



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"**

**Estudio tafonómico de los peces del Paleolago de
Amajac, Hidalgo**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
B I O L O G O**

P R E S E N T A :

RIGOBERTO RODRÍGUEZ BECERRA

DIRECTORA: Dra. Patricia Velasco de León

Adscripción: Carrera de Biología, FES Zaragoza, UNAM.

MÉXICO, D. F.

OCTUBRE DEL 2004.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

- ◆ Muy en especial y con mucho cariño a la Dra. Patricia Velasco, por la gran amistad que me a brindado hasta ahora, además del apoyo y confianza que me a dado desde que inicié a trabajar con ella.
- ◆ A mis sinodales: Dr. Isaías Salgado, M. en C. Ernesto Mendoza, M. en C. Evangelina Galván y M. en C. Dolores Escorza: por los valiosos consejos y aportes para culminar esta tesis.
- ◆ A todos los profesores de la carrera que han sido parte de mi superación, en especial a Magdalena Ordóñez, Alfredo Bueno, David Espinosa y Mercedes Luna, además de profesores, amigos.
- ◆ A Paty Flores, Laura, Angélica, Genaro, Flor, a los “Migueles” y a Aminta, por su amistad y apoyo.
- ◆ A Felipe, Alejandro, Erick, Miriam y Oswaldo, por los momentos agradables que hemos pasado.
- ◆ A Argelia, Erika, Nohemí, que hicieron más feliz mi estancia en el laboratorio, sin olvidar a Enrique y Luz (los mueganitos).
- ◆ A Juanita, Miguel, Peche, Mauricio, Claudia y Karla, sin ustedes y nuestro fútbol, no lo hubiera logrado.
- ◆ A Irma Hernández, Nelly Calderón e Isabel Sánchez por su apoyo.
- ◆ A DGAPA y el apoyo recibido a través del proyecto IN100102-2.

MUY ESPECIALMENTE A:

- ◆ Jaime, por su gran amistad.
- ◆ Lilia, por los momentos que vivimos y la gran amistad que tenemos.
- ◆ Yolanda, por su compañerismo y permitirme ser su amigo.
- ◆ Diana, con cariño por tu gran amistad.
- ◆ Itzel, con mucho cariño por tu apoyo y ser tan especial para mí.

DEDICADO A MI FAMILIA

mis papás:

José Guadalupe Rodríguez y Maria Elena Becerra

mis hermanos:

Miguel, Alfredo, Rogelio, Mary y Gabriel

INDICE

Introducción	.....	2
Antecedentes	.....	6
Sedimentos	.....	10
Zona de estudio	.....	14
Objetivos	.....	17
Hipótesis	.....	17
Método	.....	18
Resultados	.....	22
Discusión	.....	29
Conclusión	.....	34
Bibliografía	.....	35
Anexo	.....	39

INTRODUCCIÓN

La muerte de un organismo es el inicio de un proceso de transformación biológica, física y química, en donde los restos pueden ser reciclados inmediatamente, o bien, pueden ser reducidos en forma gradual, pero en ocasiones no se lleva a cabo ninguno de los dos procesos anteriores y los restos pueden preservarse y llegar a convertirse en fósiles.

Se considera fósil cualquier evidencia directa (conchas, huesos, madera, semillas, hojas, etc.) o indirecta (galerías, coprolitos, pistas de gusanos, depósitos minerales, etc.) de la vida del pasado geológico. Para determinar si se trata de un fósil, se ha fijado una antigüedad de 10 000 años, límite entre el Pleistoceno y el Reciente o entre la prehistoria y la historia (Buitrón, 1989).

Los fósiles son valiosos indicadores estratigráficos, pues constituyen una herramienta imprescindible para conocer la edad relativa de las rocas sedimentarias y, en algunos casos, de las rocas metamórficas que los contienen. Los restos de los organismos conservados en las rocas son la evidencia de la vida del pasado geológico, mostrando el curso de las modificaciones evolutivas de animales y plantas (Buitrón, 1989).

La paleontología es la ciencia que se ocupa del descubrimiento y estudio del registro fósil, para así reconstruir la historia de la vida. El geólogo británico Charles Lyell acuñó el término a partir del griego y significa "ciencia de la vida antigua".

La paleontología se encarga del estudio de los fósiles tratando de interpretar la información que estos nos brindan, pero en ocasiones se tiene que recurrir a otras áreas del conocimiento para determinar la naturaleza de los restos

encontrados, así como para determinar los procesos que ocurrieron durante la muerte y depositación de los organismos hasta llegar a convertirse en fósiles, este paso lo investiga la tafonomía que se define como el estudio de los procesos naturales de preservación y destrucción, aborda directamente el problema de cómo es que los fósiles representan organismos del pasado, patrones evolutivos y eventos biológicos importantes en la historia de la Tierra (Behrensmeyer, 1999).

Elder (1985), en su estudio menciona tres principios básicos para la transferencia de los restos orgánicos de la biosfera a la litósfera:

- 1) A la muerte, la descomposición de moléculas orgánicas es inmediata y es determinada por una degradación enzimática intrínseca dentro de las células y por ataques extracelulares por hongos y/o bacterias.
- 2) Las formas de vida con tejidos duros separados (mineralizados o solo moléculas orgánicas resistentes) pueden desarticularse de acuerdo a la cantidad de energía cinética que sostiene a los elementos del cadáver y que son relativos a la fuerza de los tejidos conectivos que los mantienen juntos.
- 3) La diagénesis seguida del enterramiento en sedimentos es determinada por la bioquímica y geoquímica del microambiente y la cantidad de tiempo antes de que los restos sean removidos del sedimento o de rocas sedimentarias.

El término tafonomía fue acuñado por Efremov en 1940 como: "la ciencia de las leyes del enterramiento", refiriéndose al estudio de los procesos que ocurren entre la muerte y el enterramiento de un organismo, incluyendo causa y manera de la muerte, descomposición, transportación y enterramiento (Dodson, en Wilson,

1988 a). Todos los yacimientos fósiles se inician con asociaciones de vida, que son conocidas como **biocenosis**, los cuales son transformados en una **tanatocenosis** después de la muerte y descomposición. Varios procesos tafonómicos actúan sobre los esqueletos remanentes para crear una **tafocenosis**, la cual es la asociación fósil que finalmente se preserva (Brenchley y Harper, 2002).

Con frecuencia, bajo circunstancias normales de muerte y acumulación paulatina de cadáveres debidas a depredación, enfermedad, accidentes y vejez, los materiales orgánicos son consumidos o destruidos, pero algunos tipos de organismos dejan grandes cantidades de fósiles potenciales. Animales como los ostrácodos y, en el pasado trilobites, mudan sus partes mineralizadas cuando crecen y cada individuo deja muchos esqueletos (Behrensmeyer, 1999).

Generalmente los mejores fósiles son producidos por el enterramiento de organismos vivos mediante catástrofes naturales. La mortalidad en masa típicamente rebasa la capacidad de reciclaje de los carroñeros locales, lo cual da tiempo para el enterramiento de restos más o menos completos (Behrensmeyer, 1999).

Una parte importante dentro del mismo proceso tafonómico es la formación de la roca que rodea a estas evidencias orgánicas, en la actualidad la erupción de volcanes permite hacer observaciones (a pequeña escala) de lo que probablemente ocurrió durante el Plioceno en el Eje Neovolcánico, Riva (1983), menciona en su análisis del volcán Chichonal en Chiapas:

"Debido a las erupciones se acumuló gran cantidad de material volcánico sobre el cauce del Río Sayula y sus afluentes al sur del volcán. Al comenzar la temporada

de lluvias se produjeron grandes avalanchas o corrientes de lodo en diversos puntos del río, aumentando o concentrando mayor cantidad de material en diversos puntos, sobre todo en tres estrechamientos que coinciden con la confluencia de afluentes mayores. Esto produjo el bloqueo del drenaje, propiciando el embalse de gran cantidad de agua (casi 100 millones de m³ en el dique principal solamente), llegando a tirantes de casi 30 m de altura. Al llegar a la capacidad crítica de retención de estos diques o presas naturales, se produjo su ruptura y la consiguiente avenida de agua a altas temperaturas (debido a la existencia de ceniza caliente en toda la zona) y alta velocidad. En el P. H. Peñitas (en construcción), 35 Km agua abajo del último dique, la avenida todavía llegó a temperaturas de 70° C (medida directamente) rebasando 7 m el nivel normal del río en esa fecha, lo que ocasionó la muerte de un operador, quemaduras graves a cuatro más y la inutilización de varias dragas que se encontraban recolectando materiales del cauce del río.”

Este proceso probablemente ocurrió también durante la formación del Eje Neovolcánico y provocó la muerte de los organismos y el cambio de condiciones topográficas y ambientales.

Los cambios topográficos ocasionaron cambios en la red hidrológica cercana a la región, algunos de los cambios incluyeron el cierre de ríos por las avalanchas provocadas, los cuales al no poder seguir su curso normal formaron lagos; por ejemplo, el que abordamos en este estudio y que ahora conocemos como el paleolago de Amajac. Dado que este estudio corresponde a un paleolago, el enfoque para el desarrollo de las investigaciones en este cuerpo acuático, se basa principalmente en las que se han llevado en cuerpos de agua dulce.

ANTECEDENTES

En el caso de estudios tafonómicos acuáticos el más importante ha sido el de Schäfer (1962, en Elder y Smith, 1988) quien hace énfasis en la importancia de observar los procesos de muerte, putrefacción, y enterramiento, además promovió las investigaciones experimentales en paleoecología. Investigó la preservación de los peces del Mar del Norte, y notó que la flotación es respuesta a la producción interna de gas y comentó sobre la pérdida de partes del cuerpo en cadáveres debido a la flotación. Elder (1985), en su estudio hace comentarios de los puntos que se deben tomar en cuenta para desarrollar las investigaciones tafonómicas como son: el tamaño de los peces, la flotabilidad (tiempo que flotan después de su muerte), la presión (se basa en la profundidad de los lagos principalmente) y la temperatura. Algunos otros trabajos detallados sobre la paleoecología de peces fueron realizados por Wilson (1977 y 1978, en Elder y Smith, 1988) en depósitos lacustres de la Columbia Británica, basándose en evidencia climática y geológica.

En México se han realizado trabajos sobre peces dulceacuícolas basados principalmente en análisis taxonómicos, como los de Maldonado (1948 *a*, 1948 *b* y 1949), Álvarez (1966), Becerra *et al.* (2002), Becerra (2003), Rodríguez *et al.* (2002), o bien descripciones del área de estudio Smith *et al.* (1975), Guzmán y Polaco (1995), Guzmán *et al.* (1998), y hasta el momento no se han realizado estudios tafonómicos. De ahí la importancia de este trabajo que aborda un tema que está siendo aceptado en el ámbito mundial debido a la gran cantidad de información que aportan estas investigaciones. En México no existen datos de la región, por lo que este trabajo se realiza con la finalidad de abrir una pequeña brecha que permita seguir con este tipo de estudios, los cuales se pueden

extrapolar a otro tipo de sitios que tengan características físicas similares de fosilización.

El grupo fósil que se va a estudiar con este enfoque tafonómico son los peces recolectados en la Formación de Atotonilco el Grande en la localidad de Sanctorum, Hidalgo (fig. 1). Trabajos previos de estos fósiles son los de Becerra *et al.* (2002) en el que propone, por el análisis de la aleta anal (al revisar 32 peces), que pertenecen al género *Goodea*, y el de Rodríguez *et al.* (2002) que por medio del análisis de otolitos menciona la presencia de seis especies. Lo que da pauta para realizar comparaciones del paleolago de Amajac con lagos actuales que estén habitados por especies del género *Goodea* (altitud, temperatura, profundidad, etc.). Los goodeidos son estrictamente mexicanos, peces cuya distribución se ubica en la Mesa Central con la mayor concentración de especies en la Cuenca del Río Lerma, la mayoría de estas se encuentran en cuerpos de agua en tierras altas (lago de Cuitzeo 1820 msnm, Zirahuén a 2075 msnm y Pátzcuaro 2040 msnm), la excepción a la distribución es el género *Ilyodon* (que se distribuye en altitudes menores) el cual está presente en un área comprendida desde el Estado de Morelos al sureste de la Ciudad de México, hacia el noroeste de Colima y Jalisco alcanzando casi los límites con la costa del Océano Pacífico (Domínguez, 1999).

Domínguez (1999), menciona que los peces pertenecientes a la familia goodeidae, están adaptados a vivir en zonas con características diferentes de vegetación y sustrato, es decir, su modo de vida lo determina su hábitat. Comparando con las

Columna Estratigráfica "Sanctorum".

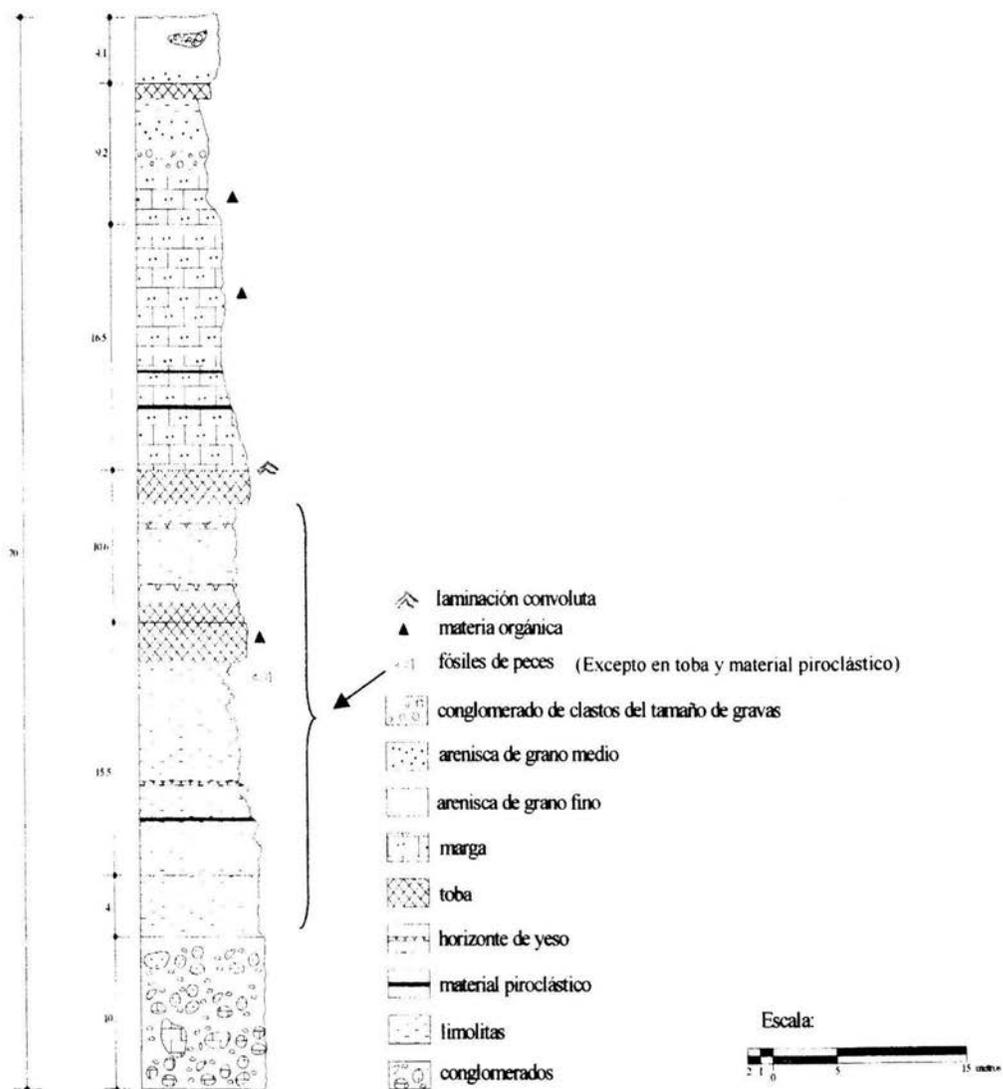


Fig. 1.- El corchete indica la zona en la que se han localizado los peces fósiles a lo largo de la columna. Tomado de Salvador (2001).

características del paleolago, que muestra fondo lodoso, y en el margen existe vegetación acuática, entonces es posible encontrar a las especies que se hayan adaptado a los diferentes tipos de hábitat, de acuerdo a Rodríguez *et al.* (2002), esto fue posible en el Paleolago de Amajac, al encontrar en su estudio a seis especies.

Otros estudios que se han realizado en la zona, corresponden a ostracodos fósiles con los que se han propuesto temperatura y salinidad del paleolago. La relación (Mg/Ca) de las conchas de estos organismos permitió la determinación de la temperatura del paleolago, de esta manera los estudios geoquímicos realizados, mostraron que el rango de temperatura obtenido por un modelo de regresión múltiple fue de 20.64 a 26.85° C (lago de aguas cálidas); mientras que la relación (Sr/Ca) determinó que la salinidad del lago estuvo entre el intervalo de 1150 a 3150 ppm ubicado como un lago dulceacuícola (utilizando la escala de salinidad de Gore, 2000; en Reyes y Vázquez, 2003).

Estos datos se obtuvieron de: *Candona*, *Limnocythere* y *Darwinula*, representados con las siguientes especies: *C. patzcuaro*, *C. caudata*, *L. bradburyi*, *L. itasca* y *D. stevensoni* (Reyes y Vázquez, 2003).

La presencia de varias valvas desarticuladas es un indicador de que la mayoría de ellas fueron acarreadas hasta el lugar en el cual fosilizaron (característica que comparten los géneros *Candona* y *Darwinula*), de esta manera se interpreta que fueron organismos alóctonos, más no así *Limnocythere* del que se encontraron caparazones completos, razón que apoya que era un organismo autóctono (Reyes y Vázquez, 2003).

SEDIMENTOS

En el paleolago los sedimentos predominantes son clásticos, donde los factores físicos y los aportes externos fueron cuantitativamente importantes. Esto permitió que los restos de los organismos, probablemente fueran cubiertos relativamente rápido para impedir la fragmentación de los mismos, pero lo suficientemente despacio para perder sus escamas (en el caso de los peces). El sedimento predominante es fino (lutita) en la parte profunda e incluso en la orilla del lago, lo que mantuvo intactos a los cadáveres y restos vegetales, permitiendo el proceso de permineralización para los vertebrados y la impresión de las hojas.

El sedimento lacustre posee una composición litológica muy variada, probablemente la mayor de un tipo de ambiente determinado. 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 (con todos los parámetros morfométricos: área (a), volumen (V), profundidad máxima (Z_{max}) y media (Z_m), longitud de la costa. También el clima se manifiesta de diferentes formas, ya que controla el ciclo dinámico (la circulación vertical) por la variación de la temperatura, aportes de agua de lluvia, drenaje superficial o subterráneo; además de la circulación del viento (Salvador, 2001).

Al enfocar la importancia relativa de algunos procesos con respecto a otros, se reflejará el tipo de sedimentos que se originan, además de su distribución. Se consideran cuatro tipos principales de sedimentos que se originan en los lagos:

- Sedimentos mecánicos o clásticos
- Sedimentos de origen químico (carbonatos, sales)

- Sedimentos bioquímicos, que comprenden los depósitos formados por la actividad fisiológica de organismos.
- Sedimentos orgánicos, incluyendo los sedimentos formados por partes minerales de organismos y los constituidos por partes inestables de organismos (materia orgánica).

Considerando la granulometría del material detrítico del paleolago ,que va desde gravas hasta arcillas, 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. 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.
- Material erosionado de la costa. Su distribución es la misma que en el caso anterior, solo que la textura del material es diferente, teniendo las facies de conglomerado muy angulosas; en tanto las tobas fueron arrastradas a la cuenca de depósito después de haber sido depositadas por factores eólicos en las laderas o costas del lago (en lámina delgada se observan cristales rotos como evidencia del transporte que sufrieron).
- Material introducido por acción eólica. Su tamaño es muy uniforme y su textura también, por lo general son partículas finas, como ejemplo

tenemos las facies de toba que se depositaron inmediatamente después de haber sido expulsadas (en lámina delgada se ven tobas vítreas que se enfriaron rápidamente y no tuvieron tiempo de cristalizar).

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 y los más finos hacia el centro de ésta (Salvador, 2001).

El fondo de los cuerpos acuáticos varía dependiendo de las características del lugar, si se trata de un medio léntico o de uno lótico; en el caso de los lagos como Zirahuén, Pátzcuaro y Cuitzeo, el fondo está formado principalmente por lodo y materia orgánica o detritos formando un fango muy característico, sin embargo, en el Lago de Zirahuén encontramos áreas donde el fondo está conformado por rocas y troncos, en otras estaciones hay abundante vegetación que cubre a manera de alfombra el fondo del lago, en el caso de Pátzcuaro y Cuitzeo, el fondo es principalmente lodo ya que el azolve es muy agudo en estos cuerpos de agua. En los manantiales y riachuelos pequeños, el fondo es por lo general pedregoso, con algo de vegetación, troncos y hojas (Domínguez, 1999).

Las características mencionadas muestran las condiciones actuales de los cuerpos acuáticos, por lo que podemos extrapolar los mismos a las condiciones que probablemente existían durante el Plioceno en la región, y que actualmente se muestran como rocas sedimentarias que contienen a los fósiles en la zona de estudio.

El factor de tamaño de grano es el más utilizado para la clasificación de las rocas sedimentarias, Tyrrel (1960). Pueden distinguirse cuatro grupos:

- 1.-Rudáceas.- Rocas consistentes principalmente de grava, cantos rodados, guijarros o piedrecillas. Cuando están cementados forman conglomerados y breccias.
- 2.-Arenáceas.- Rocas consistentes principalmente del material del grado de la arena. Los materiales sueltos son arenas, cuando están consolidados forman areniscas, grifts, arcosas, grauvaca, etc.
- 3.-Limosas.- Rocas consistentes principalmente del material de la calidad de aluvión. Aluvión y piedras de aluvión. Esta clase se incluye principalmente ya sea en las clases de arenáceas o argiláceas, pero ocurren en ella varios tipos de roca distintos, y el grupo es merecedor de una designación separada.
Aluviones (limo y limolita).- Ocurren abundantemente como productos de la acción fluvial, lacustre, glacial y aérea. Muchos polvos volcánicos son del grado del aluvión y deben incluirse aquí.
- 4.-Argiláceas.- Las rocas arcillosas, que consisten de los materiales más finos de la degradación de los materiales más finos de las rocas. Polvo, lodo, arcilla, cuando están más o menos no consolidadas, argilitas y lutitas cuando están compactas.

ZONA DE ESTUDIO

Esta área se encuentra localizada en la porción Sur Central del Estado de Hidalgo, a aproximadamente 34 Km al Norte de la Ciudad de Pachuca, está limitada por los paralelos $20^{\circ} 15'$ y $20^{\circ} 23'$ Norte y los meridianos $98^{\circ} 40'$ y $98^{\circ} 49'$ Oeste.

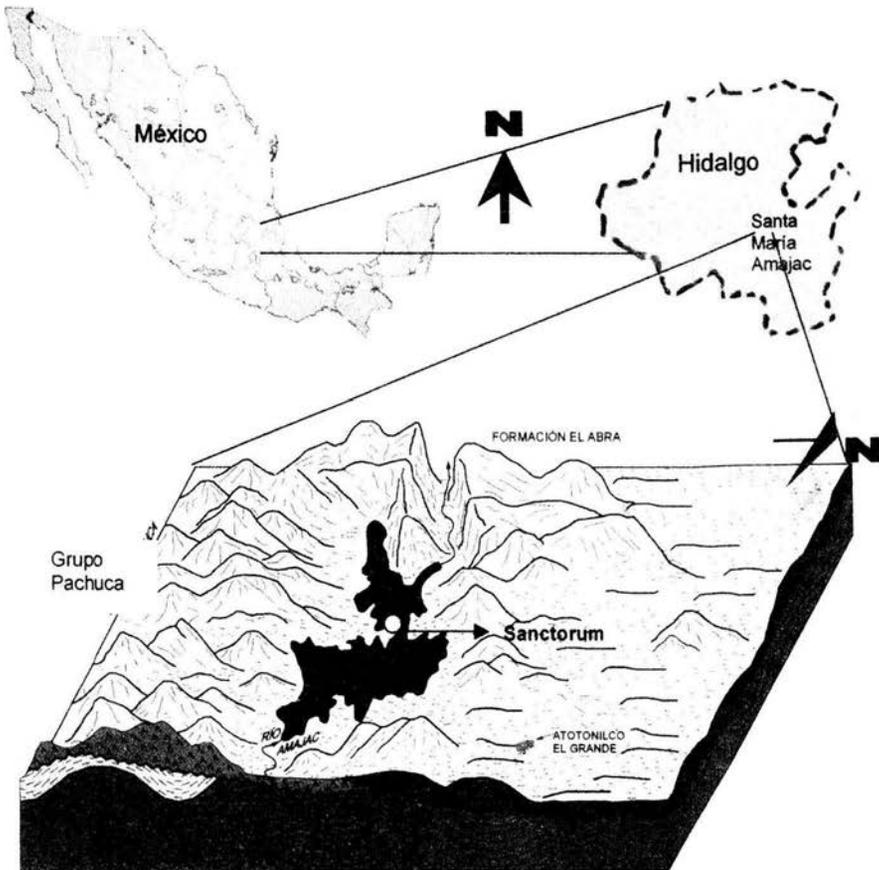


Fig. 2: Zona de estudio con el esquema del Paleolago de Amajac y la localidad donde se han recolectado peces (tomado y modificado de Salvador, 2001).

La litología de la Formación Atotonilco el Grande se formó principalmente de las rocas volcánicas terciarias de la región, y que localmente están intercalados o cubiertos con derrames de basalto. La distribución de esta formación no es continua debido a que la erosión a removido parcial o totalmente gran parte del área.

Las rocas continentales que constituyeron el relleno aluvial sobre el que se modelaron las formas de relieve de Santa María Amajac y Sanctorum se formaron debido a que el vulcanismo que originó a la Sierra de Pachuca (Oligoceno-Mioceno), bloqueó el lado nororiental de dicha sierra, formando una gran cuenca que recibió como relleno el material erosionado de la Sierra de Pachuca y de otras que se localizan más al sur, oriente y norte a fines del Terciario, principios del Cuaternario (Beltrán y Luna, 1994). Esto se ve reflejado en el tipo de cementación en los diferentes estratos que a su vez permitió poca permineralización y endurecimiento de los fósiles.

Con relación a la sedimentación, ésta fue controlada por los procesos físicos, químicos y biológicos típicos de un lago templado al que llegaban sedimentos de un río principal perenne y numerosos arroyos intermitentes de montaña. El lago persistió porque el agua que llegaba a él procedente de fuentes diversas (lluvias, aportes del drenaje superficial o subterráneo) excedía a las pérdidas (evaporación e infiltración). Las fluctuaciones se produjeron en diversas escalas, muchas de ellas en relación con el clima y sus variaciones, lo cual se manifiesta en los contrastes verticales y horizontales de la litología de la secuencia.

De acuerdo a Lugo (1991; en Salvador 2001), 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 (subprovincias Sierras Volcánicas y Planicies del Centro), hacia su parte Norte-Centro.

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 la condición climática, que es gradualmente más húmeda hacia el Sur (Salvador, 2001).

Para entender un poco la geología histórica de la zona se partirá del Oligoceno, cuando 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 (Demon, 1981; en Salvador 2001).

Según Salvador (2001), esto coincidió con la iniciación de una época de vulcanismo activo, que duró desde el Oligoceno tardío hasta el Plioceno temprano, con la acumulación local de varias decenas de metros de espesor de rocas volcánicas. Este proceso, que caracteriza especialmente todo el Mioceno, indudablemente causó grandes y repetidos cambios topográficos y de la red hidrográfica.

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 (Salvador, 2001).

Objetivo General.

A partir del estudio tafonómico de los peces encontrados en la localidad de Sanctorum, proponer la descripción del Paleolago de Amajac, utilizando la información que aportan otros grupos fósiles.

Objetivos Particulares.

- Analizar la relación de la litología de la zona de estudio con respecto a la velocidad de descomposición, por medio de experimentos controlados.
- Determinar que procesos tafonómicos (muerte, enterramiento y putrefacción), en peces, predominaron en el Paleolago.
- Relacionar la información aportada por el registro fósil de peces, plantas y ostrácodos para describir las características generales del Paleolago (profundidad, temperatura y salinidad).

HIPÓTESIS

Si cada yacimiento y grupo taxonómico fósil conservan información y datos de los procesos geológicos y biológicos ocurridos (responsables de su preservación), entonces al estudiarlos y elaborar experimentos que permitan extrapolar los resultados al Plioceno, podemos obtener una descripción detallada del ambiente donde se desarrollaron, por lo que es posible realizar una reconstrucción del mismo.

MÉTODO

- Se realizaron comparaciones entre los fósiles y los organismos actuales (en cuanto a distribución) con las especies que han sido reconocidas (*Goodea sp.* y *Allotoca sp.*). Es decir, se verificó que las especies que han sido reconocidas existan o hayan existido en algún momento en la región, a partir de una investigación bibliográfica.
- Se muestrearon y compararon las diferentes zonas del paleolago (Sanctorum, Los Baños, El Paso Amajac y Santa María Amajac, fig. 3), con el fin de localizar diferentes sitios donde los peces pudieron haber fosilizado.
- Se llevó a cabo un muestreo lateral en el afloramiento, principalmente en la zona de Sanctorum, ya que es donde se ha encontrado la mayor parte de los peces fósiles.
- Se observaron procesos de descomposición en peces actuales (familias Poeciliidae y Cyprinodontidae) en condiciones de laboratorio (con diferente temperatura y sustrato). Mediante el uso de peceras (acuarios) se mantuvo el control de la temperatura utilizando calentadores automáticos de agua para conservar la temperatura constante y así verificar los procesos que siguen a la muerte de los organismos, en presencia o ausencia de otros peces. Además se llevó un registro que permitió hacer las comparaciones usando las diferentes temperaturas.
 - ⇒ A) Experimento uno: Consistió en colocar cuatro cadáveres de peces en una pecera de 40 litros que ya contenía seis vivos (del mismo género), alimentándolos con hojuelas para observar el

comportamiento de estos con los muertos y manteniéndolos a temperatura ambiente.

- ⇒ B) Experimento dos: Se utilizó sedimento del Lago de Meztitlán y de Sanctorum, donde se enterraron cuatro peces. Los acuarios se mantuvieron a una temperatura promedio de 16° C, esto por medio de adición de hielo hasta alcanzar la temperatura adecuada y colocándolos en un termo para evitar el intercambio de calor.
- ⇒ C) Experimento tres: También se usó el mismo sedimento que el experimento dos e igualmente la cantidad de peces. La temperatura de los acuarios se conservó a una temperatura promedio de 25° C, usando un calentador automático.
- ⇒ D) Experimento cuatro: Consistió en colocar acuarios con diferente sustrato (Sanctorum y Lago de Meztitlán) colocando cuatro peces en cada acuario y estando a temperatura ambiente, se enterraron y así se mantuvo hasta que el sedimento se secó por completo.
- ⇒ E) Los cuatro experimentos se realizaron con la misma cantidad de organismos y luz, el tiempo de observación varió, ya que fue hasta que terminó el proceso de descomposición de los peces o bien el sedimento se secó.

- De acuerdo a las características de la zona, se mantuvieron acuarios con diferente sustrato, representando a cada uno de los tipos de sedimento, que

se han encontrado en la zona de estudio. Este punto se llevó a cabo con la obtención de lodos de la zona de estudio, uno se recolectó en el Lago de Meztitlán (arcillas), otro en Sanctorum (areniscas y arcillas), y de San Miguel Regla (arcillas). Lo que representa diferentes sedimentos debido a las características de la Sierra Madre Oriental y del Eje Neovolcánico Transversal, que estuvieron presentes en el Paleolago de Amajac.

- Los peces fueron sacrificados sin adicionar ningún componente que pudiera alterar su condición fisiológica o la del agua (murieron por asfixia). La mayoría de los organismos utilizados fueron del género *Heterandria spp.*, y también se utilizaron algunos del género *Poecillopsis spp.*, principalmente por la facilidad de obtención.
- Todos los experimentos fueron realizados en el laboratorio y los peces fueron seleccionados principalmente por su tamaño y semejanza a los que se han encontrado en el registro fósil, por lo que se decidió trabajar con los peces que se obtuvieron más fácilmente en las zonas cercanas a la zona de estudio como son en el lago que se ubica dentro del Bosque de las Truchas, en San Miguel Regla, en este lago se obtuvieron especies de la familia Poeciliidae y de la familia Cyprinodontidae; también se obtuvieron peces (de la familia Characinidae) en los ríos cercanos a lo que fue el paleolago, pero se descartaron porque su morfología es diferente a la de los peces que se tienen en el registro fósil. Del Lago de Meztitlán no se obtuvieron peces debido a la dificultad que presenta el capturarlos, ya que los pescadores locales se basan principalmente en la pesca de las especies comerciales (carpas), y trabajan principalmente con jaulas.

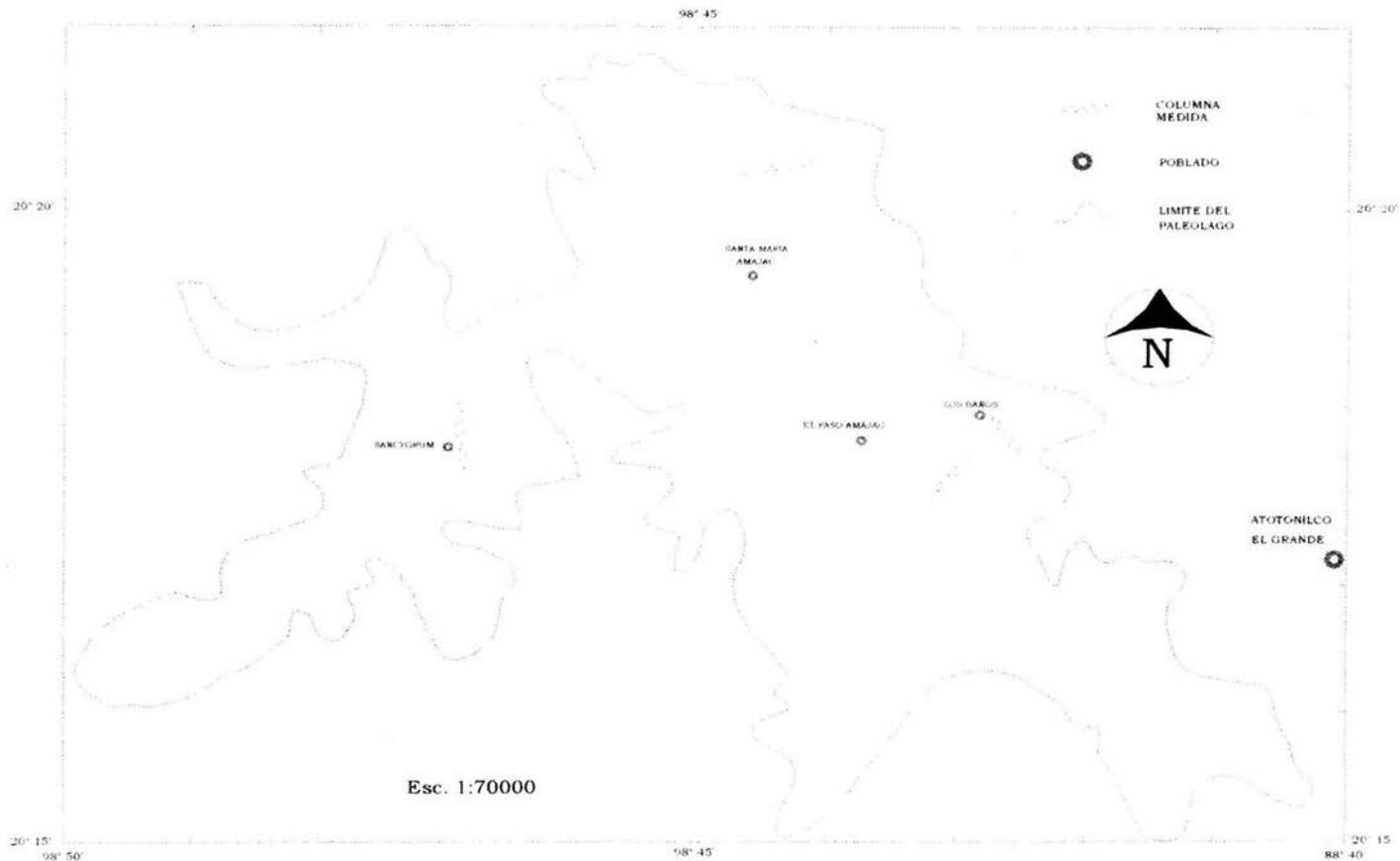


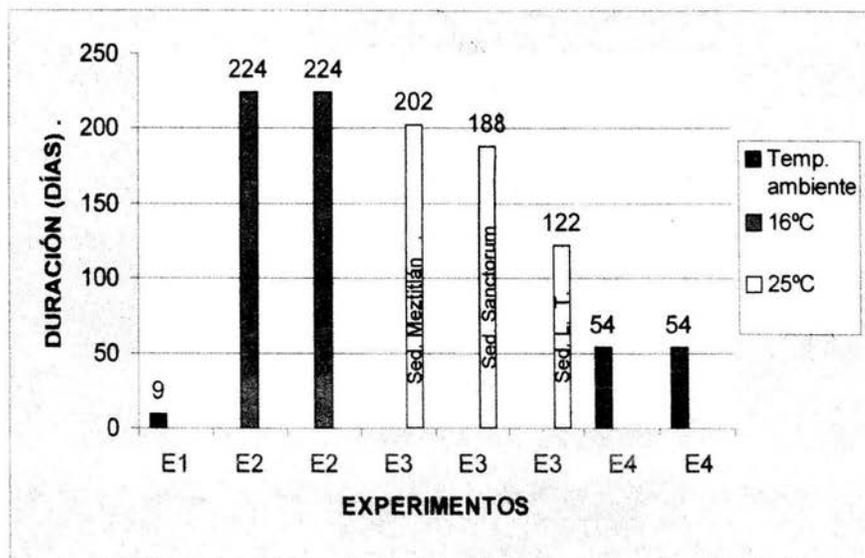
Fig. 3: Mapa del Paleolago de Amajac en máxima inundación (Tomado de Salvador 2001).

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en trabajos como el de Becerra (2003), quien menciona que los peces son vivíparos y pertenecen a la familia Goodeidae, el trabajo de Rodríguez *et al.* (2002) que dice que existen al menos seis especies (entre ellas al menos dos géneros de goodeidos), esto basado en el análisis de los otolitos, los cuales dieron la pauta para elegir a estos peces en los experimentos. Desafortunadamente no se logró conseguir los peces de esta familia, ya que estos no se encontraron en zonas aledañas y tan solo se logró conseguir algunos organismos ya fijados, los cuales por esta característica no se podían utilizar.

En la parte experimental, para observar la velocidad de putrefacción, se definieron dos variables para los peces que se enterraron y el tiempo de duración varió de acuerdo a: A) al tipo de sedimento en que se encontraba, y B) la temperatura; variando desde cuatro, seis y ocho meses.

Para A) los diferentes tipos de sedimento tuvieron las mismas características al momento de sacarlos, ya que en todos los casos los peces mantuvieron su volumen y su forma, tan solo al momento de extraerlos estos se fragmentaron y solo se obtuvieron algunas partes junto con el sedimento aun adherido a estas. En tanto que para B) la principal variación que se encontró fue con el que desde ahora denominaremos como sedimento negro, en todos los experimentos excepto en el primero donde todos los peces sacrificados fueron consumidos en un muy breve periodo de tiempo, en el resto de los casos fue diferente el tiempo de aparición y desaparición de este sedimento, desde días hasta meses de diferencia (Grafica 1).



Gráfica 1.- Muestra el tiempo de duración (en días), de los experimentos realizados, y el tiempo que permaneció el sedimento negro (en E1, E2 y E3) y donde se desecó el sedimento (E4).

El sedimento negro corresponde a la parte que rodea a los peces que están en estado de descomposición y es una capa de color oscuro, compuesta de materia orgánica y con una gran cantidad de microorganismos (como diatomeas, nemátodos, protozoarios, etc.) encargados de consumir los restos, algunos de estos provienen del agua que se tenía en las peceras y la cual se trajo del mismo lugar donde se colectaron los peces; algunos otros son los que contenía el pez y que habitan normalmente en ellos y que al morir aumenta su población.

En otros acuarios donde se mantenía a los peces vivos, se llegó a observar la muerte de algunos organismos, los peces que sobrevivieron llegaban a mordisquear las aletas y la parte ventral de los cadáveres, esto hacía que, los que estaban flotando se fueran al fondo de la pecera, en tanto, los que se mantuvieron flotando duraron aproximadamente 48 horas y finalmente se hundieron.

En el muestreo lateral realizado, hasta el momento se han recolectado 574 peces fósiles. Se encontró que la mayoría de estos habían muerto debido a la desecación del lago (aproximadamente un 64%), ya que la mayoría de los ejemplares presenta una forma arqueada, la cual es muy característica en los organismos deshidratados, aunque es preciso aclarar que también influye el tiempo que permanecen al sol, por lo cual se dividieron en tres diferentes grados de arqueado en los peces, mostrando que algunos estuvieron más tiempo expuestos a los rayos directos del sol.

Uno se consideró como *ligeramente arqueado*, otro como: *arqueado* medio (fig. 3), y uno tercero *muy arqueado*; en donde el más frecuente fue el arqueado (con 308 ejemplares), al cual le corresponde cerca del 54 % del total, los demás niveles de arqueado constituyen aproximadamente un 8 %, los fósiles considerados como normales (que no presentaban la forma arqueada) fue un aproximado del 10 %, y el restante 26 % no se distinguía esta característica, ya que son fósiles fragmentados o bien que están incompletos.

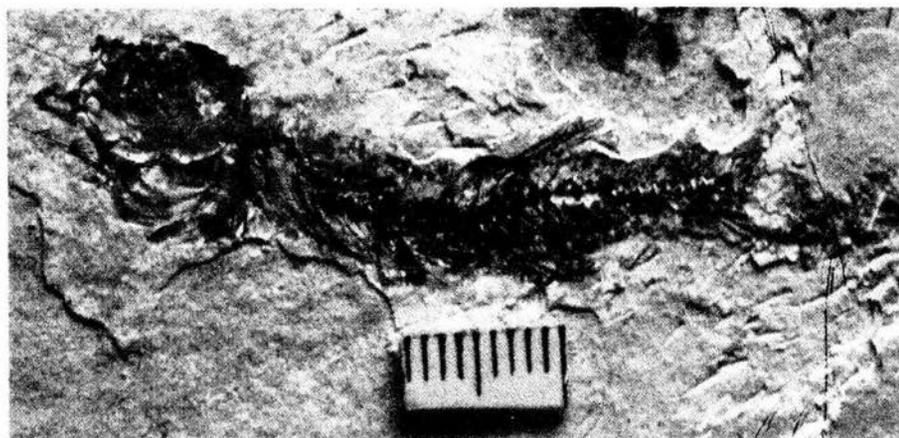


Figura 4.- Pez arqueado (medio), esta característica la tienen la mayoría de los peces encontrados.

Los goodeidos son peces de origen mexicano, esto lo demuestran las investigaciones realizadas por diferentes autores como Burr y Mayden (1992), Domínguez (1999), Miller (1986).

Este grupo de peces se encuentra en el Orden Cyprinodontiformes y se diferencian de las otras familias por tener: (1) los primeros seis a ocho radios de la aleta anal de los machos acortados (Hubbs y Turner, 1939; en Becerra, 2003); (2) la ligera separación de éstos del resto de la aleta; (3) fusión de los primeros radiales medios a la base de los proximales (Parenti, 1981; en Becerra, 2003); (4) un tipo especial de nutrición en estado embrionario (trofotenia) (Hubbs y Turner, 1939, en Becerra, 2003); (5) fertilización interna y (6) presencia de un órgano muscular interno utilizado en la fecundación por los machos.

Los fósiles presentan vértebras, espinas, radios y aletas, con las cuales se logró determinar hasta género en el estudio de Becerra (2003). La clasificación de los goodeidos es la siguiente (Nelson, 1994).

Phyllum Chordata

Subphyllum Vertebrata

Superclase Gnathostomata

Grado Teleostomi

Clase Actinopterygii

División Teleostei

Subdivisión Euteleostei

Superorden Acanthopterygii

Serie Atherinomorpha

Orden Cyprinodontiformes

Familia Goodeidae

En cuanto a la distribución Domínguez (1999), menciona que *Allotoca diazi* se encuentra actualmente tan solo en Michoacán, en tanto que el género *Goodea spp*, tiene una distribución más amplia que abarca los estados de Jalisco, Michoacán, Guanajuato, San Luis Potosí y Querétaro.

En cuanto a la información que se obtuvo a partir de los ostracodos fósiles encontrados en la localidad, se tiene que el paleolago era de tipo estacional y somero, con una con variación en la temperatura de 20.5° a 26.5° C (es decir un lago de aguas cálidas) y una salinidad en un rango de 1150 a 3150 ppm, es decir dulceacuícola (Reyes y Vázquez, 2003).

Con una vegetación propuesta de bosque de encino y vegetación riparia en ambas localidades, el clima propuesto para la región durante el Plioceno en Santa María Amajac, según la clasificación de García (1988; en Aguilar y Velasco, 2002), corresponde a uno templado subhúmedo (12-18° C) y para Sanctorum fue semicálido del grupo C (de 18-22° C, en tanto que para el mes más frío correspondió a temperaturas menores a 18° C).

Los paleoambientes lacustres pueden ser reconstruidos usando evidencia sedimentológica, geoquímica, estratigráfica, tafonómica y taxonómica. Tales reconstrucciones son posibles a través del llamado Principio de Uniformitarismo, Wilson (1988 b).

Al realizar los muestreos en las diferentes zonas del paleolago (Fig. 3), se encontró que la zona de Sanctorum es el único sitio donde se encuentran peces, ya que en las demás localidades a pesar de que hay evidencias de la presencia del cuerpo acuático tales como: los fósiles de hojas, frutos, equisetos y también gasterópodos, además de la presencia de las marcas de gotas de lluvia en un cuerpo acuático léntico (fig. 5), tanto en los muestreos verticales como en los horizontales, no se encontraron peces.

En el Cretácico, cuando los mares cubrieron totalmente las áreas positivas de la región en el Albiano, se instaura en el área de estudio un ambiente somero en la denominada Plataforma de Actopan, donde inició la sedimentación de la Formación El Abra en un ambiente de plataforma carbonatada, que de acuerdo a las características litológicas y fosilíferas que presenta, corresponde a la parte post-arrecifal (Arellano *et al.*, 2003).

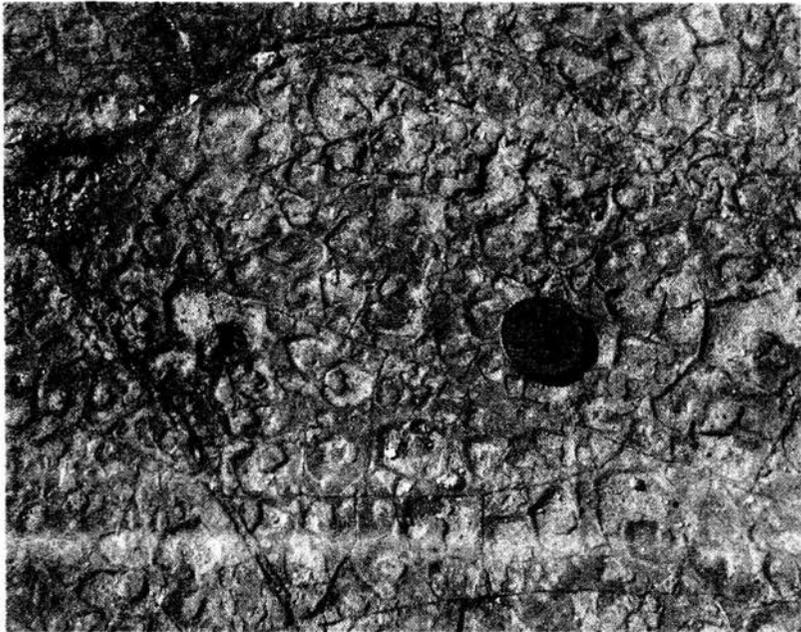


Fig. 5.-Marcas de gotas de lluvia fosilizadas en la
localidad de Los Baños.

DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos con los experimentos realizados, se obtuvo que la presencia de los peces fósiles en esta localidad se debe a las condiciones ambientales prevalecientes durante cierto tiempo en el lago, es decir, los organismos que se utilizaron mantuvieron su forma (no se arquearon), en tanto que los encontrados en el yacimiento, más del 60 % se deformaron.

Por las características que presentan la mayoría de los vertebrados al momento de morir y estar en contacto directo con el sol, estos se deshidratan y tienden a arquearse. En este sentido, debido a la cantidad de peces fósiles encontrados de esta manera, podemos suponer que quedaron en pequeñas charcas y al desecarse estuvieron expuestos al sol y así se deformaron, incluso algunos con desprendimiento de la cabeza; lo cual indica que, al parecer, el enterramiento ocurrió poco tiempo después de su muerte, ya que al estar la mayoría en buen estado de conservación, los carroñeros o bien los mismos peces (según observaciones de su comportamiento), no tuvieron tiempo suficiente para consumirlos, por lo cual restos estuvieron el tiempo necesario para ser enterrados de manera natural, cuando la deshidratación los hubo deformado y pudieran conservarse hasta llegar a convertirse en fósiles.

Haciendo referencia a la estratigrafía, el tamaño de las laminaciones es variado, lo que permite suponer los cambios en el sedimento disponible y energía de transporte, probablemente asociado a los periodos de sequía y de lluvias, se propone que el enterramiento ocurrió por las lluvias (por los ríos que lo alimentaban y el sedimento transportado, que al llegar al lago se hunde y

deposita), ya que como se ve en la imagen (figura 6), los estratos se ven con ligeras variaciones en su grosor a lo largo de la columna estratigráfica.



Fig. 6 Estrato con laminaciones de diferentes tamaños de la localidad de Sanctorum.

Para los experimentos realizados, se tomaron muestras de la localidad de Sanctorum (arcillas y areniscas), al terminar estos y cuando se secó totalmente el sedimento no mostraba cuarteaduras (como las que muestran los suelos arcillosos al evaporarse el agua), esto permitió que los peces no se fragmentaran mientras estaban enterrados y el suelo se secaba, además de salir sin ninguna deformación (debido a que estaban enterrados y no estuvieron en contacto con el Sol) y tan solo se fragmentaron al momento de sacarlos y hacer una mala extracción.

Los procesos de descomposición probablemente fueron retardados debido a esta característica del medio, por lo que al morir los peces tan solo quedaron algunos días enterrados en el lodo, pero el calor desecó rápidamente el sedimento y no se lograron desarrollar las bacterias, y es por eso que cerca del 75 % de los peces estuvieran casi completos, algunos de estos estaban incompletos por faltaries un fragmento de aleta, de la cabeza o bien las costillas, que

probablemente perdieron al tener un poco más de tiempo de haber muerto y los tejidos se separaron (esta característica se observó en los experimentos).

De acuerdo a las observaciones realizadas, las bacterias rodeaban a los organismos muertos y formaban una capa de color negro alrededor de estos y el tejido se desprendía poco a poco conforme pasaba el tiempo, las escamas también se desprendían y se desplazaban muy poco, debido a que los peces ya estaban enterrados; en los fósiles, solo unos cuantos presentan las escamas en abundancia. Tal como ocurrió con los experimentos, esto nos indicaría que estos peces murieron por otras causas y por otra época del año, y que fueron enterrados de una forma más rápida. En tanto que los demás organismos que perdieron la mayoría de las escamas, fue probablemente al momento de que el agua comenzó a correr a su alrededor, lo que provocó que las escamas se dispersaran.

Los sedimentos muestran que permiten muy poco el intercambio de líquidos y gases, ya que los peces enterrados se mantuvieron en su forma original (tal como fueron enterrados) en todos los sedimentos usados en los experimentos, y que representan el tipo de suelo que predominaba en la región cuando el paleolago existía; por lo tanto se deduce que el sedimento fue un factor importante para la conservación de los cadáveres hasta llegar a convertirse en fósiles.

Existen otro tipo de factores que permiten la conservación, tenemos por ejemplo que, la destrucción de los tejidos puede ser impedida por la hidrogenación de ácidos de aceites insaturados, tal como el ácido oleico o en su mayoría de ácidos grasos como el ácido esteárico. La grasa resultante, llamada adipocero, es dura y opaca y puede adherirse a los huesos después de la descomposición de la

piel (Mant, 1957; Den Doren de Jong, 1961; Huack, 1971; en Allison y Briggs, 1991).

La formación de adipocero es realizada por microbios anaerobios en la presencia de mezclas, pero solo afecta los tejidos grasos (Den Doren de Jong, 1961; en Allison y Briggs, 1991). Esto puede ocurrir en menos de un mes en climas cálidos, pero en climas templados se requieren varios meses para los restos inmersos en agua o enterrados en el sedimento (Simpson y Knight, 1985; en Allison y Briggs, 1991)

Debido a la presencia de peces fósiles deformados por la deshidratación, se puede inferir que el paleolago fue de tipo estacional, ya que en diferentes estratos localizamos a los peces que presentan esta característica. En la parte superior de la columna de Sanctorum se han encontrado peces, pero en mal estado de conservación, ya que esta zona a sufrido de un mayor intemperismo y se ha erosionado mucho más que las partes bajas de la columna, esto ha impedido la observación adecuada del estado de los peces.

La asociación de ostracodos encontrados (*Candona-Limnocythere*) en el Paleolago de Amajac indica que el cuerpo de agua era estacional pero muy somero debido a la presencia de varios horizontes de yeso. En este sentido la presencia y conservación del género *Limnocythere* indica que existían condiciones evaporíticas, aunado a esto los lagos someros tienden a presentar que la temperatura del agua esta en equilibrio con la temperatura atmosférica.

En cuanto al análisis de la fisonomía foliar indica que las condiciones de temperatura para la región eran algo bajas, debido a la predominancia del margen entero y el tamaño micrófilo, ya que estos han sido asociados a intervalos de

temperatura de 13-20° C. En cuanto a las condiciones de humedad, esta era alta, ya que la forma elíptica, el ápice y la base agudos, y la relación largo-ancho reflejan este tipo de condiciones (Aguilar y Velasco, 2002); sin embargo, es posible que estas no hayan sido constantes a lo largo del año, debido a que el tamaño micrófilo está asociado a la estacionalidad de la humedad, aspecto que se ve reflejado en la localidad por las estructuras sedimentarias presentes en el afloramiento (Salvador, 2001).

Al observar los datos obtenidos por el análisis foliar y de los ostracodos (con los estudios geoquímicos), observamos que las temperaturas se corresponden al periodo cálido del año, y también al analizar el estado de los peces fósiles (la mayoría arqueados) observamos que el lago era de tipo estacional.

En cuanto a la temperatura, los peces que se encontraban a temperaturas de 16° C, se mantuvieron un mayor tiempo con el sedimento negro, es decir, los microorganismos tardaron mucho más tiempo en consumir la materia orgánica en descomposición y de acuerdo a la cantidad de tiempo (siete meses y medio), excede en cuatro o cinco meses la duración normal de invierno; en cambio en la temperatura de 25° C, el máximo de tiempo que duró el sedimento negro fue de cuatro a siete meses, por lo tanto la temperatura no influyó de manera determinante en la conservación de los fósiles, pero sí en la permanencia de los microorganismos que se alimentan de esta.

CONCLUSIONES

- El sedimento presente en la localidad al ser fino, permitió que los fósiles se conservaran sin demasiadas alteraciones por el intercambio natural de líquidos y gases.
- La temperatura permitió a los microorganismos consumir una gran cantidad de tejido a los peces y, probablemente por esto, la gran mayoría de los fósiles no presentan las escamas, esto se observó en los experimentos realizados, que en la presencia del sedimento negro, los microorganismos al consumir el tejido, las escamas se desprendían.
- La mayoría de los peces fósiles son autóctonos, esto se demuestra al observar que la mayoría de estos están completos (aunque sin escamas por lo explicado anteriormente), y varios de los fragmentos son por una mala extracción del material.
- El principal factor de la muerte de los organismos fue la desecación del lago, esto se deduce por la gran cantidad de peces fósiles arqueados que se han encontrado, además de los estudios que se realizaron a los ostracodos y el análisis foliar que así lo demuestran.
- Los datos aportados por plantas, ostracodos y peces son congruentes entre sí, con lo cual se corrobora el clima propuesto, con variaciones de temperatura que van desde 12° a 26° C en promedio, a lo largo del año.
- El proceso de fosilización que predominó en los peces y ostracodos es de permineralización en tanto que para las hojas fue de impresión.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ⇒ Aguilar A. F. J., Velasco de L. M. P., 2002, "El clima durante el Plioceno en la región de Santa María Amajac, Hidalgo, México", *Bol. Soc. Bot. Méx.*, 71: 71-81.
- ⇒ Allison P. A. and Briggs D. E., 1991, *Taphonomy: Releasing the data locked in the fossil record*, volumen 9 de *temas en geobiología*, Plenum Press, New York, pp 25-70.
- ⇒ Álvarez J., 1966, "Contribución al conocimiento de los bagres fósiles de Chapala y Zacoalco, Jalisco, México", *Paleoecología / 1*, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Depto. de Prehistoria, México.
- ⇒ Arellano G. J., Velasco L. P., Silva P. A., Salvador F. R. y Beltrán R. F., 2003, "Origen y características geológicas del paleo-lago de Amajac, Hidalgo", en prensa.
- ⇒ Becerra M. C. A., 2003, "Estudio anatómico de las aletas impares de los Goodeidos fósiles procedentes de Sanctorem (Formación Atotonilco el Grande), Hidalgo", Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- ⇒ Becerra M. C., Guzmán E. A. F., Velasco de L. M. P., 2002, "First fossil record of Goodeidae from Hidalgo State, Mexico", *Abstracts II International Symposium of Livebearing Fishes*, México.
- ⇒ Behrensmeyer A. K., 1999, "Tafonomía y registro fósil", en *Paleobiología: Lecturas Seleccionadas*, edición por Mercedes Perelló,

- 1ª edición, Coordinación de Servicios Editoriales de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, p. 37-49.
- ⇒ Beltrán R. F. y Luna G. P., 1994, "Estudio geológico de la región de Santa María Amajac, municipio de Atotonilco el Grande, Estado de Hidalgo", Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- ⇒ Brenchley P. J., Harper D. A. T., 2002, "Palaeoecology: Ecosystems, environments and evolution", Chapman & Hall.
- ⇒ Buitrón S. B. E., 1989, "Paleontología general: Invertebrados", Facultad de Ingeniería, División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Departamento de Ingeniería del Petróleo y Geohidrología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- ⇒ Burr B. M. y Mayden R. L., 1992, "Phylogenetics and North American freshwater fishes", en "Systematics historical ecology and North American freshwater fishes", Stanford University, press. Stanford, Ca. pp. 18-75.
- ⇒ Domínguez S. H., 1999, "Contribución al estudio de los peces de la familia Goodeidae de Michoacán", Tesis de licenciatura, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México.
- ⇒ Elder R. L., 1985, "Principles of aquatic taphonomy whit examples from the fossil record", Tesis doctoral, University of Michigan, U. S. A.
- ⇒ Elder R. L., Smith G. H., 1988, "Fish taphonomy and Paleocology", Geobios, Memoria especial no. 8, Lyon, Francia, p. 287-291.

- ⇒ Guzmán A. F., Polaco O. J., 1995, "Notas sobre la localidad típica de *Tapatia occidentalis* (Osteichthyes:Goodeidae) y fósiles asociados, p. 21, en Memoria del V Congreso Nacional de Paleontología: resúmenes, Sociedad Mexicana de Paleontología, México.
- ⇒ Guzmán A. F., Stinnesbeck W., Robles C. J., Polaco O. J., 1998, "El paleolago de Amatitán, Jalisco: estratigrafía, sedimentología y paleontología de la localidad tipo de *Tapatia occidentalis* (Osteichthyes: Goodeidae), Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología, 8 (2): 127 – 134.
- ⇒ Maldonado K. M., 1948 a, "Peces fósiles de México, I Elasmobranquios", Rev. Soc. Mexicana Hist. Nat., IX (1 – 2) : 127 – 133
- ⇒ —., 1948 b, Adiciones a "Peces fósiles de México, I Elasmobranquios", Rev. Soc. Mexicana Hist. Nat., IX (3 – 4) : 295 - 300
- ⇒ —., 1949, "Peces fósiles de México, II Dipnoos, Ganoides y Teleósteos", Rev. Soc. Mexicana Hist. Nat., X (1-4): 241 – 246.
- ⇒ Miller R. R., 1986, "Composition and derivation of the freshwater fish fauna of México", An. Esc. Nac. Cienc. Biol., México 30 : 121 – 153.
- ⇒ Nelson J. S., 1994, "Fishes of the world", 3a edición, Editorial John Wiley and Sons., U. S. A.
- ⇒ Reyes T. A. y Vázquez R. S. D., 2003, "Determinación taxonómica y geoquímica de la concha de ostracodos fósiles pertenecientes al Plioceno presentes en Sanctorum, Hidalgo, México", Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- ⇒ Riva P. C. R., 1983, "Informe y comentarios acerca del Volcán Chichonal, Chiapas", Ponencias presentadas en el simposio sobre el Volcán Chichonal durante la VI Convención Geológica Nacional de la Sociedad Geológica Mexicana, pp. 49-56, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- ⇒ Rodríguez B. R., Velasco de L. M. P., Salgado U. I. H., 2002, "Los otolitos como carácter taxonómico en la identificación de peces dulceacuícolas fósiles", Resúmenes: VIII Congreso Nacional de Paleontología, México.
- ⇒ Salvador F. R., 2001, "Origen, sedimentología y estratigrafía del Paleolago de Amajac, Hidalgo", Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- ⇒ Smith M. L., Cavender T. M. y Miller R. R., 1975, "Climatic and biogeographic significance of a fish fauna from the Late Pliocene-Early Pleistocene of the Lake and N. E. Friedland (eds.), Studies on Cenozoic Paleontology and Stratigraphy, Papers on Paleontology 12.
- ⇒ Tyrrel G. W., 1960, "Principios de petrología", Cía. Editorial Continental, México.
- ⇒ Wilson M. V. H., 1988 a, "Reconstruction of ancient lake environments using both autochthonous and allochthonous fossils", *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 62 : 609 – 623.
- ⇒ —., 1988 b, "Taphonomic Processes: Information Loss and Information Gain", *Paleoscience* #9, *Geoscience Canada*, 15 (2): 131-147

ANEXO

EXPERIMENTO 1

Este experimento consistió en colocar tres cadáveres de peces en una pecera de 40 litros que ya contenía seis peces vivos (del mismo género) y mantenerlos a temperatura ambiente.

- Día uno

Al colocar los cadáveres de los peces en el acuario, estos se mantuvieron a flote.

- Día tres

Los peces se mantienen flotando, han perdido escamas y se observan mordeduras en las aletas dorsal y caudal.

- Día cuatro

Los peces se encuentran en el fondo de la pecera, por lo que duraron aproximadamente con un mínimo de 60 a un máximo de 72 horas flotando.

- Día seis

Uno de los peces a sido devorado por completo, los otros dos peces aún se ven pero están en el fondo de la pecera, ya no tienen aletas y en la parte ventral es donde se ve un hueco ocasionado por las mordeduras de los peces vivos (en

las observaciones se logró ver esta conducta), además la cabeza de uno de ellos está a punto de separarse del cuerpo.

- Día nueve

Los peces ya han desaparecido, por lo cual se realizó una búsqueda en el sedimento para localizar los restos, pero al parecer se los comieron por completo.

EXPERIMENTO 2

Este experimento consiste en mantener la temperatura de los acuarios constante (16° C), una con sedimento de Sanctorum (de ahora en adelante denominada A1) y la segunda pecera con sedimento proveniente del Lago de Meztitlán (de ahora en adelante denominada A2). En esta ocasión los peces se cubrieron con el sedimento al colocarlos dentro de las peceras, con esto esperamos hacer observaciones acerca de ambos tipos de sedimento para determinar en cual se preservan de mejor manera los restos.

Día uno

En cada uno de los acuarios se colocaron cuatro peces de diferentes tallas (el más pequeño de 3 cm y el más grande de 6.5 cm), haciendo referencia a las tallas de los peces que se han encontrado en el registro fósil.

Día cinco

En A1 se nota una ligera variación en el color del sedimento al rededor de los peces.

A2 no presenta cambios visibles.

Día siete

En A1 tres de los peces se ven rodeados por un sedimento de color negro.

En A2 en uno de los peces se distinguen aberturas en la parte ventral, al parecer por el escape de gases, ya que se formó una burbuja que todavía se alcanza a ver a través del vidrio.

Día 10

En A1 se ve un aumento ligero en la acumulación del sedimento negro alrededor de los peces, excepto en uno de ellos que no se ven cambios.

En A2 se observa una gran cantidad de huecos que están alrededor de los peces y no hay presencia de sedimento negro como en A1.

Día 12

En A1 ya el pez que faltaba también presenta sedimento negro en los demás peces no se observan cambios.

En A2 se ve una delgada línea de sedimento negro ubicada a un milímetro por debajo de la superficie del sedimento normal.

Día 26

En A1 los peces ya están completamente cubiertos con el sedimento negro y no se alcanzan a distinguir a pesar de estar muy cerca del vidrio de la pecera.

En A2 no se observan cambios.

Día 32

En A1 no se distinguen los peces y no se observan más cambios.

En A2 se observa la presencia de algunos manchones con el sedimento negro, pero no están muy cerca de los peces, los cuales tienen aún un color blanco y no se ve desprendimiento de escamas.

Día 36

En A1 se observan huecos dejados por burbujas, lo que indica la presencia de gases.

En A2 la capa de sedimento negro a engrosado un poco más.

Día 43

En los peces de A1 se distingue todavía un poco de tejido pero tienen desprendimientos del mismo.

En A2 se observan bien los peces y tienen ligeros desprendimientos de tejido dos de ellos.

Día 64

En A1 no se notan cambios

En A2 la capa de sedimento negro a aumentado de grosor

Día 90

En A1 no se notan cambios.

En A2 no hay cambios visibles.

Día 124

En A1 disminuyó la cantidad de sedimento negro.

En A2 la cantidad de sedimento negro a disminuido, pero no se ven los peces.

Día 150

En A1 no se distinguen mayores cambios.

En A2 no hay cambios.

Día 188

En A1 no se distinguen cambios.

En A2 disminuyó la cantidad de sedimento negro.

Día 202

En A1 disminuyó ligeramente la cantidad de sedimento negro.

En A2 el sedimento negro sigue disminuyendo.

Día 224

En A1 sigue disminuyendo la cantidad de sedimento negro, pero no se ven los restos de los peces.

En A2 no se distinguen cambios.

EXPERIMENTO 3

Este experimento consiste en mantener los peces sacrificados en peceras a temperatura constante (25° C), en los sedimentos de Sanctorum (lo denominaré como MA) y del Lago de Meztitlán (denominado como MR), cada una de las cuales contará con cuatro peces de diferentes tallas (al igual que el experimento dos).

Día uno

Todos los peces fueron colocados en sus respectivas peceras y fueron cubiertos con el sedimento.

Día cinco

MA se comienza a ver la acumulación del sedimento negro alrededor de dos de los peces, en los otros dos aún no hay cambios.

MR en uno de los peces se ve una ligera abertura en la parte ventral, en los demás peces no se observan cambios.

Día 10

En MA aumentó la cantidad de sedimento negro.

En MR en uno de los peces se ve una ligera acumulación de sedimento negro a su alrededor.

Día 26

MA el sedimento negro a cubierto a todos los peces y ahora son poco visibles.

MR el cambio más visible es el de la disminución de agua, que a pesar de tener la misma cantidad en ambas esta se a evaporado más rápidamente.

Día 32

MA el sedimento negro a cubierto la mayor parte del sedimento que esta pegado al vidrio y no permite una buena visión de los peces.

MR se observa una ligera capa de sedimento negro muy cercana a la superficie.

Día 41

En MA se observa una ligera disminución de la cantidad de sedimento negro pero aun impide la observación de los peces.

En MR se ha evaporado una mayor cantidad de agua.

Día 64

En MA no hay diferencias con respecto a la última observación

En MR hay una delgada capa de sedimento fino sobre la de color negro, al parecer es por el movimiento del agua que se levantan y depositan estas partículas.

Día 70

Sin cambios MA.

Sin cambios MR.

Día 124

En MA a desaparecido casi todo el sedimento negro, tan solo quedan algunos puntos alrededor de la pecera.

En MR el sedimento negro ha desaparecido casi por completo, todavía se ven algunas manchas.

Día 146

En MA a disminuido aun más el sedimento negro pero no totalmente.

En MR han desaparecido algunos puntos, pero aun quedan otros.

Día 188

En MA el sedimento negro a desaparecido por completo

En MR aun quedan algunos puntos del sedimento negro.

Día 202

En MR el sedimento negro desapareció por completo.

EXPERIMENTO 4

Consistió en colocar acuarios con diferente sustrato (al igual que los anteriores con sedimento de Sanctorum y del Lago de Meztitlán) y a temperatura ambiente a los peces, se enterraron entre uno y dos centímetros aproximadamente, y así se mantuvo hasta que el sedimento se secó por completo.

Día diez

Se le agregó agua para recuperar el nivel inicial.

Día 20

Nuevamente se le agregó agua para recuperar el nivel, se observan algunas manchas oscuras donde están los peces (al parecer es una muy pequeña cantidad)

Día 40

Al no agregar más agua, dejó de crecer el tamaño de la mancha oscura y no se observan más cambios.

Día 54

El sedimento está completamente seco, por lo que se procedió a la extracción de los peces.