos de material que presenta la secuencia, lo

que se traduce en una resistencia a la erosión diferente en cada tipo de roca. Las formas que se observan son lomeríos y pequeñas mesetas de tobas retrabajadas. Estas lomas se localizan en el poblado de El Paso de Amajac hacia el Noroeste y Este, se caracterizan por ser alargadas en dirección predominantemente Noroeste-Sureste, con formas redondeadas, debido a que en buena parte de esta área, como se mencionó anteriormente, la roca es una toba retrabajada que protege a las rocas clásticas inferiores y que por su carácter litológico no permite el rápido desarrollo de drenaje.

Las lomas que se localizan más al Sureste del poblado de El Paso Amajac y hasta las cercanías del poblado de Santana, presentan formas más abruptas debido a que la erosión ha modelado las capas clásticas constituidas por conglomerados, arcillas y limos; materiales que ofrecen menor erosión y que por tanto han permitido el desarrollo de drenaje dendrítico en todas direcciones.

V.3 LA SEDIMENTACIÓN EN EL LAGO

Los sedimentos lacustres poseen una composición litológica muy variada, probablemente la mayor de un tipo de ambiente determinado. Lo que a continuación se presentará será la interpretación que se ha obtenido del análisis de los elementos necesarios para proponer un modelo de facies los cuales son: la geometría de los depósitos lacustres y de los medios relacionados con ellos, el estudio de la litología y asociaciones de litofacies, las estructuras sedimentarias, los fósiles y finalmente la deducción y el estudio de la distribución de las paleocorrientes.

Refiriéndonos ahora a la sedimentación del lago, estará controlada por los procesos físicos, químicos y biológicos que intervienen en ellos. Los cuales a su vez dependen de los factores que controlan la dinámica lacustre como son la geometría del lago, el cual se expresará bajo los parámetros morfométricos siguientes: Área (a), volumen (V), profundidad máxima (Zmx) y media (Zmd), longitud de la costa, etc. Los cuales condicionarán la influencia de otros factores y procesos como son: posibilidad de estratificación de masas de agua, importancia de las corrientes y del oleaje y desarrollo de la vegetación.

La influencia del **clima** se manifiesta de diferentes formas, por ejemplo, controla el ciclo dinámico o sea la circulación vertical que dependerá de la variación de perfil de densidades que, a su vez, depende en muchos casos de los cambios de temperatura inducidos por las variaciones climáticas. Un lago persiste porque en un momento dado el agua que llega a él procede de fuentes más o menos diversas (lluvias, aportes del drenaje superficial o subterráneo), excede a las pérdidas (cursos afluentes, evaporación). Por lo tanto, el balance entre entradas y salidas controla el nivel del agua. Las fluctuaciones de éste se producen en diversas escalas, muchas de ellas en relación con el clima o por cambios de éste.

Son también de gran importancia las propiedades geoquímicas y patrones de circulación de las aguas de los lagos que establecen las condiciones geoquímicas reinantes en el mismo, de acuerdo a las condiciones climáticas en el área.

Las diferentes concentraciones de iones disueltos en el agua serán la principal propiedad geoquímica de estos ambientes ya que no solamente nos representará el tipo de depósito que se acumulará (clástico y no clástico), sino que será de vital importancia para la sobrevivencia de los organismos que habiten el lago, principalmente en las plantas las que a su vez regularán la cantidad de oxígeno libre; lo que da lugar a condiciones anóxicas en ciertas situaciones.

Un lago salino, es aquel que sus aguas contienen mas de 5 ppm¹ de solutos disueltos (máxima salinidad tolerable para la mayoría de los organismos dulce-acuícolos). Cuando estas condiciones son excedidas, principalmente en zonas áridas o semiáridas, se produce la precipitación de minerales evaporíticos; los cuales pueden ser diferentes tipos de carbonatos, sulfatos, cloruros, cloratos, nitratos y bromuros. Todos estos minerales constituyen lo que se conoce como sedimentos no clásticos lacustres, y su precipitación depende únicamente de material disuelto en el agua y la concentración en la que se encuentra. Debido a que estos lagos salinos se encuentran en zonas de escasa precipitación pluvial, el agua es suministrada por corrientes subterráneas.

Las condiciones climáticas no solo controlarán la salinidad del agua, sino que también la temperatura de la misma. En forma general, y principalmente en lagos profundos, se producirá una pseudoestratificación de la columna del agua en donde existirá una diferencia de temperaturas entre las aguas más profundas y las superficiales. La zona más somera se le denomina Epilimnión y está caracterizada por sufrir cambios diarios de temperatura, además de presentar la mayor cantidad de oxígeno. Debido a que el Epilimnión es la zona superficial en donde los vientos generan corrientes dentro de la cuenca provocando una circulación que dependiendo del lago, genera fuertes corrientes convectivas de retroalimentación. El límite inferior del Epilimnion está dado por un cambio brusco en la temperatura y marca el principio de la segunda zona denominada Metalimnión; la cual presenta una zona de transición con condiciones mixtas y alternantes hacia la parte más inferior denominada Hipolimnión.

El Hipolimnión se caracteriza por ser la zona más fría, tener escasa circulación de aguas y frecuentemente es deficiente en oxígeno libre, traduciéndose en un ambiente reductor cuando menos en ciertas temporadas. En estas situaciones es sumamente fácil de que se presenten acumulaciones importantes de sedimentos ricos en material orgánico.

En este sentido y de acuerdo en primer lugar a la flora fósil que se ha recolectado dentro de una parte de la secuencia sedimentaria de la Formación Atotonilco El Grande, en la localidad de Sanctorum se ha definido un paleoclima templado subhúmedo lo cual ha permitido la abundancia tanto de la flora como de la fauna dentro de la cuenca que a su vez nos indica que era de agua dulce, lo que permitió la proliferación de peces pequeños, insectos y restos de un vertebrado probablemente un anfibio. En el caso del insecto pertenece al orden Coleóptera, que por sus características morfológicas se le ubica en la familia Meloide, posiblemente perteneciente al género *Epicuta*.

¹ ppm.- partes por millón.

Este clima a su vez permitía que en el ambiente se tuviera una alta precipitación pluvial, que junto con el aporte fluvial que llegaba a la cuenca de depósito, éstos fueran las principales fuentes de aporte a la cuenca.

Sin embargo, debido al vulcanismo existente en lugares aledaños a la cuenca, fue causa de que las condiciones climáticas tuvieran una variación considerable, con una tendencia a hacerse más árida o seca, y como consecuencia un menor aporte de agua y mayor evaporación, como lo evidencian la importante influencia volcánica en los sedimentos y algunos horizontes de yeso y de material piroclástico dentro de la secuencia, principalmente en la localidad de Sanctorum.

Otra evidencia que nos hace pensar en el cambio climático de la cuenca es la posición en la que se encuentran las facies de limolita I, las cuales proceden de material volcánico asociado a acumulaciones de cenizas de caída libre, que se depositaron en condiciones subaéreas cuando seguramente el nivel de la lámina de agua había descendido considerablemente.

Si nos enfocamos ahora a la importancia relativa de algunos procesos con respecto a otros en un lago determinado, se reflejará el tipo de sedimentos que en él se origina y su distribución. Se considera cuatro tipos principales de sedimentos que se originan en lagos:

- 1) Sedimentos mecánicos o clásticos.
- 2) Sedimentos de origen químico (carbonatos, sales).
- 3) Sedimentos bioquímicos, que comprenden los depósitos formados por la actividad fisiológica de organismos.
- 4) Sedimentos orgánicos, incluyendo los sedimentos formados por partes minerales de organismos y los constituidos por partes inestables de organismos (materia orgánica).

Los primeros predominarán en los lagos donde los factores físicos y los aportes externos sean cuantitativamente importantes, como es nuestro caso con los depósitos sedimentarios del paleolago en donde los sedimentos son predominantemente clásticos, debido al tipo de cuenca y a las condiciones externas de ella lo cual permitió este tipo de acumulación. Los segundos se originarán preferentemente en aquellos lagos donde los procesos químicos predominan y los de los grupos 3 y 4 abundarán en aquellos lagos donde los procesos biológicos predominen sobre los físicos y los químicos.

Podemos decir, sin embargo que dentro de la cuenca del Paleolago de Amajac existe un porcentaje mínimo de sedimentos orgánicos, que está representados por la acumulación de abundantes diatomeas en una parte de la cuenca, ubicada en la localidad de Sanctorum.

Por el tipo de sedimentos que predominan en la cuenca, podemos ver reflejados en principio, los procesos físicos del sistema lacustre.

Considerando ahora la granulometría del material detrítico del paleolago, la cual como una característica de este ambiente, es muy variada y va desde gravas hasta arcillas, no obstante predominan los tamaños de arena media, mientras los más gruesos se presentan en las orillas del lago. Estos materiales pueden tener un origen diverso:

- ⌘ Material introducido por una corriente fluvial.
- ⌘ material erosionado de la costa.
- ⌘ material introducido por acción eólica.

Cuando el material es introducido por corrientes fluviales, su tamaño dependerá de la capacidad de transporte de esta, su extensión no es muy amplia, quedando las gravas en zonas muy someras formando playas y disminuye el tamaño de las partículas hacia el centro del lago; esto es lo que están representando las facies de conglomerado D y E, en donde su tamaño va desde las arenas hasta los bloques y que se ve que han sufrido cierto transporte por sus clastos subredondeados, lo que indica que la corriente fluvial tenía gran capacidad de transporte de sedimentos que acarrea desde sitios no muy lejos de la fuente.

Cuando los sedimentos son producto de la erosión de la costa, su distribución es la misma que en el caso anterior, solo que la textura del material es diferente, como las facies de conglomerado G, ya que éste es muy anguloso; también las facies de tobas retrabajadas fueron arrastradas a la cuenca de depósito después de haber sido depositadas por factores eólicos en las laderas o costas del lago. En lamina delgada estas tobas retrabajadas nos muestran algunos cristales rotos como evidencia del transporte que sufrieron.

En el caso de que el material sea de origen eólico, su tamaño es muy uniforme y su textura también, por lo general sus partículas son finas. Aquí tenemos como ejemplo las facies de toba I que se depositaron inmediatamente después de ser expulsadas; fueron depositadas directamente en la cuenca y evidencia de ello son los estratos en los que se encuentra, así mismo en lámina delgada observamos algunas tobas vítreas las cuales se enfriaron rápidamente y que no tuvieron tiempo de cristalizar.

La distribución de los sedimentos (de los diferentes tamaños de partículas), refleja condiciones de flujo en el lago, así podemos ver la reacción de los sedimentos a factores físicos como son las mareas y las corrientes. El modo y lugar de depósito de las partículas es impuesto por estos factores.

Se considera que dentro de la cuenca, las condiciones de flujo eran muy tranquilas, lo que permitió que los sedimentos tuvieran una distribución uniforme, encontrando los más gruesos en la zona marginal de la cuenca y los más finos hacia el centro de ésta, esto fue posterior a la depositación de las facies de conglomerado A y B, los cuales pertenecen a las primeras etapas de sedimentación, lo cual se interpreta por su posición dentro de la secuencia lacustre, que es hacia la base, lo que indica que se depositaron por medio fluvial muy poco tiempo después de que se cerrara la depresión; bien pudo deberse a un

alto aporte de material detrítico que llegaba a la cuenca y que al paso del tiempo no volvió a ocurrir otro evento de esta magnitud.

La sedimentación clástica en los ambientes lacustres presenta una distribución uniforme en toda la cuenca; como característica fundamental se puede apreciar una distribución granulométrica con cambio uniforme, en donde el tamaño de las partículas tiende a disminuir de la parte externa de la cuenca hacia el centro de la misma.

Los procesos sedimentarios en los lagos son fuertemente influenciados por factores físicos; en los lagos de grandes dimensiones el oleaje y las corrientes dominan la actividad de los sedimentos, mientras que en los pequeños lagos la influencia de un río y la circulación que esté provoca es la que domina.

Para el caso del Paleolago de Amajac las corrientes fluviales son las que condicionaban la sedimentación.

V.4 EL MODELO DE FACIES

Como ya se mencionó antes el modelo de facies que se propone para el Paleolago de Amajac, consiste de los siguientes aspectos que son:

La geometría tanto de los depósitos lacustres y de los medios relacionados con ellos dado que puede proporcionar una idea de las dimensiones del antiguo lago, sobre todo en lo que se refiere a la extensión y forma, así como del comportamiento del área de deposición (subsistencia, fluctuaciones del nivel del agua, etc.). Las relaciones estratigráficas regionales proporcionarán datos sobre la constitución de áreas fuente y comportamiento tectónico del área.

El estudio de la litología y asociaciones de litofacies informa sobre el tipo de sedimentación existente y la importancia de los diversos procesos deposicionales, incluso diagenéticos. En el área de estudio, se observa que las rocas y los sedimentos provienen de fuentes muy cercanas a la cuenca, estas fuentes son las calizas de la Formación el Abra y de la Tamabra, de las andesitas y riolitas del grupo Pachuca principalmente; se puede observar también que la mineralogía que presentan las rocas se debe al aporte que tuvieron por la influencia volcánica.

Las estructuras sedimentarias y el estudio detallado de las secuencias estratificadas, nos han proporcionado datos sobre el comportamiento físico en un punto concreto o de una gran área del lago en un momento dado (presencia de grietas de desecación, estructuras de corriente y turbiditas por mencionar algunas). El estudio de las estructuras nos ha mostrado principalmente los cambios en la dirección de la corriente, forma de deposición de los sedimentos y condiciones subaéreas de los sedimentos

Los fósiles estudiados proporcionan información paleoecológica de gran interés (existencia de fondos anóxicos y salinidad). El estudio de los organismos lacustres fósiles se realizó con sumo cuidado, así, se determinaron grupos de organismos que hoy día son típicamente fluviales, pero en otros tiempos tuvieron hábitats lacustres; algunos organismos reportados en sedimentos clásticos de aguas dulces, como ciertos anfibios (ranas) que habitan en aguas de hasta 5% de salinidad o más, fueron identificados en la secuencia de grano fino.

El tipo y la abundancia de la biota en el ecosistema lacustre depende de las condiciones del medio y del equilibrio ecológico entre las distintas especies del habitat. Normalmente las aguas someras son habitadas por moluscos y crustáceos, así como por las plantas; en las partes profundas habitan los peces y en la superficie, flota el plancton constituido fundamentalmente por algas. Las plantas intervienen en la acumulación de sedimentos de aguas someras y provocan la precipitación del carbonato de calcio.

La fauna lacustre está representada en el plancton, el necton y el bentos. Las especies bentónicas son escasas en los fondos turbulentos expuestos a la acción de intensas olas y corrientes. Los animales con conchas forman el carbonato de calcio disuelto y sus restos adicionan materia orgánica en el fondo. Los animales bentónicos con conchas se caracterizan por poseer conchas grandes y gruesas si viven en el litoral o cerca de éste, y conchas más pequeñas y finas si habitan en las porciones más profundas del lago.

Algunos organismos nunca han vivido en el medio lacustre; entre éstos se encuentran los braquiópodos, corales, cefalópodos, equinodermos y pterópodos; otros organismos, como algunos gasterópodos y pelecípodos, se conocen en los sedimentos lacustres desde el Paleozoico Medio. Por otra parte, además de los peces lacustres típicos, en raras ocasiones algunos peces típicamente marinos, como los tiburones, se han adaptado al medio lacustre.

Los lagos someros (charcas y lagunas) son de aguas estancadas, en ellas proliferan las plantas que invaden su superficie y fondo de manera inexorable.

En este sentido retomando el análisis y asociación de facies que se presento en el capitulo anterior; se puede definir las zonas marginales, y más profundas de la cuenca en cuestión, sin dejar de considerar el análisis de estructuras sedimentarias y la geometría del Paleolago, así como el estudio previo de fósiles colectados dentro de la secuencia.

V.5 SEDIMENTACIÓN EN ZONAS MARGINALES. DELTAS LACUSTRES

Las áreas marginales donde tiene lugar principalmente la sedimentación de materiales detríticos son las cercanas a las desembocaduras de ríos (playas, spits y barreras asociadas a deltas). En algunos grandes lagos, en las zonas costeras pueden desarrollar condiciones litorales semejantes a las de mares sin mareas, con dominio de oleaje, incluso con la formación de estructuras de tipo hummocky y estratificación cruzada.

Los materiales transportados por los ríos se depositan en forma diversa, en función de la diferencia de densidad entre el agua del lago y la del río. En algunos casos si el agua del río es mas densa que la del lago, la formación de deltas puede quedar inhibida o disminuida, siendo la mayor parte del sedimento transportado a zonas mas profundas del lago. En los lagos se encuentran dos tipos fundamentales de deltas: los de tipo Gilbert y los deltas de dominio fluvial, con barras de desembocadura bien desarrollada similares a los marinos. Los deltas de tipo Gilbert se caracterizan por estar constituidos por sedimentos de grano grueso, que suelen presentar estratificación cruzada de muy gran escala, con foresets de hasta mas de 10 m de altura, y acostumbran a presentar abundantes estructuras de deformación debidas a la fuerte pendiente de los foresets (en algún caso mas de 28°).

Los deltas de dominio fluvial con secuencias de barras de desembocadura bien desarrollada, oscilan entre 2 y 14 m de potencia. En áreas de alto relieve o lagos con vertiente escarpadas pueden existir abanicos aluviales que construyan aparatos deltaicos (fan-deltas), a veces de tipo Gilbert.

En la secuencia lacustre de la Formación Atotonilco El Grande, se encuentran bien diferenciadas las zonas marginales del Paleolago, de tal manera que nos muestran la existencia de una planicie de inundación, que debido a las fluctuaciones era periódicamente inundada, así mismo las facies de conglomerado A y B formaron en principio un delta principal del paleolago y que por sus características puede considerarse como de tipo Gilbert, posteriormente conforme avanzaba la sedimentación se formaron algunos otros de menores dimensiones.

Por otra parte, las estructuras de sedimentación muestran en algunos casos la exposición subaérea a la que eran sometidos los sedimentos y que como consecuencia las variaciones en las direcciones de flujo eran constantes.

Debido a las condiciones cambiantes en la zona marginal del lago, no hubo preservación de fauna, solo de flora aunque en menor cantidad si lo comparamos con las zonas dístales del lago. A esta zona marginal pertenecen las columnas que fueron medidas en Los Baños y El Paso Amajac, Hidalgo.

V.6 LA SEDIMENTACION DETRÍTICA EN ZONAS LACUSTRES PROFUNDAS

En la zona mas profunda del Paleolago de Amajac, la sedimentación detrítica se efectuó principalmente por decantación. La distribución y acumulación de margas, limolitas y lutitas poco consolidadas están particularmente influenciados por la morfología del fondo y por la estratificación de las masas de agua.

La sedimentación de materiales gruesos en zonas profundas del Paleolago y relativamente alejadas de la zona marginal pueden deberse a la existencia de flujos de fondo, corrientes de turbidez y deslizamientos subacuáticos (slumps). Las corrientes de densidad, responsables de algún flujo de fondo, obedecen a un exceso de turbidez (o de materiales en suspensión), pero difieren de las corrientes de turbidez en que son de mas larga efectividad y en que su origen se debe a un contraste de temperaturas. Los sistemas de flujo de fondo permiten el desarrollo

de abanicos subacuáticos en zonas relacionadas con desembocaduras, similares en sus características a los abanicos submarinos.

Los sedimentos limosos y margas calcáreas son los depósitos mas abundantes de la parte profunda del Paleolago de Amajac, pudiendo gradar a depósitos orgánicos (diatomeáceas).

La naturaleza del agua profunda, ligada al tipo de lago, influye en la historia post-deposicional de los sedimentos. Bajo condiciones reductoras, en los sedimentos se almacena un alto contenido de materia orgánica sobre todo las rocas que presentan laminación, la cual distorciónada por el eventual escape de gases como es el caso de la localidad de Sanctorum.

Bajo condiciones oxidantes, puede abundar la fauna bentónica y tiene lugar la bioturbación, debido a ésto, en la localidad de Santa María Amajac se encuentran solamente horadaciones e ignofósiles.

VI. CONCLUSIONES

Las características sedimentológicas y estratigráficas que presenta la secuencia lacustre de la Formación Atotonilco El Grande son las típicas de una secuencia lacustre de agua dulce; las variaciones litológicas van desde conglomerados, grauwacas líticas, arcosas, limolitas, lutitas limosas, margas y tobas, en donde se puede apreciar, también diferencias en su textura, forma de los estratos y tonos de color; variaciones que indican condiciones diferentes en el depósito y en el transporte de los sedimentos; así mismo se observan estructuras sedimentarias comunes de ambiente lacustre con contenido fósil típico, el cual es abundante en algunas zonas de dicha secuencia.

Se midieron cuatro columnas estratigráficas que permitieron conocer el espesor total de la secuencia, que es de 151.3 m; las relaciones estratigráficas que muestra son las siguientes: sobreyace discordantemente a las formaciones El Abra, Tamabra y Soyatal, así como también al Grupo Pachuca y al Conglomerado Amajac, por lo que la Formación Atotonilco El Grande es más joven, pero más antigua que las coladas de basaltos a las que subyace también discordantemente.

Las columnas muestran variaciones litológicas producto de las intercalaciones de facies, ocasionadas por la dinámica del medio lacustre, influenciada por corrientes fluviales permanentes e intermitentes.

Las características geomorfológicas del Paleolago de Amajac son contrastantes, en primer lugar destaca su morfología, que corresponde con un valle circundado por una topografía de sierras de calizas de la Formación El Abra y Tamabra, de andesitas y riolitas del Grupo Pachuca; de cerros constituidos por lutitas de la Formación Soyatal y lomeríos formados por el Conglomerado Amajac.

En ese relieve formado y modelado por los eventos tectónicos, sedimentológicos y volcánicos que afectaron el área, se formó una cuenca endorreica en donde se acumularon los sedimentos de la Formación Atotonilco El Grande. Debido al cierre temporal de la cuenca. Se formó un lago entre montañas cuya superficie aproximada en tiempos de máxima inundación corresponde con 80500 m².

Las facies dominantes que se reconocieron dentro de la secuencia lacustre son siete, las cuales presentan las siguientes características generales:

- I. Facies de conglomerado: Presenta color ocre por alteración, los clastos son de andesita en su mayoría, contiene también riolitas, tobas y calizas en menor proporción; el tamaño de grano va de gravas gruesas, cantos y hasta bloques, se encuentran medianamente compactados con matriz arenosa y en ocasiones cementada por calcita, se presentan formando paleocanales. Como estructuras sedimentarias presenta laminación cruzada y gradación normal.
- II. Facies de arenisca: Son de color negro por intemperismo y al fresco son de color verde o gris, el tamaño de las partículas varía de arenas gruesas a arenas finas; presenta laminación, laminación cruzada, laminación convoluta,

gradación normal, grietas de desecación y gotas de lluvia. Los estratos son tabulares con espesores que van de 3 a 40 cm, presenta varios niveles con abundantes fósiles de hojas.

- III. Facies de limolita I: Es una potente secuencia de depósitos clásticos con textura limosa influenciada de manera importante por material volcánico, los estratos varían de 0.5 a 5 m de espesor. El color de la roca varía de tonos crema a lila y verde pálido, presenta una gran cantidad de lentes conglomeraticos y se encuentra intensamente erosionada.
- IV. Facies de limolita II. Son de color gris al fresco y crema al intemperismo, de textura limosa samítica con aspecto lodoso, e importante influencia volcánica, contiene ignofósiles y horadaciones. Se presenta en estratos de 60 cm hasta 1.5 m de espesor. Esta facies cambia a facies arenosas.
- V. Facies de lutita limosa: Son de color crema al intemperismo y gris al fresco, de aspecto lodoso, con abundantes fósiles de hojas; los estratos son delgados, con laminación y laminación cruzada. Se encuentra bien consolidada y contiene algunos horizontes de carbón y otros con concreciones de caliza arenosa.
- VI. Facies de lutita: Es una secuencia rítmica de tonos crema a amarillo ocre, con textura epiclástica samítica y pelítica, se presenta finamente laminado, con espesores de estratos que varían de 1 a 3 cm. Las estructuras comunes típicas de esta facies son laminación y laminación convoluta; presenta un alto contenido fósil de hojas, peces y gran cantidad de diatomeas.
- VII. Facies de tobas: Son de color gris al fresco y crema al intemperismo, los estratos tienen espesores que van de 3 a 10 cm, aunque pueden llegar hasta 40 cm, presentan en algunos estratos calcos de hojas. Dentro de la secuencia se presentan horizontes de tobas retrabajadas lo que indica una importante influencia volcánica.

La flora de la secuencia está compuesta por las Familias Salicaceae, Platanaceae, Fagaceae y Rosaceae; siendo mas abundante y diversa la Familia Fagaceae. Los géneros de las dos primeras, en algunos casos en la actualidad conforman una vegetación de tipo ripario.

Con respecto a la fauna, son abundantes los gasterópodos del género *Planorbis*, ostrácodos, insectos, peces pequeños y restos de vertebrados (probablemente un anfibio). El insecto pertenece al orden Coleóptera, que por sus características morfológicas se le ubica en la familia Meloide, posiblemente perteneciente al género *Epicuta*.

Con base en su abundante biota, se le asigna a la secuencia una edad del Plioceno (Blancano).

De acuerdo a la biota, se interpreta que el paleoclima del Blancano fue templado subhúmedo, el cual influyó en el ciclo dinámico y en la circulación de las aguas del lago, estableciendo así las condiciones geoquímicas y patrones de circulación dominantes, las cuales fueron importantes para la concentración de iones disueltos en el agua, que favorecieron la abundancia y desarrollo de organismos.

De acuerdo a las facies sedimentarias que se definieron dentro de la secuencia lacustre, se puede interpretar un primer evento, cuando aún no se cerraba la cuenca, en donde comienza la acumulación de las facies de conglomerado, los que se ubican en la base de la secuencia lacustre, éste aporte de sedimentos fue introducido a la cuenca por medio fluvial; la estratificación cruzada que presenta indica cambios en la dirección de flujo, la gradación normal a su vez es evidencia de periodos con mucha carga tanto de material como de agua que fluía hacia la cuenca.

Al producirse el cierre de la cuenca ocasionado por una avalancha de materiales desprendida de las paredes escarpadas, del cañón ubicado al noroeste del poblado Doñana, se obstruyó temporalmente el cauce del Río Amajac y comenzó la acumulación de las facies de arenisca, limolita II, tobas, lutitas limosas y lutitas, en donde cada una de ellas junto con las estructuras sedimentarias y contenido fósil nos muestran la dinámica que se producía en el lago, la cual era regida principalmente por las pequeñas corrientes producto solamente de las variaciones climáticas estacionales anuales y los cambios de temperatura del agua del lago que variaban durante el día y la noche, así como también por la precipitación pluvial que en ocasiones producía una alta carga hidráulica, que periódicamente llegaba a cubrir la planicie de inundación.

El alto contenido fósil que se encuentra principalmente en la facies de lutita y lutita limosa indican que las condiciones geoquímicas en esa parte específica del lago eran adecuadas para la proliferación de estos organismos. Los restos de organismos que se depositaban en el fondo del lago se cubrían rápidamente por sedimentos favoreciendo su preservación.

En uno de los periodos de mayor carga hidráulica, por causa de gran precipitación pluvial y deslizamientos de gravedad, comenzaron a ser removidos los escombros de la avalancha, situación que llegó a su punto crítico cuando al colmatarse de sedimentos la zona del embalse, el agua comenzó a desbordarse y a erosionar a mayor velocidad los depósitos de avalancha y los sedimentos del lago; terminando con la vida del lago en donde el nivel de agua fue descendiendo hasta desaparecer y originar nuevamente una cuenca fluvial.

BIBLIOGRAFIA

Arche, A., 1992 Sedimentología. Vol II. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, España; Pag. 13 - 47 y 219 - 271.

A.E. Adams, W.S. Mackenzie y C. Guilford., 1997 Atlas de Rocas Sedimentarias. Masson, S.A.

Alarcon Parra S., 1998 Estudio Geológico Efectuado para determinar las Causas que Provocan la Inestabilidad de las Laderas del Cerro donde se Asienta la Población de Metztlán. Estado de Hidalgo. Tesis de Licenciatura, F.I., UNAM.

Aguilar Arellano F.J., y Ortiz Martínez E.L., 2000 Estudio Paleocológico de la Flora Pliocénica de Santa María Amajac, Hidalgo: Inferencia del Paleoclima y de la Paleocomunidad. Tesis de Licenciatura F.I., UNAM:

Barceló Duarte; 1994 Apuntes de Sedimentología inédito.

Beltran Romero F. y Luna Gómez P., 1994 Estudio Geológico de la Región de Santa María Amajac, Municipio de Atotonilco El Grande, Estado de Hidalgo. Tesis de Licenciatura F.I., UNAM.

Córdoba Diego A., Lugo Hubp Margarita., 1991 Bibliografía Geológica Preliminar del Estado de Hidalgo.

Corrales Zarauza I., Rosell Sunuy J., Sanchez de la Torre L. M., Vera Torres J. A., Vilas Minondo L., 1977 Estratigrafía. Editorial Rueda. Pag. 373 - 380.

Carta Geológica de México, 1968 Hoja Pachuca 14Q-e(11). Serie de 1:100 000. Instituto de Geología, UNAM. Anexo Explicativo.

Carta Topográfica Actopan F14D71 1:50 000, Hidalgo; INEGI.

Consejo de Recursos Minerales, 1992 Monografía Geológico-Minera del Estado de Hidalgo.

Foucault A. y Raoult Jean-François; 1985 Diccionario de Geología. Masson

Hernandez Treviño J.T., Hernandez Bernal M. Del S., 1991 Evolución Geológica de la Región de Metztlán / Zacualtipan, Estados de Hidalgo y Veracruz. Tesis de Licenciatura F.I. UNAM.

Huang Walter T., 1968 Petrológica. Editorial Hispano-Americano. Pag. 239 – 391.

Quintas Caballero F.J., 1989 Estratigrafía y Sedimentología. Editorial Pueblo y Educación.

Reading H. G., 1986 Sedimentary Environments and Facies. Blackwell Scientific Publications. Pag. 63 – 94.

Reineck H. E., Singh I. B., 1980 Depositional Sedimentary Environments. Springer – Verlag. Pag. 241 – 255.

Síntesis Geográfica del Estado de Hidalgo, 1998. INEGI.

A. Saez y O. Riba, 1986 Depósitos Aluviales y Lacustres Paleogenos del Margen Pirenaico Catalan de la Cuenca del Ebro. XI Congreso Español de Sedimentología. Guía de Excursiones; Departamento de Estratigrafía i Geología Histórica, Universitat de Barcelona. Pag. 6.1 – 6.29.

Geyne, et. Al 1963 Rocas Sedimentarias y Volcánicas Terciarias. Consejo de Recursos Naturales no Renovables, Pub. 5E. 203 pp.

García Arizaga M.T., Lugo Hubp J. y Palacios D., 1996 La Obturación de Valles por Procesos de Ladera: El Origen de la Vega de Metztitlan (México). IV Reunión Geomorfologica, Sociedad Española de Geomorfología.

Kenneth Segerstrom, 1961 Geología del Suroeste del Estado de Hidalgo y del Noreste del Estado de México. Boletín de la Asociación Mexicana de Geología del Petróleo. Num. 3 y 4.

Karabiyikoğlu M., Kuzucuoğlu C., Fontugne M, Kaiser B. y Mouralis D., 18 (1999) Facies and Depositional Sequences of the Late Pleistocene Göçü Shoreline System, Konya Basin, Central Anatoria: Implications for Reconstructing Lake-Level Changes. Quaternary Science Reviews. 593 – 609.

Lugo-Hubp, J.,1990 El Relieve de la República Mexicana. UNAM, Instituto de Geología. Revista, vol. 9, núm. 1. Pag. 82-111.

Ll. Cabrera y F. Colombo, 1986 Las Secuencias de Abanicos Aluviales del Montsant y su Transito a Sucesiones Lacustres Someras (Sistemas de Sacaadei de los Monegros, sector de la Cuenca del Ebro). XI Congreso Español de Sedimentología. Guía de Excursiones; Departamento de Estratigrafía i Geología Histórica, Universitat de Barcelona. Pag. 7.1 – 7.54.

APENDICE PETROGRÁFICO

CLAVE	TEXTURA	M/C	MINERALOGIA	TERRIGENOS	FOSILES	NOMBRE DE LA ROCA
AG2312	clástica de grano de arena media	cementante calcáreo	plagioclasas y cuarzo	frag. de roca redondeados		litarenita calcárea
AG2313	clástica de grano de arena fina	cementante calcáreo	plagioclasas, biotita alterada y vidrio	frag. de roca subangulosos		litarenita calcárea
AG2315	epiclástica psamítica de grano de arena fina	matriz arcillosa > 15%	anfíboles, biotita, feld., plag., clorita, hematita, calcedonia y min. arcillosos.	líticos volcánicos		grauwaca lítica de grano fino sílicea
AGGD	clástica de grano de arena fina	matriz arcillosa > 15%	plagioclasas y vidrio	frag. de roca		grauwaca lítica
AG2318			vidrio 95% de comp. ácida n<B			toba vítrea
AG2414	clástica de grano de arena media	matriz arcillosa > 15%	feld., plag y cuarzo	líticos volcánicos		grauwaca lítica
AGC		cementante calcáreo y reemplazando a los constituyentes	cuarzo, feldespatos	líticos volcánicos		caliza arenosa
AG1022	piroclástica		vidrio 95% de comp. sanidino, cuarzo y plagioclasas	frag. de roca y poméz		toba vítrea pumítica
AG112			esquirlas vítreas poméz, cuarzo y feldespatos	escasos líticos		toba vítrea

AG241			feldespatos calcita secundaria y esquilas abundan- tes de vidreo	líticos		toba vítreo-lítica
AG2411	epiclástica psamítica- pelítica	matriz > 15%	anfíboles, biotita, feld., plag, clorita y min. arcillosos.	líticos volcánicos		contacto entre grauwaca lítica de grano medio y limolita arcillosa
AG2412	clástica de grano de arena media	cementada por sílice	mica cloritizada	frag, de roca		litarenita
AG9211	epiclástica psamítica de grano grueso	matriz arcillosa	cuarzo, feld, plag y vidrio esferulítico	líticos volcánicos baja esfericidad		grauwaca lítica
AG9212	epiclástica psamítica de grano muy fino	cementada por sílice	cuarzo, feld, piroxeno y vidrio esferulítico (arena media)	líticos volcánicos arena fina y redondeados		litarenita volcánica de grano muy fino silicea
AG9213	epiclástica psamítica de de grano fino	cementada por sílice	vidrio porfidico calcita en continuidad óptica	líticos volcánicos		litarenita volcánica de grano fino, calcárea
AG9214	epiclástica psamítica de grano muy fino	matriz arcillosa	feld, plag, anfíboles, biotita, clorita y min. arcillosos	líticos volcánicos		grauwaca lítica de grano fino
AG9219	epiclástica psamítica	cementada por sílice	feld, plag, micas, cuarzo	frag, de roca con microlitos		litarenita

AG102	tamaño de limo pero también arena con mucha calcita		frag, tamaño limo: hornblenda, biotita cuarzo, feld y pómez fracción arena clástica feld, plag, hornblenda, cuarzo, pómez	líticos de andesita	diatomeas	caliza arenosa limosa
AG103	piroclástica		predomina el vidrio (pumita o pómez) cuarzo y feld.	líticos riliticos		toba vítrea (riolítica)
AG9210 AG2413A AG2413B	epiclástica psamítica de grano fino epiclástica psamítica de grano muy fino	escas matriz arcillosa cementada por sílice matriz arcillosa >15%	cuarzo, feld, pómez. cuarzo y feld. anfíboles, biotita, feld, plag, clorita y min. arcillosos	diversos líticos volcánicos diversos líticos volcánicos líticos volcánicos subredondeados	presenta materia carbonosa	litarenita volcánica de grano fino toba lítica de grano fino grauwaca lítica de grano fino
AG104		cementante calcáreo		frag, de roca andesíticos de 1-2mm que predominan sobre las calizas subredondeadas y angulosas		conglomerado calcáreo
AG1121	epiclástica pelítica (tamaño de limo grueso)	matriz arcillosa	calcita radial, feld, (tamaño de arena)		diatomeas lamelibranquios (abundantes pelecipodos)	limolita arenosa calcárea
AG1122	epiclástica pelítica		feld, calcita, pómez y min, arcillosos		diatomeas y pelecipodos	diatomea arcillosa calcárea
AG1123	epiclástica pelítica		feld, calcita, pómez y min. Arcillosos		diatomeas y pelecipodos	diatomea arcillosa calcárea

AG1124	epiclástica psamítica de grano medio a muy grueso	cementante calcáreo	cuarzo, feld, calcita y calcedonia	líticos con textu- ra traquitica (redondeados)		litarenita volcánica
AG1125	epiclástica psamítica muy fino-pelítica		feld, plag y calcita	líticos volcanicos	diatomeas	marga arenosa de grano fino, diatomeacea
AG105		matriz arcillosa	frag, hornblenda, calcita y abundantes esquirlas vítreas		abundantes diatomeas y	arcilla limosa
AG106			min. arcillosos en la parte epiclástica	frag, de roca ande- síticos	en la parte calcárea abundantes pelecipodos	marga fosilifera
AG107			calcita y min. arcillosos			marga
AGS			abundante calcita microcristalina	min, arcillosos, frag, de roca		marga
3S		cementante siliceo tipo calcedonia		frag, de roca		litarenita silicificada
1S			abundantes min. arcillosos		diatomeas y mat. Carbo- nosa	arcilla (no se encuetra lo suficientemente litifi- cada para dar una lutita o limolita)
AG115	tamaño de arena gruesa a media	matriz arcillosa > 15%	feld y cuarzo	frag de roca		grauwaca lítica