



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

**ESTUDIO DE LOS ANFIBIOS PERTENECIENTES AL
PLIOCENO TARDÍO EN LA LOCALIDAD DE SANCTORUM
EN EL ESTADO DE HIDALGO: ORDEN ANURA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A:

ELDA PAOLA FUENTES GUERRA

DIRECTORA DE TESIS: DRA. MA. PATRICIA VELASCO DE LEÓN

MÉXICO, D. F.

JUNIO 2005

0350226



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México; especialmente a la FES Zaragoza, por aceptarme y recibirme en sus aulas para darme la formación profesional que tanto anhelé; pues siempre en mí existió el deseo de ser universitaria; gracias por los conocimientos, experiencias y amistades que aquí encontré.

Siempre estaré agradecida con mi directora de tesis: *Dra. Patricia Velasco de León*; por haberme brindado la oportunidad de trabajar con ella, por su orientación para hacer posible esta tesis, por sus consejos personales, por su paciencia y tolerancia para tantas veces que le fallé y sobre todo por la amistad que a través de los años hemos creado y que espero nunca se pierda.

Gracias a la *Colección Nacional de Anfibios y Reptiles (CNAR) del Instituto de Biología de la UNAM* y al *Dr. Víctor Hugo Reynoso* por el préstamo de los ejemplares y por los puntos de vista para este trabajo; así como también al *Dr. Adrián Nieto* de la Facultad de Ciencias de la UNAM y al *Biol. Tizoc Altamirano* de la FES Iztacala por el préstamo y obsequio de ejemplares respectivamente.

Gracias a mis sinodales: *Biol. Cristóbal Galindo Galindo, M. en C. Carlos Pérez Malvárez, M. en C. Evangelina Galván Mendoza* y a la *Biol. Erika Ortiz Martínez* por sus observaciones y sugerencias para mejorar el trabajo. En especial, a Cristóbal por brindarme a lo largo de estos años su valiosa amistad.

Esta tesis està dedicada completamente a la gente que más quiero:

A mi mamá: Biol. Ma. del Carmen Virginia Guerra Díaz, gracias, por tu ejemplo de lucha, de fuerza y nobleza; por eso te amo, te admiro y te respeto; porque eres la mujer sin igual en mi vida. Te entrego esto que representa *nuestro esfuerzo*, gracias por apoyarme en todos los momentos de mi vida y por disculparme en los momentos que te fallè.

A Don Vic: Con sinceridad; le agradezco el hecho de estar con mi madre, gracias por darle la vida que ella merece: estable y feliz. Gracias por cuidarla y amarla; y también por apoyarla para darme una formación profesional.

A mi esposo: Alejandro Reyes Torres: Gracias amor por tu paciencia y apoyo; por ayudarme a alcanzar este èxito que también es tuyo; por tu cariño y comprensión en todos los momentos de nuestra vida.

A mi pequeña Brendita, gracias bebè por permitirme llegar a la meta, este esfuerzo es por ti y para ti, para que con ello, pueda ofrecerte una vida digna y un ejemplo a seguir y superar...te amo.

A mis abuelos: Ma. del Consuelo Rojas Sánchez y Rubèn Fuentes Pérez. Gracias por darme su cariño y por brindarme siempre una sonrisa cuando nos vemos; y por seguir unidos a pesar de todo.

A mis abuelos: Esther Díaz Martínez y Mario Guerra Velez (†): Gracias por haber formado a la mujer que me diò la vida y por quererla y recibirla con el amor que merece y por mirarme a mì de la misma manera. Aunque no me lo dijera, sè que le hubiera dado gusto ver este momento, abuelo.

A Doña Lola: Gracias por brindarme siempre su cariño y apoyo. Por ser usted la mujer con el corazòn más dulce y noble que he tenido la oportunidad de conocer. Gracias por su ejemplo de humanidad y ayuda para alcanzar la culminaciòn de mi formación profesional; porque siempre que llegaba a casa, podía encontrar su rostro cansado y feliz esperandome con un plato de comida calientita.

A mi primo y hermano: Cèsar A. Fuentes Magos: Aunque pocos sean los momentos que compartimos, eres el primo que más quiero y extraño. Gracias por esos momentos de felicidad en nuestra niñez. Ya me adelantè, espero ver también el tèrmino de tu carrera profesional.

A mis amigos: Hugo Lòpez Muñoz, Griselda Meléndez de la Rosa, Ivàn Almanza Valenzuela, Sergio D. Vázquez Rodríguez, Yanet Balbuena Pedraza, Elizabeth Valencia Valencia y Monserrat Martínez Castillo: en quienes siempre he encontrado un consejo, un apoyo y sin duda alguna, confianza y alegrìa; con quienes he podido compartir momentos de felicidad y tristeza en mi vida.

A alguien muy especial que ya se ha ido, pero desde el cielo, siempre cuida de mì.

Y sobretodo...gracias a Dios.

ÍNDICE

	<i>Pàg.</i>
1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	3
2.1. Generalidades de la Formación Atotonilco El Grande.....	6
2.2. Factores que influyen en el proceso de fosilización	7
2.2.1. Columna Estratigráfica de Sanctorum, Hidalgo.....	9
2.2.2. Antecedentes sobre paleontología de anuros.....	11
2.3. Clase Amphibia.....	14
2.3.1. Generalidades.....	14
2.3.2. Clasificación.....	14
2.3.3. Distribución.....	18
2.3.4. Hábitat.....	19
2.3.5. Alimentación.....	19
2.3.6. Edad.....	19
2.3.7. Comportamiento.....	21
2.3.8. Esqueleto de una rana actual.....	22
2.4. Orden Anura.....	22
2.5. Sistemática.....	23
2.5.1. Caracteres importantes para la determinación del Orden Anura.....	23
2.6. Diferencias principales entre las familias de anuros presentes en el Estado de Hidalgo.....	29
2.7. Utilización de la Taxonomía Numérica para la determinación de anuros fósiles.....	30

	<i>Pàg.</i>
3. JUSTIFICACIÒN	33
4. OBJETIVOS	34
5. MATERIAL Y MÈTODO	34
5.1. Descripción de la zona de estudio.....	34
5.2. Mapa geogràfico.....	36
5.3. Revisi3n bibliogràfica.....	37
5.4. Trabajo en campo y de laboratorio.....	37
6. RESULTADOS	40
6.1. Imàgenes y descripci3n de los anuros f3siles.....	40
6.2. Comparaciones de algunas estructuras importantes entre anuros f3siles y actuales.....	48
6.3. Medidas de anuros f3siles y actuales.....	64
6.4. Taxonomià numèrica y anàlisis de datos con el programa NTSYS.....	66
6.4.1. Matriz de similitud de doble estado.....	66
6.4.2. Fenograma.....	68
7. DISCUSI3N DE RESULTADOS	69
8. CONCLUSIONES	75
9. REFERENCIAS	77
10. APENDICE 1. Tècnica de aclaraci3n para vertebrados peque1os.....	81
APENDICE 2. Esquema representativo que indica la manera en que fueron medidos los ejemplares f3siles y actuales.....	83

RESUMEN

La paleontología estudia todo lo que concierne a la vida pasada; su objeto de estudio son aquellos organismos que murieron hace no menos de 10,000 años (límite entre el Pleistoceno y el Reciente) y que tuvieron las condiciones óptimas para su fosilización. Se llaman *fósiles* los restos de organismos completos o fragmentos de ellos encontrados en las rocas y también todas las huellas de actividad debidas a seres vivientes conservadas en las formaciones geológicas (Aubouin, 1981). La paleontología, particularmente de vertebrados, es un campo poco explorado en México, en donde la mayoría de las investigaciones se han realizado con mamíferos y reptiles.

El estado de Hidalgo posee una paleodiversidad capaz de representar a todas las clases de vertebrados, algunos phylum de invertebrados; así como también importantes divisiones de plantas. La Formación Atotonilco El Grande aflora en esta parte del país en el municipio del mismo nombre, específicamente en la comunidad de Sanctorum en las coordenadas 20°18'04" latitud norte y 98°46'59" longitud oeste a una altura de 1700 m.s.n.m.; correspondiente al Cenozoico, en el periodo Terciario y en la época del Plioceno significando una antigüedad de 3.6 a 5 millones de años (m.a.) para la zona. Por las características litológicas, sedimentológicas y estratigráficas que presenta esta Formación, se interpreta que se acumuló en un ambiente lacustre, cuyo origen se debió al cierre temporal del río Amajac.

Dentro de esta Formación, se encontraron representantes de la clase Amphibia, específicamente ranas o anuros. Muchas especies tienen densas poblaciones y ocupan amplios rangos geográficos. En total, hay alrededor de 3800 especies de anuros. La diversidad y la antigüedad de muchos linajes, han hecho de los anuros difíciles de clasificar. Las ranas están divididas en 20 o más familias, y éstas a su vez se agrupan en dos subórdenes: las familias más primitivas (Suborden Archaeobatrachia) y las familias de los anuros avanzados (Suborden Neobatrachia) Zug (1993).

Se revisaron cinco fósiles de anuros de la Formación Atotonilco El Grande encontrados en las limolitas. Los ejemplares se limpiaron retirando el material litológico, se revisaron, se fotografiaron y se anexaron a la Colección

Paleontológica de la FES Zaragoza. Por otro lado, se revisaron caracteres del esqueleto de ocho especies de anuros actuales requeridas a la Colección Nacional de Anfibios y Reptiles (CNAR) del Instituto de Biología de la UNAM de las especies *Smilisca baudinii*, *Hyla eximia*, *Hyla plicata*, *Hyla arenicolor*, *Hyla bistincta*, *Hyla bromeliacia*, *Hyla miotypanum* y *Rana montezumae*, así como también de ejemplares proporcionados por la Colección de la Facultad de Ciencias de la UNAM, los cuales corresponden a dos especies de la familia Leptodactylidae: *Leptodactylus melanonotus* y *Eleutherodactylus rhodopis* (pertenecientes a los Estados de Guerrero y Oaxaca respectivamente); organismos de ambas colecciones se transparentaron para poder apreciar los elementos del esqueleto.

Se revisaron caracteres para la determinación de los anuros fósiles a nivel de familia, se construyó una matriz básica de datos de doble estado de 12 OTUs y 22 estados de carácter utilizando el programa NTSYS para obtener un fenograma; estos caracteres fueron: *huesos parietales*, *tipo de dientes*, *forma de las falanges terminales*, *forma de la diapofisis sacral de la vértebra sacra*, *nivel de la vértebra sacra*, *número total de vértebras presacrales*, *tipo de ilium* y *tipo de cintura escapular*, todos ellos visibles en los ejemplares fósiles. El resultado de este análisis, sugiere que los fósiles están asociados con la familia Hylidae por las especies *H. arenicolor* e *H. plicata* con un porcentaje de similitud entre 60 y 75% (coeficiente de Jaccard); lo que también coincide con los resultados de la determinación taxonómica, en donde existen similitudes de los anuros fósiles con la familia Hylidae; exceptuando al ejemplar ST 1084 por presentar más semejanzas con la familia Ranidae.

Basándose en medidas de algunas estructuras óseas, se determinó un estadio juvenil para estos anfibios fósiles por comparación con estudios previos realizados por Duellman y Trueb (1986).

Considerando el número de anuros fósiles y el estado de conservación en que se encontraron, se les puede otorgar una condición de autoctonia, debido a que dicho punto era la zona más distal del paleolago. Reyes y Vázquez (2003), a través del estudio geoquímico de las valvas de ostrácodos en la zona, proponen una condición dulceacuícola, somera y estacional para el paleolago; lo que sugiere que los anuros pudieron haberse establecido en un cuerpo de agua con estas características.

INTRODUCCIÓN

Se llaman *fósiles* a los restos de organismos completos o fragmentos de ellos encontrados en las rocas y también todas las huellas de actividad debidas a seres vivientes conservadas en las formaciones geológicas (Aubouin, 1981). Como es natural, lo más frecuente es que sólo se fosilicen *las partes duras de un organismo*; la condición fundamental de la conservación de un ser vivo en las rocas es principalmente su enterramiento rápido. La muerte de los organismos puede sobrevenir por causas diversas desigualmente favorables a la fosilización; la muerte por hundimiento condiciona un enterramiento inmediato de los organismos y es el origen de diversos depósitos. Muy a menudo, después de la muerte, el organismo ha sido deformado o fragmentado, por ejemplo, muchos de los peces fósiles tienen el cuerpo arqueado debido a la rigidez cadavérica. Los fósiles pueden estar afectados en las rocas mismas que los contienen por deformaciones que alteran su forma; por ejemplo, los huesos largos de los vertebrados están también sujetos a tales deformaciones. Los fósiles sufren también transformaciones químicas, por lo que se conocen, además de fósiles calcáreos, quitinosos, silíceos, piritosos, yesosos, en hematita, etc (Aubouin, 1981).

Las especies fósiles recolectadas hasta 1996 en la entidad hidalguense suman 35, y entre ellas se encuentran representados los cinco grupos de vertebrados continentales, lo cual ilustra la paleodiversidad de la región (Castillo, *et al*, 1996).

El material incluye tres peces y un anfibio, seis reptiles (dos tortugas, tres lagartijas y un cocodrilo), un ave y 24 mamíferos. La localidad más rica en cuanto a número de especies es Potrero Zietla, con 18. De acuerdo con Castillo, *et al* (1996), faltan aún varias especies de vertebrados fósiles por determinar y describir, en particular de microvertebrados (peces, anfibios, reptiles, aves y pequeños mamíferos).

El continuo desarrollo de los programas de investigación, el estudio que se realiza en las localidades fosilíferas del Estado y las investigaciones efectuadas sobre la fauna de vertebrados fósiles ayudan a conocer mejor la

bioestratigrafía estatal, así como a comprender más la perteneciente a la cuenca del Valle de México (Castillo, *et al*, 1996).

La Formación Atotonilco El Grande se ubica en el estado de Hidalgo en el municipio de Atotonilco en la comunidad de Sanctorum, correspondiente al Cenozoico, en el periodo Terciario y en la época del Plioceno.

El Terciario cubre un intervalo de tiempo comprendido entre 65 y 1.64 m.a. Las subdivisiones realizadas, tanto a nivel de sistemas, como a nivel de pisos, han sido un antiguo objeto de discusiones y controversias. Actualmente, se reconocen dos periodos, el Paleogeno, dividido en Paleoceno, Eoceno y Oligoceno, y el Neogeno, dividido, a su vez, en Mioceno y Plioceno (Municio, 1997). En particular, se hará énfasis en la última época, correspondiente a la formación en estudio.

El Plioceno es el último subsistema del Terciario y, con cinco millones de años, se ubica como el más corto de la escala estratigráfica (Aubouin, 1981).

En el plano paleontológico, el Plioceno se caracteriza por una fauna y una flora casi idénticas a las actuales; más del 50% de especies son ya las actuales, con una distribución geográfica diferente en función de los límites climáticos ligeramente diferentes (Municio, 1997).

En México, la paleogeografía del Plioceno es poco diferente de la geografía actual. Sobre el territorio mexicano el vulcanismo está esencialmente ligado a un juego de fallas en extensión que da nacimiento a vastas coladas de basaltos de las mesetas en la parte septentrional; en cuanto a los grandes dispositivos del eje Neovolcánico transmexicano (Popocatepetl y el Pico de Orizaba), se les asocia generalmente a la subducción de la placa Cocos al nivel de la fosa de Acapulco sin que la geoquímica del vulcanismo ni la sismicidad aporten argumentos decisivos. Finalmente, los grabens (bolsones) del norte y del noroeste mexicano son la sede de depósitos terrígenos lacustres, ricos en vertebrados fósiles (Aubouin, 1981).

Los climas fueron más cálidos que los actuales, tal como lo testimonian la flora y la fauna; aunque son menos cálidos que en el Mioceno, ya que los límites climáticos se han desplazado ligeramente hacia el Ecuador (Aubouin, 1981). Municio (1997) señala que el Plioceno se caracteriza por un deterioro climático generalizado.

Durante el Mioceno y el Plioceno se asiste una disminución de las palmeras, así como a la multiplicación, simultánea de la vegetación más septentrional, caracterizada por plantas de hoja caduca. A consecuencia del enfriamiento climático que tuvo lugar en la última parte de la era Cenozoica (caracterizada preferentemente por condiciones cálido-húmedas), tanto la fauna como la flora conocieron una progresiva expansión y afianzamiento de las formas frías sobre las cálidas, en donde desaparecieron numerosas especies, pero permanecieron los mismos géneros. Las primeras formas que se extinguieron fueron aquellas que presentaban rasgos tropicales más acusados; en el Plioceno inferior se extinguió aproximadamente el 80% de las especies de moluscos, frente al 40% en el Plioceno superior (Municio, 1997).

A partir de la relación $^{18}\text{C}/^{16}\text{C}$ se ha podido calcular que la disminución de la temperatura de las aguas superficiales fue de aproximadamente 9°C , pasando de 24 a 15°C (Municio, 1997). Por otra parte, estudios realizados por científicos rusos, sugieren que las temperaturas promedio en verano en el Hemisferio Norte fueron aproximadamente de 3 a 4°C más altas que los valores de temperatura actuales. Las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono fueron estimadas en cerca de 600 ppm, es decir, dos veces más altas que los valores preindustriales. Se han proporcionado concentraciones más bajas de dióxido de carbono; por lo que existe cierta incertidumbre acerca de la extensión por la cual las concentraciones de dióxido de carbono fueron más altas en el Plioceno que los valores actuales (Houghton, et al, 1991).

Por otra parte, una plétora de familias modernas de anuros hizo su primera aparición en Norteamérica durante la época anterior al Plioceno; entre las cuales se encuentran la familia Bufonidae, Ranidae, Pelodytidae, Microhylidae y Leptodactylidae. Entre algunos géneros modernos que hicieron su primer aparición están *Bufo* (Bufonidae), *Rana* (Ranidae), *Gastrophryne* (Microhylidae), *Leptodactylus* (Leptodactylidae), *Acris* y *Pseudacris* (Hylidae) (Holman, 1995).

Generalidades de la Formación Atotonilco El Grande.

Como se hizo mención en párrafos anteriores, existen depósitos terrígenos lacustres, ricos en plantas fósiles donde se han encontrado varias especies de vertebrados.

En la zona de estudio aflora la Formación Atotonilco El Grande, la cual se encuentra sobreyaciendo discordantemente a las Formaciones El Abra, Tamabra y Soyatal, así como también al Conglomerado Amajac (*Fig. 1*) y al Grupo Pachuca; su contacto superior es discordante con derrames basálticos. Por las características litológicas, sedimentológicas y estratigráficas que presenta la Formación Atotonilco El Grande se interpreta que se acumuló en un ambiente lacustre.

El origen de la Formación se debió al cierre temporal del río Amajac. 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 metros de espesor. Al realizar el estudio estratigráfico de una secuencia podemos obtener información de las condiciones de depósito, energía del agente, y condiciones bajo las cuales se desarrollaron la flora y fauna que allí fosilizó. La localidad de Sanctorum que pertenece a la Formación Atotonilco El Grande, ha sido estudiada desde el punto de vista geológico; la litología de dicha Formación, puede dividirse con base en sus características litológicas, en cuatro unidades, mismas que en orden ascendente de la base a cima son: 1) Conglomerado, 2) Toba pumicitica, 3) Arcillas, limos y conglomerados y 4) Coladas de basalto, descritas por Salvador (2001) en una columna estratigráfica que se muestra en páginas posteriores. Los anuros fosilizados se encontraron en las limolitas (*Fig. 2*).

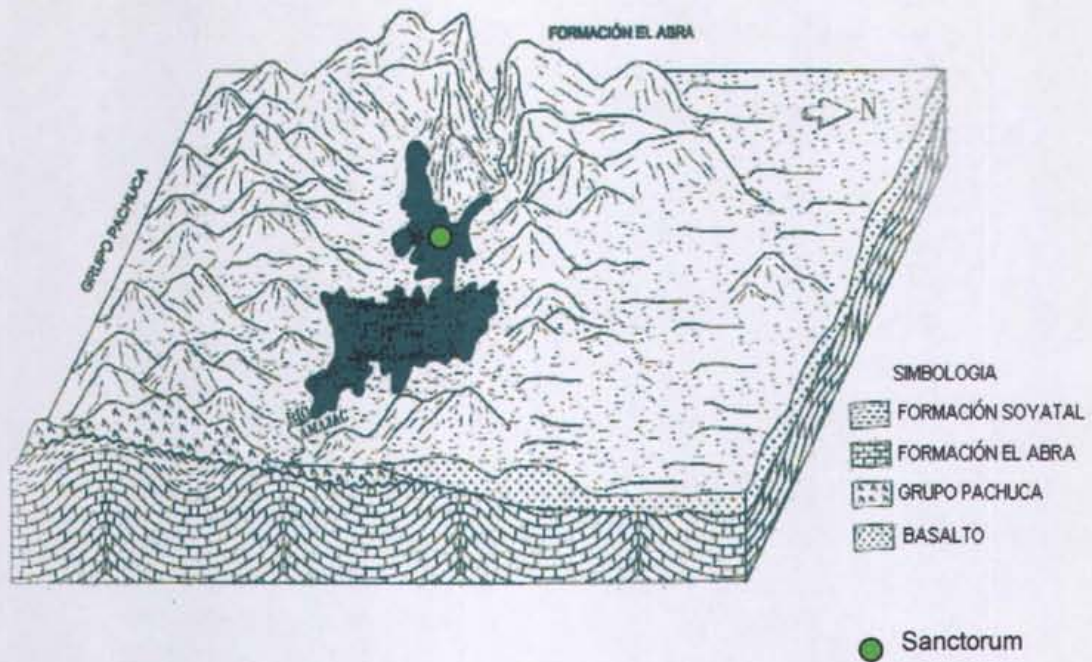


Fig 1. Diagrama esquemático del Paleolago de Amajac.

(Salvador, 2001)

Factores que influyen en el proceso de fosilización.

La fosilización conserva esencialmente partes duras de los fósiles tales como las conchas o los huesos, no obstante, también organismos blandos han sido en ocasiones fosilizados, en particular de epitelios de anuros eocénicos en Geiseltal, Alemania (Aubouin, 1981). Otra particularidad, es que la fosilización no concierne solamente a individuos adultos: se conocen también series de crecimiento, por ejemplo en los anfibios (estegocéfalos del grupo de los bentosúquidos), en ciertos reptiles eosuquios, en los dinosaurios, etc. Las etapas de este crecimiento son a veces registradas en la misma estructura del fósil (Aubouin, 1981).

Dentro de la clase Amphibia, es sabido que la parte prioritaria a fosilizar es el esqueleto, debido a su componente mineralógico. Sin embargo, éste sufre ciertas deformaciones después de la muerte del organismo y antes de iniciar el proceso de fosilización; lo cual incluye todas las variaciones y deformaciones del esqueleto como resultado de la pérdida de huesos

después de la muerte y de algunos daños causados por la presión mecánica (el peso del material acumulado, la presión del agua o la corriente de la misma) o por la acción de algunos animales (peces, insectos acuáticos, renacuajos, entre otros). Los huesos, no existe duda que también pueden perderse por la presión del gas, el cual se origina en los cuerpos de los animales muertos.

Estas deformaciones se manifiestan al comenzar a romperse el esqueleto completamente y/o en partes aisladas, con fracturas y desviaciones. También son frecuentes los casos de pérdida y cambio parcial en la posición de los huesos de la mandíbula, lo que así da la impresión de una diferente forma del cráneo (Spinar, 1972).

Los cambios del esqueleto o los cambios en los huesos que se presentan después de la muerte, seguidos del proceso de fosilización ocurren muy frecuentemente y pueden ser fácilmente distinguidos en ocasiones del material obtenido. En la mayoría de los casos, la fosilización continua es dañada por fracturas producidas por la presión tectónica, o la sedimentación que cubre sólo pequeñas partes de los huesos y puede así llevar a una mala interpretación de su forma o talla. Por otro lado, fenómenos comunes han sido revelados para dar una falsa impresión de la forma (la parte fracturada o astillada del hueso). Este efecto sobre los huesos del fósil es una fuente frecuente de confusión en estudios de pequeños osículos o sus procesos (Spinar, 1972).

Se ha demostrado que la variación de individuos con la edad y el sexo es frecuente en algunas familias, así como las deformaciones; por lo que es necesario que las nuevas especies y géneros de anuros fósiles sean descritas con mucha precaución de manera que se eviten descripciones de unidades de la nueva sistemática basadas meramente en algunas categorías mencionadas anteriormente, para evitar hacer el trabajo en vano (Spinar, 1972).

Columna Estratigráfica de Sanctorum, Hidalgo

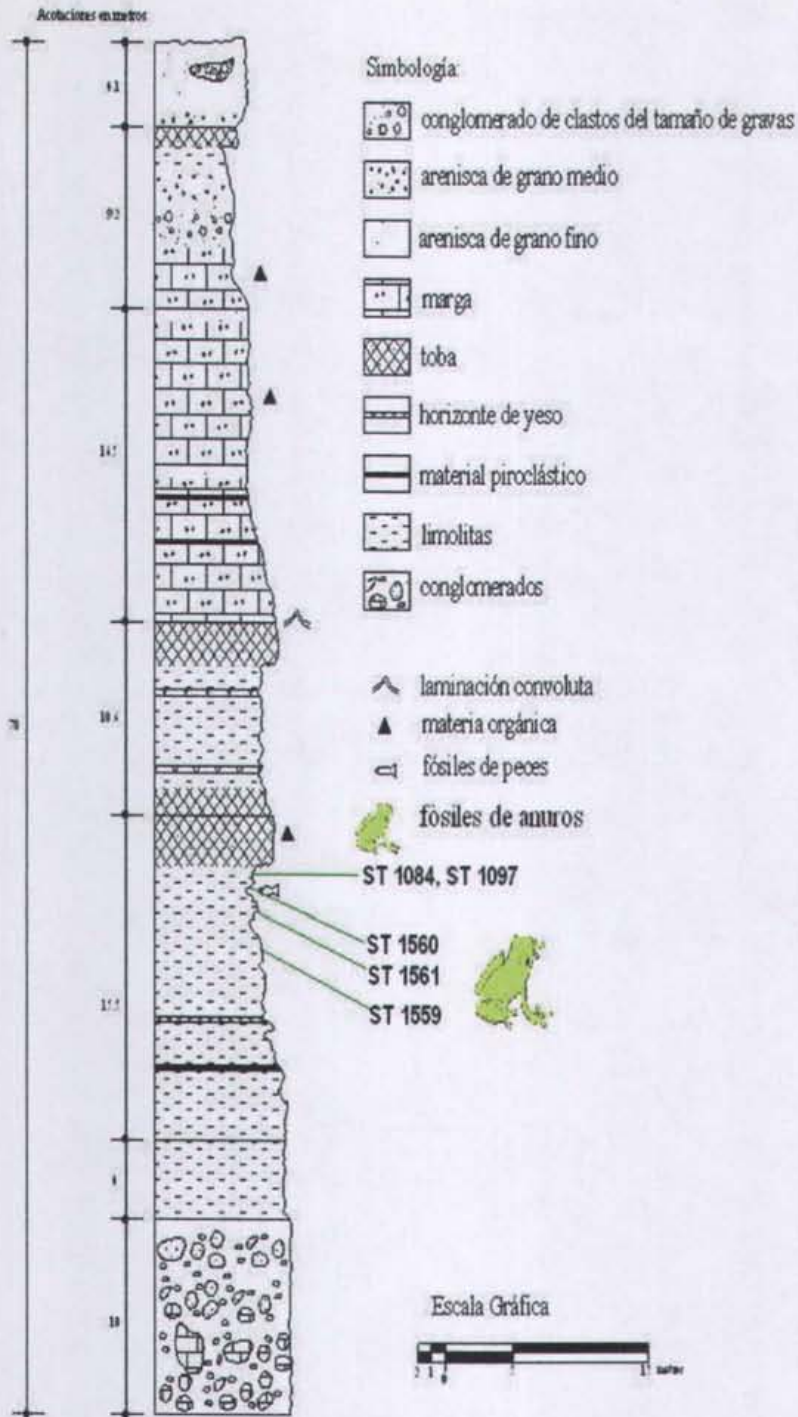


Fig. 2. Ubicación de anuros fósiles en la columna estratigráfica de la zona de estudio

(Salvador, 2001)

Las principales subdivisiones taxonómicas del orden Anura que generalmente están reconocidas están basadas en los cinco tipos diferentes de columna vertebral, específicamente la vértebra sacra: Diplasiocoela, Procoela, Anficoela, Opistocoela y Anomocoela.

Las categorías más pequeñas están usualmente definidas en juegos de caracteres que involucran al cráneo (particularmente el prevomer, la presencia o ausencia de dientes y el oído medio), la cintura pectoral, la naturaleza de las falanges terminales, la lengua, la musculatura, la glándula parótida, presencia o ausencia del órgano de Bidder y ciertas características externas y proporciones. De esta incompleta pero representativa lista, es evidente que relativamente pocos caracteres están actualmente disponibles en el trabajo con anuros fósiles. La naturaleza de la columna vertebral puede frecuentemente ser determinada, así como algunos caracteres del cráneo. El uso del criterio mencionado por Noble (1930), puede ser posible para una condición arciferal o firmisterna en la cintura pectoral. Las falanges terminales pueden o no estar presentes. Así, la oportunidad para una identificación exacta depende de la naturaleza e integridad de la preservación y de la posibilidad de hacer una identificación sin recurrir a estructuras usualmente no fosilizadas (Schaeffer, 1949; Duellman, 1970).

Desde el punto biogeográfico, el registro fósil para los anuros es tan incompleto que no ha sido posible establecer con certeza el área de origen. Lo mejor que se ha hecho es conjuntar todas las líneas evidentes posibles que pueden ser derivadas de la biogeografía, adaptaciones ecológicas y estados de carácter de las formas actuales para apoyar el fragmentado registro fósil y realizar la mejor estimación del área de origen.

El trabajo de *Bufo* (Bogart, 1972b) ilustra los tipos de información que pueden ser utilizados para incrementar la probabilidad de una conclusión correcta. En esta instancia, los puntos fuertemente evidentes sugieren a América-Sudamérica o Sureste de Norte América como el área de origen.

El registro fósil, es consistente con esta conclusión. Existen varios puntos principales:

- 1) El fósil de anuros más antiguo conocido pertenece al Jurásico de Sudamérica, estableciéndose así la existencia de las ranas a lo largo del presente continente americano antes del origen de *Bufo* (Reig, 1961).
- 2) Los leptodactílidos, de los cuales surgieron los bufónidos, estuvieron presentes en Sudamérica en el Terciario temprano, e inequívocamente, fósiles de estas ranas han sido encontrados solamente en América y en Australia.
- 3) El fósil más antiguo conocido de *Bufo* proviene de América.

Teniendo presente las inadecuaciones del registro fósil de anuros, la información existente es interpretada lógicamente partiendo del centro de Gondwana como el lugar de evolución de los anuros de acuerdo a la hipótesis de Reig (1960) y Casamiquela (1961).

Antecedentes sobre paleontología de anuros.

La paleontología de anuros no es común en México, pues se cuenta con pocos antecedentes de la misma, particularmente la clase Amphibia, ha sido poco estudiada (*Tabla 1* y *Tabla 2*), dada la baja disponibilidad de material fósil, aunado al estado de conservación del mismo. Para el estado de Hidalgo, se tiene el siguiente registro, **considerado el de mayor edad para México:**

- *Nombre común:* Rana.

Edad: Mioceno.

Rango estratigráfico: Mioceno tardío hasta la actualidad.

Material fósil: Fragmento de la porción distal de una tibio-fibula y varios elementos poscraneales.

Registro fósil: Este género ha sido mencionado en el Pleistoceno tardío de Tamaulipas y del estado de México.

Familia: Ranidae.

Género: *Rana*.

Especie: *Rana* sp.

(Castillo, *et al* 1996).

EDAD	LOCALIDAD	MATERIAL	FAMILIA	GÈNERO Y ESPECIE	INVESTIGADOR Y AÑO
Pleistoceno Tardío	Cueva del Abra, Tamaulipas	—————	Leptodactylidae	<i>Leptodactylus fitzinger</i>	Holman, 1969
Pleistoceno	Cueva del Abra, Tamaulipas	Húmero izq. y der., ilium der., tibia fibula izq. y der.	Rhinophrynidae	<i>Rhinophrynus dorsalis*</i>	Holman, 1969
Pleistoceno	Cueva del Abra, Tamaulipas	Parte proximal del ilium izq.	Leptodactylidae	<i>Syrhophus cf Syrphophus campi</i>	Holman, 1969
Pleistoceno	Cueva del Abra, Tamaulipas	Parte posterior de la cintura pélvica incluyendo partes posteriores de ambos ilium, ilium izq. y der.	Leptodactylidae	<i>Leptodactylus cf Leptodactylus labialis</i>	Holman, 1969
Pleistoceno Medio	Sonora	—————	Bufoidea	<i>Bufo laurenti, Bufo alvarius</i>	Shaw, 1982
Plioceno Medio	Chihuahua	—————	Bufoidea	<i>Bufo campi</i>	Brattstrom, 1955
Pleistoceno	Cueva Actun Spukil, Yucatán	—————	Bufoidea	<i>Bufo horribilis**</i>	—————
Pleistoceno	Yucatán	—————	Bufoidea	<i>Bufo valliceps</i>	—————
Plioceno	Estado de México	—————	Bufoidea	<i>Bufo sp</i>	Brattstrom, 1953
Pleistoceno	Cueva de Abra, Tamaulipas	Dos ilium izq. y der., dos tibiofibulas, dos radiolnas	Ranidae	<i>Rana pipiens*</i>	Holman, 1969
Pleistoceno	Estado de México	—————	Ranidae	<i>Rana pipiens***</i>	Holman, 1969
Pleistoceno	Estado de México	—————	Ranidae	<i>Rana sp</i>	Brattstrom, 1955

Tabla 1. Registros previos de anuros fósiles en México (modificado de Holman, 1970)

* Pertenciente a Midwestern University, No. 8086 (1er. ejemplar), 8087 (2do. ejemplar), 8088 (3er. ejemplar) y 8089 (4º. ejemplar), Estados Unidos.

** Pertenciente a American Museum of Natural History, Estados Unidos.

*** Pertenciente al INAH, México.

A nivel mundial se tienen los siguientes registros de anuros fósiles, resumidos en la Tabla 2:

EDAD	LOCALIDAD	FAMILIA	GENERO Y ESPECIE	INVESTIGADOR Y AÑO
Cretácico Tardío Cretácico Temprano	Noroeste de Argentina, Israel	Pipidae	<i>Saltenia ibanezi</i>	Haughton, 1931; Reig, 1954 Nevo, 1968
Pleistoceno Oligoceno Mioceno u Oligoceno	Florida, Estados Unidos Argentina Fuera de Sudamérica	Bufo	<i>Bufo terrestris</i>	Tihen, 1962 Hecht, 1963
Pleistoceno Oligoceno y Paleoceno	Florida, Estados Unidos Brasil	Hylidae	<i>Hyla</i>	Holman, 1968
Pleistoceno Oligoceno	Florida, Estados Unidos	Ranidae	<i>Rana pipiens</i>	Estes, 1970
Jurásico Tardío	Argentina	Ascaphidae	<i>Notobatrachus deginstoi</i>	1961
Jurásico Tardío o Cretácico Temprano	España	Discoglossidae	<i>Eodiscoglossus santonjae</i>	Estes, 1969; 1970; Friant, 1970
Oligoceno Eoceno, Plioceno Jurásico Tardío o Cretácico Temprano	Checoslovaquia	Palaeobatrachidae	<i>Palaeobatrachus grandipes</i>	Spinar, 1963; Grazzini y Mlynarski, 1969 Seiffert, 1972
Oligoceno, Paleoceno-Eoceno	Wyoming, Estados Unidos	Rhinophrynidae	<i>Rhinophrynus, Eorhinophrynus</i>	Hecht, 1959; Holman, 1963
Cretácico	Wyoming, Estados Unidos	Pelobatidae	<i>Eopelobates</i>	Estes, 1964; 1970
Mioceno	Norteamérica	Pelodytidae	—————	Taylor, 1941; Cavender
Paleoceno	Brasil, Sudamérica	Leptodactylidae	<i>Eupsophus</i>	Schaeffer, 1949
Oligoceno	Argentina	Leptodactylidae	<i>Calyptocephalella</i>	Hecht, 1963
Cretácico	Texas; Wyoming, Estados Unidos	Leptodactylidae?	—————	Estes, 1964
Plioceno, Mioceno	Argentina	Ceratophrynidae	<i>Wawelia</i>	Lynch, 1971
Oligoceno, Paleoceno	Brasil	Hylidae	<i>Hyla</i>	Holman, 1968
Oligoceno	—————	Ranidae	—————	Estes, 1970
Mioceno	Florida, Estados Unidos	Microhylidae	—————	Holman, 1967

Tabla 2. Registros previos de anuros fósiles a nivel mundial*

* No hay ninguna otra familia con representantes fósiles.

(Estes y Reig, 1973)

CLASE AMPHIBIA.

Generalidades.

Son vertebrados poiquiloterms, generalmente cuadrúpedos, de tamaño pequeño o mediano, con cráneo aplanado y muy sencillo comparado con el de los peces óseos. El cráneo se articula al esqueleto axial a través de dos cóndilos. La piel es desnuda, la epidermis está poco cornificada y sus capas externas se regeneran regularmente. La piel contiene siempre glándulas mucosas y muy a menudo glándulas venenosas, así como células pigmentarias. Los anfibios metamorfoseados suelen poseer verdaderos dientes en las mandíbulas y en los palatinos. Vértebras y columna vertebral de distintas formas; el esternón no está nunca unido a las costillas. La pelvis, cuando existe, está unida rígidamente con los apéndices transversales de la vértebra sacra. Su respiración es por diversos sistemas, sobre todo a través de la piel, la mucosa bucal, los pulmones o las branquias. Llevan a cabo una reproducción externa, a excepción del género *Nectophrynoides*, y sus huevos no presentan cáscara ni amnios. El desarrollo de la mayoría de anfibios ocurre a través de una metamorfosis desde la larva acuática de respiración branquial, hasta el anfibio, capacitado para una vida terrestre limitada (Ziswiler, 1978).

Clasificación.

Reino Animal

Phylum Cordata

Clase Amphibia

Subclase Labyrinthodontia (Fósil)

Subclase Lepspondyli (Fósil)

Subclase Lissamphibia (Anfibios recientes)

Superorden Batrachia (Anuros y urodelos)

Orden Anura (Salientia) (Ranas y sapos)

Suborden Archaeobatrachia (Ranas primitivas)

Superfamilia Discoglossoidea

Familia <u>Ascaphidae</u>	Ranas coludas	(2 especies)
Familia <u>Bombinatoridae</u>	Sapos Vientre de fuego	(10 especies)
Familia <u>Discoglossidae</u>	Ranas Lengua de disco	(10 especies)

Familia <u>Leiopelmatidae</u>	Ranas de Nueva Zelanda	(4 especies)
Superfamilia Pelobatoidea		
Familia <u>Megophryidae</u>		(136 especies)
Familia <u>Pelobatidae</u>	Sapos Pie de espada	(11 especies)
Familia <u>Pelodytidae</u>	Ranas Perejil	(3 especies)
Superfamilia Pipoidea		
Familia <u>Pipidae</u>	Ranas sin lengua	(30 especies)
Familia <u>Rhinophrynidae</u>	Sapo agujereado	(1 especie)
Suborden Neobatrachia (Ranas avanzadas)		
Superfamilia Bufonoidea		
Familia <u>Brachycephalidae</u>	Sapos Lomo-ensillado	(6 especies)
Familia <u>Bufo</u> nidae	Sapos verdaderos	(454 especies)
Familia <u>Heleophrynidae</u>	Ranas fantasma	(6 especies)
Familia <u>Leptodactylidae</u>	Ranas sureñas	(1117 especies)
Familia <u>Myobatrachidae</u>	Ranas terrestres australianas	(122 especies)
Familia <u>Rhinodermatidae</u>	Ranas de boca empolladora	(2 especies)
Familia <u>Soo</u> glossidae	Ranas isleñas	(4 especies)
Superfamilia Hyloidea		
Familia <u>Allophrynidae</u>		(1 especie)
Familia <u>Hylidae</u>	Ranas arborícolas	(841 especies)
Familia <u>Pseudidae</u>	Ranas acuáticas de Sudamérica	(8 especies)
Familia <u>Centrolenidae</u>	Ranas de vidrio	(139 especies)
Superfamilia Ranoidea		
Familia <u>Arthroleptidae</u>	Ranas terrestres del Sub-Sahara	(76 especies)
Familia <u>Dendrobatidae</u>	Ranas venenosas, ranas dardo	(215 especies)
Familia <u>Hemisotidae</u>	Ranas Pala olfateadora	(9 especies)
Familia <u>Hyperoliidae</u>	Ranas lengüeta, Ranas del Viejo Mundo	(256 especies)
Familia <u>Mantellidae</u>	Mantella	(145 especies)
Familia <u>Microhylidae</u>	Ranas de boca ancha	(349 especies)
Familia <u>Scaphiophryninae</u>		(9 especies)
Familia <u>Ranidae</u>	Ranas verdaderas	(719 especies)
Familia <u>Rhacophoridae</u>	Ranas voladoras, Ranas del Viejo Mundo	(214 especies)

Tomado de Miller, J. <http://www.livingunderworld.org/anura/families/>

De las ocho familias que se encuentran reportadas para México, a continuación se enlistan los géneros y especies actuales presentes en el estado de Hidalgo; las especies marcadas con un asterisco corresponden al listado actual propuesto por Luna, *et al* (2004) para el mismo estado:

Familia Bufonidae

Género *Bufo*

Especie *Bufo horribilis*

*marinus**

*nebulifer**

*occidentalis**

simus

valliceps

Familia Hylidae

Género *Smilisca*

Scinax

Phrynohyas

Hyla

Especie *Smilisca baudinii baudinii*

*Scinax staufferi**

*Phrynohyas venulosa**

Hyla arenicolor

bistincta

bromeliana

*charadricola**

eximia

lafrentzi

miotympanum

*picta**

*plicata**

robertsorum

*taeniopus**

Familia Leptodactylidae

Género *Tomodactylus*

Syrrophus

Eleutherodactylus

Leptodactylus

Especie *Tomodactylus macrotyimpanum*

Syrrophus latodactylus

verruculatus

verrucipes

Eleutherodactylus hidalgoensis

*augusti**

*cystignathoides**

*decoratus**

*longipes**

*mexicanus**

*rhodopis**

*verrucipes**

*Leptodactylus fragilis**

Familia Microhylidae

*Hypopachus variolosus**

Familia Scaphiopodidae

Gènero *Scaphiopus*

Spea

Especie *Scaphiopus couchi**

*Spea bombifrons**

*multiplicatus**

Familia Ranidae

Género *Rana*

Especie *Rana*

*berlandieri**

*catesbeiana**

*johni**

montezumae

*spectabilis**

(Luna, et al, 2004; Smith y Taylor, 1966)

Distribución.

Los anfibios habitan todos los continentes a excepción de la Antártica. Su distribución está limitada principalmente por factores ambientales; los más importantes de acuerdo a Ziswiler (1978) son:

- La sequía, que sólo unas pocas especies pueden soportar cuando es elevada.
- El agua de mar.
- La poiquilotermya, que imposibilita a los anfibios la vida en zonas permanentemente heladas.

El éxito que los distintos órdenes de anfibios han conseguido en su distribución es muy variado. Los anuros son los que han tenido más éxito, tanto en la riqueza de especies, como en la zona de distribución.

Hábitat.

Los hábitats principales de los anfibios actuales son:

- Orillas de todo tipo de agua dulce.
- Zonas pantanosas.
- Las copas de árboles situados cerca del agua.
- Sistemas de aguas subterráneas.
- Cuevas con agua.

Alimentación.

Todos los anfibios metamorfoseados tienen una alimentación casi exclusivamente animal y prefieren capturar objetos móviles que reconocen sobre todo con la vista.

En la alimentación de muchos anuros dominan los *insectos*. En las ranas del género *Rana*, éstos constituyen aproximadamente el 75% de la dieta, mientras que el resto lo componen arañas, moluscos, gusanos y otros muchos animales pequeños; algunas veces pueden apresar también animales mayores, como por ejemplo pequeñas aves canoras. Algunos anuros se han especializado en vertebrados mayores; por ejemplo, las ranas comudas del género *Ceratophrys* devoran ratones y pájaros, las ranas mugidoras (*Rana catesbeiana*) pueden apresar incluso ratas y polluelos de gallinas y patos.

Si las condiciones de temperatura y oferta de alimentos son favorables, los anfibios son capaces de ingerir mucho alimento; en caso contrario pueden ayunar durante más de un mes (Ziswiler, 1978).

Edad.

La importancia de la edad no es cuánto vive un individuo, sino el tiempo que requiere para alcanzar la mayor parte de los eventos de la historia de su vida. Desde la depositación del huevo hasta el nacimiento, la madurez sexual y la senilidad reproductiva son los eventos principales.

Los rangos de edad de madurez sexual van de los 4 a los 6 meses (*Arthroleptis poecilnotus* / Ranidae) hasta los 7 años (*Cryptobranchus*). Estos extremos tan marcados reflejan diferencias en la talla de adulto sólo en una parte, porque no todas las especies pequeñas maduran rápidamente o por el

contrario, las especies grandes, lentamente. La edad de madurez es un compromiso entre muchas variables de presión selectiva con la meta de maximizar la contribución individual para la próxima generación. La madurez y reproducción rápida es un método para alcanzar esta meta; sin embargo, los adultos más pequeños tienden a experimentar predación mayor (Zug, 1993).

A continuación, se presentan datos referentes a la talla y la edad en algunas especies de anuros:

Especies	Macho	Hembra	Talla en metamorfosis	Talla en hibernación	1 año	2 años	3 años	4 años
<i>Ascaphus truei</i>	55	56	26	—	32	38	44	49
<i>Bombina bombina</i>	56	56	17	22	35	45	—	—
<i>Scaphiopus holbrookii</i>	77	71	10	—	42	50	53	—
<i>Bufo americanus</i>	100	115	10	30	70	88	—	—
<i>Bufo bufo</i>	75	83	10	17	30	47	60	—
<i>Bufo quercicus</i>	26	30	7	18	27	—	—	—
<i>Hyla regilla</i>	44	—	14	21	34	—	—	—
<i>Rana catesbeiana</i>	—	155	45	53	93	123	138	—
<i>Rana clamitans</i>	103	105	32	38	66	83	89	—
<i>Rana pipiens</i>	82	93	25	47	67	73	—	—
<i>Rana pretiosa</i>	61	72	16	25	35	42	48	—
<i>Gastrophryne olivacea</i>	37	42	15	20	31	—	—	—

Tabla 3. Grados de desarrollo postmetamorfósico de anuros de zonas templadas revelados por estudios de poblaciones nacionales*

* Todas las medidas están dadas en milímetros (longitud hocico-cloaca) y representan valores de media o moda. Para macho y hembra, los valores mostrados representan la talla máxima.

Duellman y Trueb (1986).

Comportamiento.

- *Defensa ante enemigos.*

Para este caso, se hallan las numerosas glándulas venenosas en la mayoría de los anfibios. Estas glándulas están muy desarrolladas en las salamandras, los sapos y las ranas arborícolas. En ocasiones también en las larvas para una cierta protección (Ziswiler, 1978).

- *Coloración.*

Esta propiedad les da un camuflaje para despistar a sus enemigos. Por ejemplo, los colores amarillo-negro son contrastantes de la salamandra de fuego, o el color rojo o amarillo del abdomen de ciertas ranas que se colocan sobre la espalda cuando se les acerca un enemigo. La rana terrestre intenta engañar a su enemigo hinchándose y aumentando el volumen de su cuerpo (Ziswiler, 1978).

- *Territorialismo.*

Algunas especies muestran este comportamiento sólo en las aguas de desove o en los territorios de alimentación. La defensa y marcaje de los territorios ocurre más bien a través de llamadas y comportamiento de amenaza a través de luchas activas.

Algunas especies de anfibios tienen buena capacidad de orientación, como lo demuestran al encontrar las aguas de desove de donde provienen (Ziswiler, 1978).

En la *fig. 3* se presenta la estructura ósea de un anuro, señalando en color azul las partes fosilizadas que es posible observar en los ejemplares de estudio de la Formación Atotonilco El Grande:

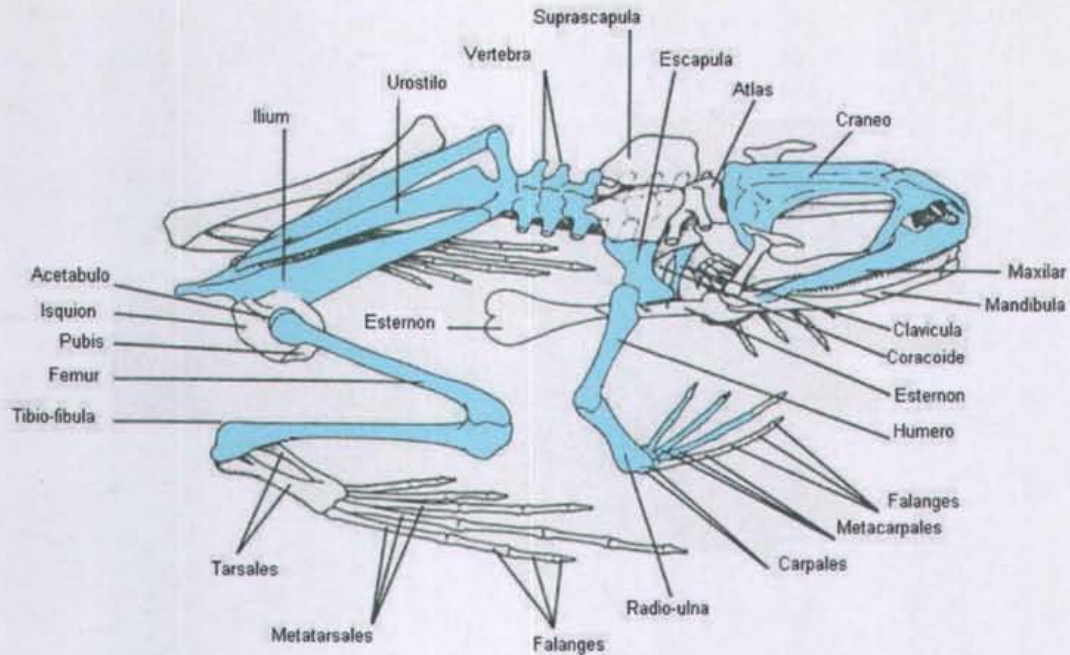


Fig. 3. Esqueleto de una rana actual

ORDEN ANURA.

Las ranas son los anfibios vivos más exitosos. Muchas especies tienen densas poblaciones y ocupan amplios rangos geográficos. En total, hay alrededor de 3800 especies de anuros. La diversidad y la antigüedad de muchos linajes, han hecho de los anuros difíciles de clasificar. Las ranas están divididas en 20 o más familias, y éstas a su vez se agrupan en dos o tres subórdenes. Las familias más primitivas contienen solamente pocas especies vivientes: Ascaphidae (ranas pequeñas del noroeste de Norte América), Leiopelmatidae (ranas pequeñas que habitan en áreas boscosas de Nueva Zelanda), Discoglossidae (ranas eurásicas de tallas que van de pequeñas a moderadas).

Un segundo grupo de ranas contiene a dos familias altamente especializadas (Pipidae, Rhinophrynidae) y a dos familias (Pelobatidae, Pelodytidae) que son estructuralmente intermediarias entre los anuros primitivos y los anuros avanzados, los cuales, incluyen una docena o más de familias, algunas solamente con una especie y otras con cientos de ellas Zug (1993).

Sistemática.

Caracteres importantes para la determinación del orden Anura.

La clasificación de los anfibios se considera definitiva a nivel de orden y familias, pues en subórdenes, aun existe incertidumbre. Los caracteres taxonómicos para la clasificación del grupo con *organismos actuales* son:

1. Tipo de estructura y articulación de las vértebras:

Características vertebrales:

- *Anficélico*. Cuerpo vertebral bicóncavo.
- *Pseudoanficélico*. Vértebra bicóncava con discos intervertebrales.
- *Opistocélico*. Cuerpo vertebral cóncavo detrás, convexo delante.
- *Procélico*. Cuerpo vertebral cóncavo delante, convexo detrás.
- *Diplasiocélico*. Vértebra presacra anficélica, las restantes procélicas.

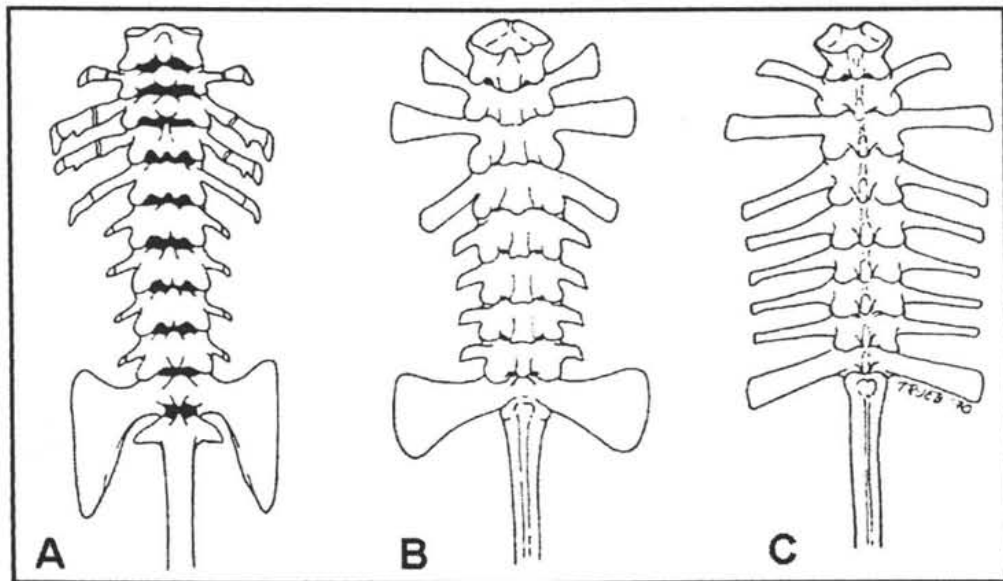


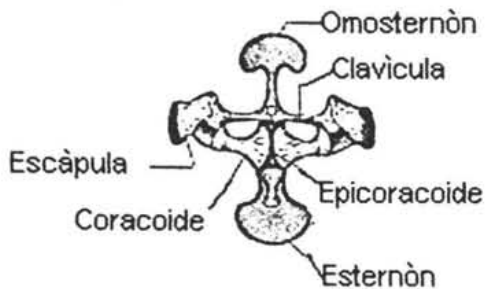
Fig. 4. Tipos de vértebras en anuros. **A:** Vértebra sacra expandida; **B:** Vértebra sacra moderadamente expandida o dilatada; **C:** Vértebra sacra cilíndrica.

2. Existencia y grado de desarrollo de las costillas.

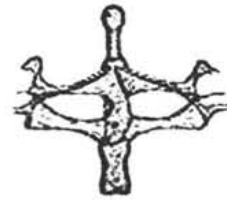
3. Forma y grado de osificación de la cintura escapular:

Firmisterna. En la que los epicoracoides están unidos en el centro del pecho.

Arciférica. En la que los epicoracoides son móviles.



Firmisterna



Arciferal

Fig. 5. Estructura de la cintura escapular o pectoral en vista ventral.

(Trueb, 1973).

4. Estructura de la cintura pélvica.

En la que la vértebra sacra puede estar unida rígidamente o articuladamente al hueso coccígeo (Urostilo).

5. En especial para los anuros, en cuanto a orden; la fusión de la ulna y el radio, y de la tibia y la fibula.

6. Forma de los extremos de los dedos.

7. Existencia y tamaño de membranas natatorias, que puede ser variable.

8. Morfología del cráneo.

- Existencia de un oído medio.
- Fusión de los parietales y los frontales, y de los angulares y prearticulares.

(Ziswiler, 1978)

En fósiles:

En los anuros, el *ilium* parece ser el mejor elemento para basarse en la identificación cuando sólo se encuentran disponibles huesos desarticulados fosilizados. La estructura osteológica del ilium (y una extensión menor, el sacro) refleja el modo de locomoción de estos animales; los cuales pudieron ser saltadores, trepadores, corredores, caminadores, etc. todos ellos, tienen una estructura del ilium diferente, especialmente, en la parte posterior del hueso, donde se encuentran ligamentos importantes y músculos.

El ilium de los anuros puede dividirse en dos grupos:

1. Aquellos que poseen una cresta o espada ilial, comúnmente llamada *vexillum* en la terminología europea.
2. Y aquellos que carecen de dicha estructura.

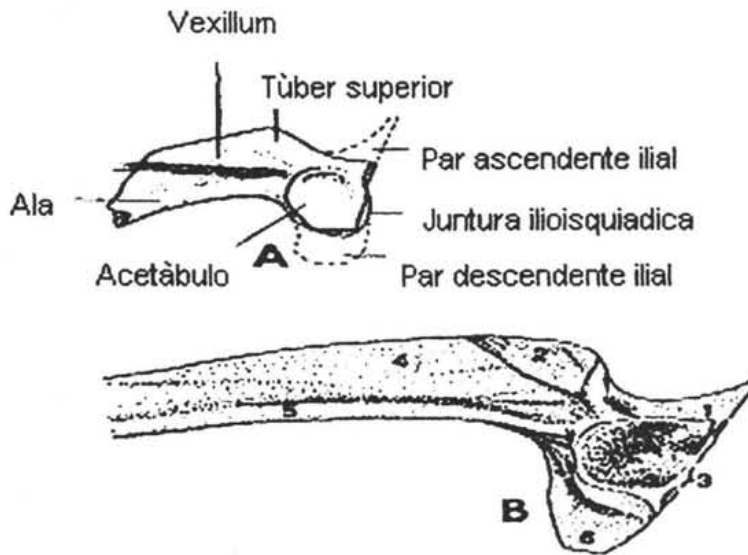


Fig. 6. Ilium de *Rana* indicando estructuras taxonómicamente importantes. **A.** *Rana pipiens* (Ranidae) con la terminología empleada en Europa. **B.** *Rana clamitans* (Ranidae); ilium izquierdo de un esqueleto actual ilustrando la terminología empleada en Norteamérica. 1. expansión dorsal acetabular; 2. prominencia dorsal (en ocasiones llamada vasta prominencia); 3. borde del acetábulo; 4. cresta o espada ilial; 5. eje ilial; 6. expansión ventral acetabular.

(Holman, 1995).

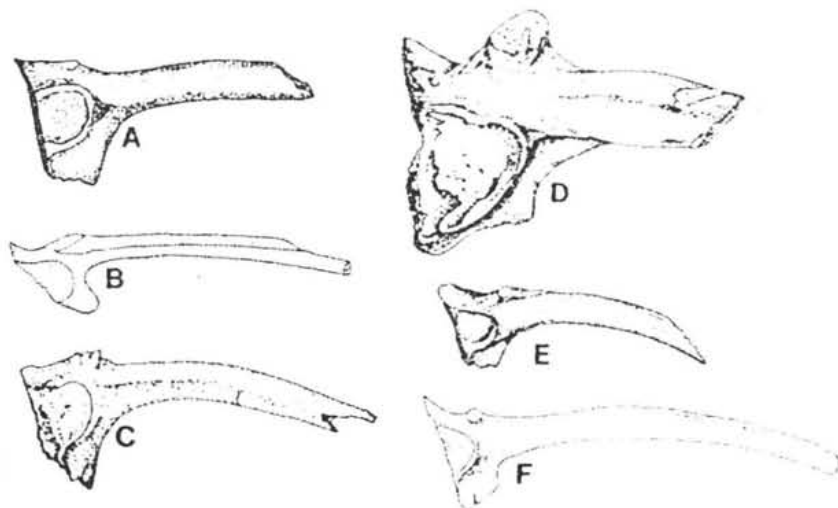


Fig 7. Ilium derecho de familias representativas de Norteamérica y presentes en Hidalgo. **A.** *Scaphiopus holbrookii* (Pelobatidae). **B.** *Syrrhophus marnockii* (Leptodactylidae, esqueleto actual). **C.** *Bufo americanus* (Bufonidae). **D.** *Bufo woodhousii* (Bufonidae). **E.** *Acris crepitans* (Hylidae). **F.** *Hyla squirella* (Hylidae, esqueleto actual). Este tipo de ilium carece de cresta o espada ilial (Holman, 1995).

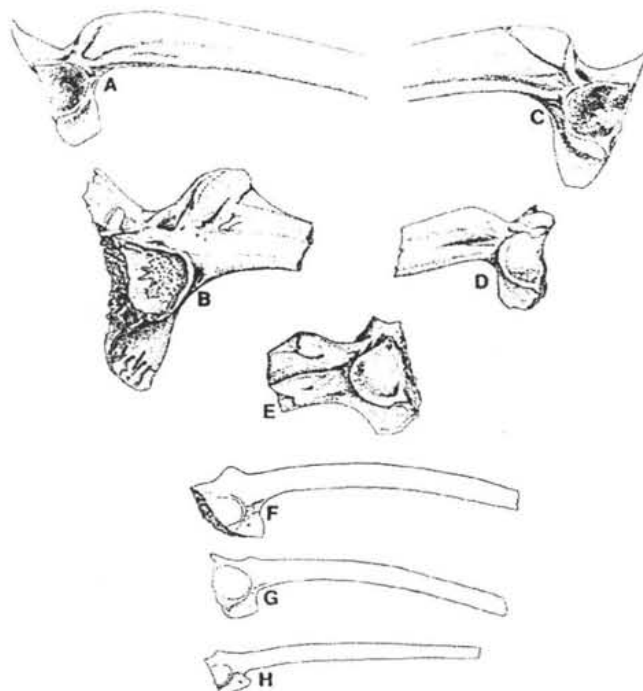


Fig. 8. Ilium representativo de familias de anuros en Norteamérica y presentes en Hidalgo. **A.** *Rana aerolata* (Ranidae, esqueleto actual, i.d). **B.** *Rana catesbeiana* (Ranidae, i.d). **C.** *Rana clamitans* (Ranidae, i.i). **D.** *Rana pipiens* (Ranidae, i.i). **E.** *Rana sylvatica* (Ranidae, i.i). **F.** *Hypopachus variolosus* (Microhylidae, i.d). **G.** *Gastrophryne carolinensis* (Microhylidae, esqueleto actual). **H.** *Gastrophryne olivacea* (Microhylidae, esqueleto actual). (i.d: ilium derecho; i.i: ilium izquierdo). Este tipo de ilium posee cresta o espada ilial.

(Holman, 1995).

En taxa en los que el ilium es de tipo cresta o espada ilial, el desarrollo relativo de ésta (lámina o solamente como espina), el tamaño y la forma son caracteres importantes. En ocasiones la parte posterior de la cresta esta compuesta por uniones de músculo bien desarrolladas que son taxonómicamente útiles.

En los taxa de anuros que carecen de espada o cresta ilial, la prominencia presente en la parte dorsal del ilium cercano a la faceta acetabular es importante. Esta prominencia puede estar ausente (por ej. en Pelobatidae); puede ser abierta y larga (por ej. algunos organismos de la familia Bufonidae); alta y estrecha por ej. algunos bufónidos); triangular (por ej. en Microhylidae); o redondeada y lo suficientemente dirigida lateralmente (por ej. en Hylidae).

Algunos trabajos han empleado la estructura del sacro como un elemento para la identificación de anuros fósiles. El sacro de los anuros consta de una vértebra sencilla con diapófisis sacrales dirigidas lateralmente. El sacro puede ser:

1. *Procoelouso*. Con un cótilo anterior y dos cóndilos posteriores (Bufonidae).
2. *Diplasiocoleuso*. Con un cóndilo anterior y dos posteriores (Ranidae).

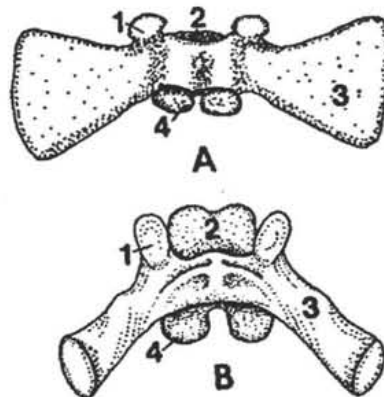


Fig. 9. Sacro de anuros. **A.** Sacro generalizado de *Bufo* (Bufonidae): 1. prezigapófisis; 2. cótilo dirigido anteriormente; 3. diapófisis sacral expandida; 4. cóndilos dirigidos posteriormente. **B.** Sacro generalizado de *Rana* (Ranidae): 1. prezigapófisis; 2. cóndilo dirigido anteriormente; 3. diapófisis sacral cilíndrica o redondeada; 4. cóndilos dirigidos posteriormente.

(Holman, 1995).

El rango de la diapófisis sacral va desde cilíndrico (Ranidae) hasta completamente expandido (Pelobatidae). En ocasiones, la vértebra sacra se fusiona al urostilo.

La convergencia de caracteres en el ilium y el sacro están basadas en las diferencias en el modo de locomoción presente en familias de anuros modernos (Holman, 1995).

En la *Tabla 4* se presenta una muestra de las diferencias principales entre las familias Bufonidae, Hylidae, Leptodactylidae y Ranidae, pues son las familias actuales que se distribuyen en el estado de Hidalgo y representan área de influencia para la zona de estudio.

Tabla 4. Diferencias principales entre las familias de anuros presentes en el estado de Hidalgo

(Duellman y Trueb, 1986; Duellman, 1975).

FAMILIAS	BUFONIDAE	HYLIDAE	LEPTODACTYLIDAE	RANIDAE
Carácter				
1) Tipo de vértebra	Procoela	Procoela	Procoela	Procoela/Diplasiocoela
2) Tipo de centro	Holocordal, pericordal	Holocordal, pericordal, epicordal	Holocordal, pericordal, epicordal	Holocordal, pericordal
3) No. de vértebras presacrales	5 – 8	8	8	8
4) Diapófisis sacral	Dilatada (moderadamente expandida)	Dilatada, cilíndrica en algunos	Cilíndrica	Cilíndrica
5) Cintura escapular	Arciferal o pseudofirmisterna	Arciferal	Arciferal	Firmisterna (Arciferal en pocas especies de <i>Rana</i>)
6) Maxilar y premaxilar	Edentados	Dentados	Dentados	Dentados o edentados
7) Palatinos	Presentes, ausentes en <i>Nectophryne</i> y <i>Pelophryne</i>	Usualmente presentes	Presentes	Presentes
8) Estado de la 1ª. y 2ª. vértebra presacral y vértebra posterior	1ª. y 2ª. vértebra presacral fusionada o no; vértebra posterior fusionada en algunos	Primer vértebra no fusionada a la segunda.	_____	_____
9) Fórmula de las falanges	Normal o reducida	Incrementada por la adición de cartílagos intercalares, falanges terminales en forma de uña (excepto <i>Allophryne</i>)	Normal 2-2-3-3 en extremidades anteriores 2-2-3-4-3 en extremidades posteriores	Normal 2-2-3-3 en extremidades anteriores 2-2-3-4-3 en extremidades posteriores

Utilización de la taxonomía numérica para la determinación de anuros fósiles

La sistemática biológica es una de las disciplinas científicas más antiguas, que han experimentado en los últimos 50 años una verdadera revolución y ésta se debe al surgimiento de la taxonomía numérica (cladística y fenética).

La cladística o sistemática filogenética pretende, mediante el uso de caracteres derivados compartidos o sinapomorfias, reconstruir las relaciones de ancestría-descendencia y definir los grupos taxonómicos basándose en el concepto de monofilia (Wiley, *et al*, 1991). Este concepto fue formalizado por W. Hennig (1968), quien lo usó para la reconstrucción de genealogías y la formación de sistemas de clasificación.

La fenética por su parte surge en la década de los 50 como resultado de la preocupación de los sistemáticos por la práctica intuitiva y poco precisa de su disciplina (Crisci y López, 1983). Algunas personas llaman a los feneticistas neoadansonianos, pues se dice que fue Michel Adanson (1727-1806) quien sentó las bases de la fenética. Este naturalista francés realizó algunos viajes por África tropical, y la flora y la fauna de estos lugares lo hicieron consciente de lo erróneo de la taxonomía basada en un solo o unos cuantos caracteres. En consecuencia consideró que el método natural de clasificación se obtenía solo tomando en cuenta todas las partes de las plantas o de los animales. Defendió el uso de tantos caracteres como fuera posible (Jones, 1988).

A mediados del siglo pasado, con la aparición de los ordenadores o computadoras, algunos investigadores como C. D. Michener, R. R. Sokal, P. H. A. Sneath, A. J. Cain o G. A. Harrison empezaron a proponer métodos computarizados para cuantificar las similitudes y agrupar a los taxa con el uso de métodos cuantitativos. Una de sus premisas sostiene que es posible desarrollar una metodología que, en términos cuantitativos, permita tanto a un experto como a una persona sin experiencia llegar básicamente a la misma clasificación (Jones, 1988).

El feneticismo, según Crisci y López (1983) sostiene los siguientes principios:

1. Las clasificaciones deben efectuarse con un gran número de caracteres, que deben ser tomados de todas las partes del cuerpo de los organismos y de todo su ciclo vital.
2. Todos los caracteres utilizados tienen la misma importancia en la formación de los grupos. Los organismos pueden ser clasificados tomando en cuenta todas sus características, sin dar un mayor valor *a priori* a ciertos caracteres (Hull, 1970).
3. La similitud total (o global) entre dos entidades es la suma de la similitud de cada uno de los caracteres utilizados en la clasificación.
4. Los grupos de taxa a formar se reconocen por una correlación de caracteres diferentes.
5. La clasificación es una ciencia empírica, en la cual la experiencia sensible desempeña el papel preponderante y, por lo tanto, está libre de inferencias genealógicas.
6. Las clasificaciones deben basarse exclusivamente en la similitud fenética. Se entiende por "fenético" cualquier tipo de carácter utilizable en las clasificaciones, incluyendo los morfológicos, ecológicos, etológicos, moleculares, anatómicos, citológicos y otros.
7. El número de taxa establecidos en cualquier rango es arbitrario, aunque debe ser coherente con los resultados obtenidos.

La Taxonomía Numérica se apoya de técnicas numéricas que permiten, mediante operaciones matemáticas, calcular la afinidad entre unidades taxonómicas con base en el estado de sus caracteres. En los últimos años se han desarrollado una gran cantidad de técnicas numéricas, pero a pesar de ello todas siguen un proceso muy semejante que se muestra a continuación en la *Fig 10*:

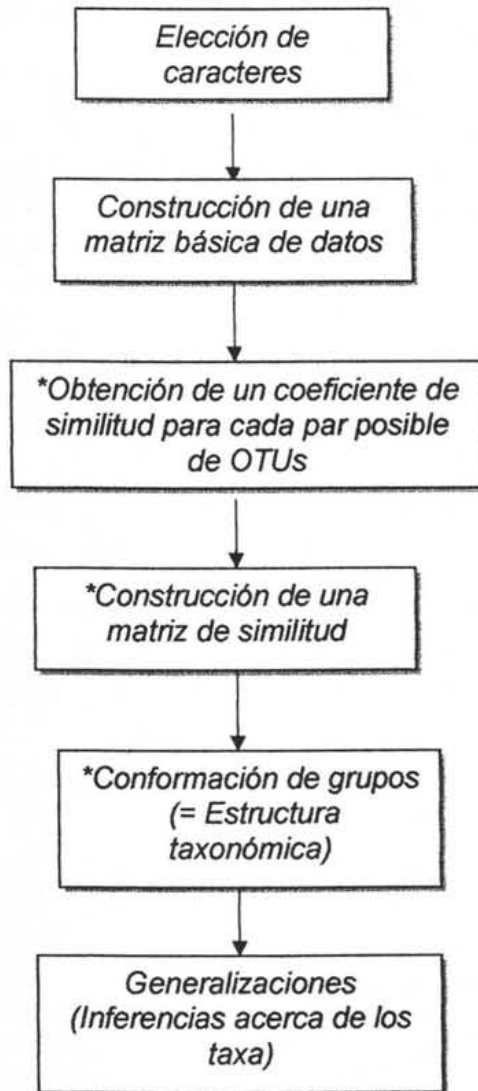


Fig 10. Diagrama que ilustra los pasos principales de un análisis numérico. Con un asterisco se indican aquellas actividades que se llevan a cabo por lo general con la ayuda de una computadora de acuerdo a Jones (1988).

Específicamente para ejemplares fósiles, no es posible tener un gran número de caracteres de todas las partes del cuerpo, ya que la mayor parte de ellos se pierde durante el proceso de fosilización. Sin embargo, el tejido óseo mantiene algunos caracteres importantes que pueden ser utilizados para la construcción de una matriz básica de datos como se hizo en este trabajo. Los caracteres empleados se mencionan más adelante.

JUSTIFICACIÓN

La paleontología de anuros es un área de estudio que ha recibido poca atención en México. La investigación con anfibios, particularmente el orden de las ranas y sapos (anura) está más desarrollada en organismos actuales, en los cuales se realizan estudios genéticos, ambientales o de reparto de recursos; sin embargo, el trabajo con fósiles de estos vertebrados, poco se realiza en nuestro país, al menos, por investigadores mexicanos. Algunas razones que sustentan esta situación pueden ser la baja cantidad de profesionales en el área, así como también la escasez del registro fósil de anuros, los cuales no siempre se encuentran articulados, dificultándose aún más la labor de determinación.

Con el continuo desarrollo de los programas de investigación, el estudio que se realiza en las localidades fosilíferas del Estado de Hidalgo y las investigaciones efectuadas sobre la fauna de vertebrados fósiles se contribuye a conocer mejor la bioestratigrafía estatal, así como a comprender más la perteneciente a la cuenca del Valle de México (Castillo, *et al*, 1996).

Esta tesis contribuye al conocimiento de los anuros fósiles en esta parte del centro del país, ya que los trabajos previos nacionales corresponden a los estados de Tamaulipas, Sonora, Chihuahua, Yucatán y al Estado de México. El material fósil de anuros se anexa a la Colección Paleontológica de la FES Zaragoza.

OBJETIVOS

1. Determinar el material fósil de anuros hasta la categoría taxonómica posible con base en el estado del ejemplar, apoyándose en la revisión y comparación con ejemplares actuales.
2. Realizar el análisis de los ejemplares fósiles con taxonomía numérica para apoyar su determinación.
3. Establecer el grado de autoctonía de los anuros fósiles para inferir posibles relaciones paleoecológicas.

MATERIAL Y MÉTODO

Descripción de la zona de estudio.

El municipio de Atotonilco El Grande se encuentra ubicado aproximadamente a 34 km al Norte de la Ciudad de Pachuca. La zona de estudio pertenece a la Formación Atotonilco El Grande, ubicada en el Estado de Hidalgo en dicho municipio; específicamente en la comunidad de Sanctorum entre las coordenadas 20°18'04" latitud norte y 98°46'59" longitud oeste a 1700 m.s.n.m. Se denomina Formación de Atotonilco el Grande a los depósitos de material clástico derivado principalmente de las rocas volcánicas terciarias de la región, y que localmente están cubiertos o intercalados con derrames de basalto.

La distribución de esta Formación no es continua debido a que la erosión la ha removido parcial o totalmente, el afloramiento de mayores dimensiones dentro del área, se extiende desde la parte Sur del pueblo de Atotonilco El Grande, hasta el Paso Amajac; hacia el Oeste, y hasta los límites Norte y Noroeste de la carta. Se tienen tres afloramientos de esta Formación, mismos que se localizan uno en el valle de Santa María Amajac, el segundo corresponde a Sanctorum y el tercero en la Mesa Chica.

De acuerdo con el INEGI (1991), el *clima* que se presenta en el área queda comprendida en una región cuyo clima pertenece al subgrupo de climas templados subhúmedos con lluvias en verano "C(w2)". Se presentan temperaturas medias anuales que varían entre los 14 y 20°C y la precipitación media anual varía entre los 600 y 1000 mm. La vegetación que se encuentra en Atotonilco El Grande esta limitada a unos cuantos encinos y pinos mismos que aumenta en número a medida que nos acercamos a la Sierra de Pachuca y a especies de clima árido como el huizache, mezquite, nopal, maguey y garambuyo a medida que nos alejamos de la Sierra de Pachuca. La mayor parte de la mesa de Atotonilco El Grande corresponde a terrenos de sembradío en los que se cultiva maíz y frijol principalmente.

El relieve de la región expresa los procesos endógenos y exógenos que lo han formado y modelado. Los procesos endógenos más evidentes del área son de carácter tectónico y volcánico, en tanto que los procesos exógenos se manifiestan mediante la acción de los agentes de intemperismo y erosión que alteran a las masas rocosas, transportan detritos y los depositan rellenando depresiones (Luna-Gómez, 1994).

De acuerdo a su origen y con fines descriptivos, los rasgos geomorfológicos de la Planicie aluvial de *Sanctorum*, se agrupa como relieve de rocas sedimentarias continentales. Esta se localiza en el poblado del mismo nombre y su origen se debe a la erosión de las rocas de la Formación de Atotonilco El Grande.

La *litología* de dicha formación, puede dividirse con base en sus características litológicas, en cuatro unidades, mismas que en orden ascendente de la base a cima son: 1) Conglomerado, 2) Toba pumicitica, 3) Arcillas, limos y conglomerados y 4) Coladas de basalto.

En el Valle de *Sanctorum*, la Formación de Atotonilco El Grande está representada por un paquete de materia arcilloso-limoso, en capas horizontales cuyo espesor varía entre 10 y 30cm, su coloración varía entre pardo-amarillentos. Sobre este paquete, se tiene una toba lítica, constituida por fragmentos del tamaño de la grava, en una matriz de arenas finas, los clastos están constituidos por fragmentos angulosos de riolita, andesita y vidrio, en menor cantidad contiene fragmentos de caliza y basalto (Luna-Gómez, 1994).

Mapa geográfico de la zona de estudio.



Estado de Hidalgo



Fig 11. Mapa geográfico que indica la ubicación de la zona de estudio.

(INEGI, 1991)

Revisión bibliográfica.

Se consultó información especializada de anuros, además de la clave para determinar anuros actuales propuesta por Smith y Taylor (1966) donde se consultaron caracteres de las familias Bufonidae, Hylidae, Leptodactylidae y Ranidae por ser las que se distribuyen en el estado de Hidalgo; así como también el listado de especies para la misma zona.

Trabajo en campo y de laboratorio.

Se realizaron un total de seis salidas a campo con una duración variable de dos a tres días; de manera que se obtuvieron aproximadamente 14 días de trabajo efectivo en la zona de estudio para coleccionar el material fósil de diferentes grupos, que se sumó al material ya coleccionado en salidas anteriores; dicho material fue transportado al laboratorio en cajas de cartón. Se le aplicaron técnicas de limpieza y conservación para su manejo y revisión, las cuales consistieron básicamente en elaborar la base de yeso correspondiente para evitar su ruptura y facilitar el manejo; se realizó además una limpieza superficial en los ejemplares, la cual consistió básicamente en retirar el material litológico depositado sobre el esqueleto empleando un alfiler entomológico a través de la observación del fósil en el estereoscopio. Finalmente, se les aplicó una capa de acetato de celulosa con la finalidad de crear una delgada película plástica que protegiera al ejemplar del levantamiento de los huesos.

Se tomaron fotografías de los anuros fósiles y actuales utilizando un estereoscopio Nikon modelo SMZ-10A y una cámara digital Nikon Coolpix 995; se midieron y se hicieron descripciones con base en la disponibilidad y estado del material, en este caso, fueron prioritarias estructuras como el ilium, el número de vértebras, forma de la vértebra sacra, la dentición, forma de las falanges terminales, forma de la cintura escapular; así como huesos de las extremidades anteriores y posteriores y el cráneo. En el caso de las mediciones* tomadas a los ejemplares fósiles, se midieron las siguientes

* Ver en Apéndice 2 esquema representativo que indica la manera en que fueron medidos los ejemplares.

estructuras: *longitud total* (hocico-cloaca), *ancho de la caja craneal* (a la altura de las órbitas oculares), *ancho del cráneo* (parte media), *longitud total del cráneo* (desde el hocico hasta el punto de articulación con el atlas); referente a la parte lumbar se midió el *ancho de la cintura escapular* (longitud de la supraescapula, en caso de estar en buenas condiciones); de las extremidades anteriores se midió la *radio-ulna* (desde la unión con el húmero hasta los carpales en caso de encontrarse), el *húmero* (desde la radioulna hasta su fusión con la escápula); en extremidades posteriores se midió el *fémur* (desde el isquion hasta el punto de articulación con la tibia-fibula) y la *tibia-fibula* (desde la unión con el fémur hasta el talón); la *longitud de la columna vertebral* se consideró desde la primera vértebra (abajo del cráneo) hasta la vértebra sacra, el *urostilo* (desde la vértebra sacra hasta su conjunción con el isquion) y *ambos ilium* (desde el punto de unión con la vértebra sacra hasta su fusión con el isquion). Se aclara que solo se midieron aquellas partes del esqueleto que fue posible gracias al proceso de fosilización y estado de conservación del ejemplar.

Se realizó una comparación entre el material fósil y los ejemplares de la Colección de la Facultad de Ciencias de la UNAM, los cuales corresponden a dos especies de la familia Leptodactilydae: *Leptodactylus melanonotus* y *Eleutherodactylus rhodopis* (pertenecientes a los Estados de Guerrero y Oaxaca respectivamente); además de los ejemplares de la Colección Nacional de Anfibios y Reptiles del Instituto de Biología de la UNAM, siendo ocho las especies revisadas: *Smilisca baudinii* (9539), *Hyla eximia* (4752, 4628) *Hyla plicata* (9597), *Hyla arenicolor* (11534), *Hyla bistincta* (13215), *Hyla bromeliacia* (8642), *Hyla miotypanum* (6907, 6011) y *Rana montezumae* (11016) aclaradas por medio de la técnica con azul de alciano** En estos ejemplares se midieron las mismas estructuras que en fósiles: la longitud total, ancho del cráneo, ancho de la caja craneal, longitud total del cráneo, ancho de la cintura escapular o pectoral, longitud de la columna vertebral y estructuras pareadas como el fémur, la tibiofibula, el húmero, la radioulna, el ilium y finalmente el urostilo para poder inferir el estadio de los anuros.

** Ver Apéndice 1.

Se construyó una matriz básica de datos de 12 OTUs por 22 estados de carácter derivados de las estructuras óseas disponibles utilizando el programa NT-SYS para obtener un fenograma; se consideraron los siguientes caracteres: *huesos parietales, tipo de dientes, forma de las falanges terminales, forma de la diapòfisis sacral de la vértebra sacra, nivel de la vértebra sacra, número total de vértebras, tipo de ilium y tipo de cintura escapular*, todos ellos visibles en los ejemplares fósiles; considerando en total ocho caracteres.

RESULTADOS

I. Imágenes y descripción de los anuros fósiles.

Se encontraron cinco esqueletos casi completos permineralizados, por su morfología se les asignó la clase Anfibia, orden Anura.

A continuación se presenta la descripción e imagen correspondiente de cada uno de los ejemplares fósiles determinados con su acrónimo CFZ, mismos que están depositados en la Colección Paleontológica de la FES Zaragoza. (Las letras "ST" hacen referencia a la zona de estudio).

1) ST 1561



Fig. 12

Descripción.

Este primer ejemplar contiene una gran cantidad de material orgánico que impide observar claramente algunas estructuras del esqueleto de valor taxonómico, no obstante, se pueden apreciar los huesos frontoparietales fusionados, cinco vértebras presacrales no imbricadas y la vértebra sacra presenta la diapófisis sacral moderadamente expandida o dilatada. Por el estado de conservación y el tipo de fosilización, no fue posible distinguir el tipo de centro de las vértebras de la columna vertebral en ninguno de los ejemplares. Se observa parte de las extremidades anteriores y posteriores; en general, mantiene una adecuada conservación que permite apreciar estructuras como ambos ilium; de los cuales no es posible observar si presentan o no una cresta ilial, se aprecian también el urostilo o cóccix, la tibia-fíbula, el fémur, el húmero, partes mandibulares dentadas siendo los dientes de tipo maxilar y de forma aserrada o triangular, así como probablemente, parte de la cintura escapular o pectoral al parecer de tipo arciferal. No se aprecian falanges, solamente parte de metacarpales.

2) ST 1560 (+/-)*

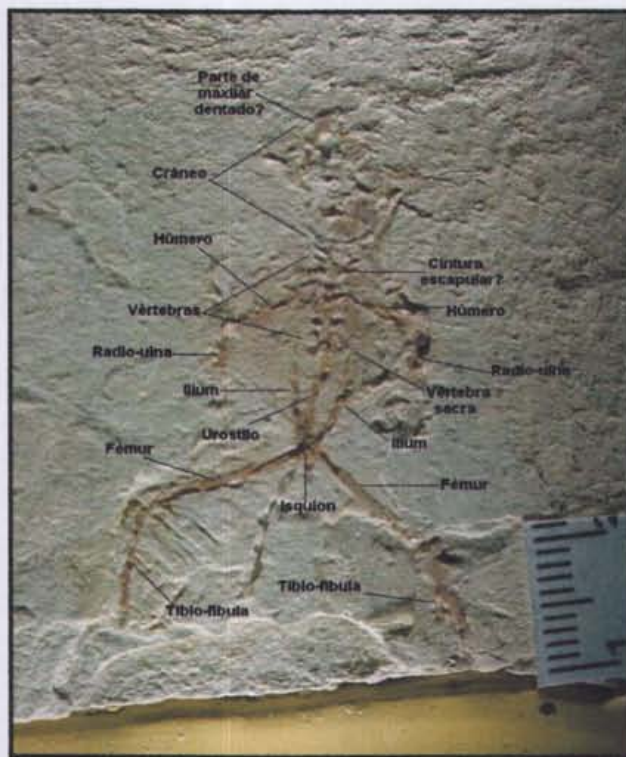


Fig 13.

* El símbolo (+/-) indica que también se encontró la contraparte del ejemplar.



Fig 14. Contraparte del ejemplar CFZ 1560.

Descripción.

Este ejemplar fósil ofrece una mayor apreciación de las estructuras. Desafortunadamente, el esqueleto no cuenta con una dureza que evite la ruptura del mismo al momento de retirar el material litológico. Se aprecian con claridad seis vértebras presacrales y la vértebra sacra con diapòfisis sacral moderadamente expandida. De la misma manera que en el ejemplar anterior, se observa parte de las extremidades anteriores y posteriores, el cráneo se encuentra en mal estado, por lo que no es posible diferenciar estructuras craneales, la mandíbula se encuentra desarticulada y se aprecian los dientes maxilares aserrados de manera dudosa. Se observan ambos ilium, los cuales por el tipo de fosilización no se distingue la presencia de la cresta ilial. Se aprecia la impronta de lo que pudo haber sido la cintura escapular de tipo arciferal.

3) ST 1097 (+/-)



Fig. 15. Cráneo y extremidad anterior de anuro fósil

Descripción.

Este ejemplar es el mejor conservado, pues se distinguen más elementos craneales. Al parecer los huesos parietales están fusionados. La mandíbula está dentada, los dientes presentan una forma aserrada o triangular. Se distinguen ambas escápulas y la cintura pectoral o escapular de tipo arciferal. La radioulna está fusionada y se aprecian falanges terminales en forma de uña en dos dígitos de las extremidades anteriores. Se observan siete vértebras presacrales y una diapòfisis sacral moderadamente dilatada. El ilium se encuentra en mal estado y por el tipo de fosilización no es posible observar si cuenta con cresta ilial.



Fig. 16. Vértebras presacrales y vértebra sacra del ejemplar ST 1097

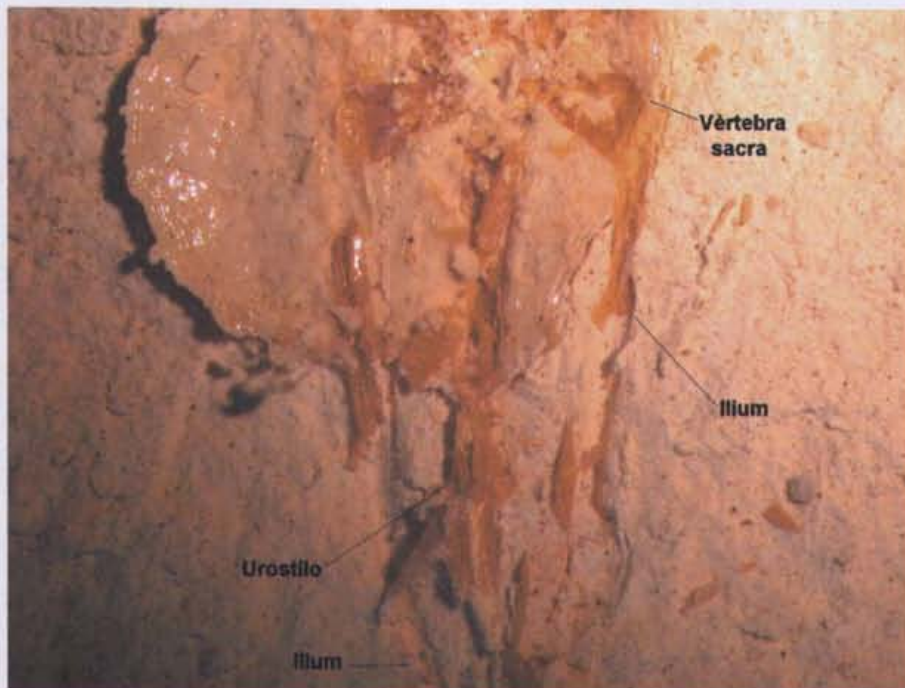


Fig. 17. Cintura pélvica del ejemplar ST 1097

4) ST 1559 (+/-)

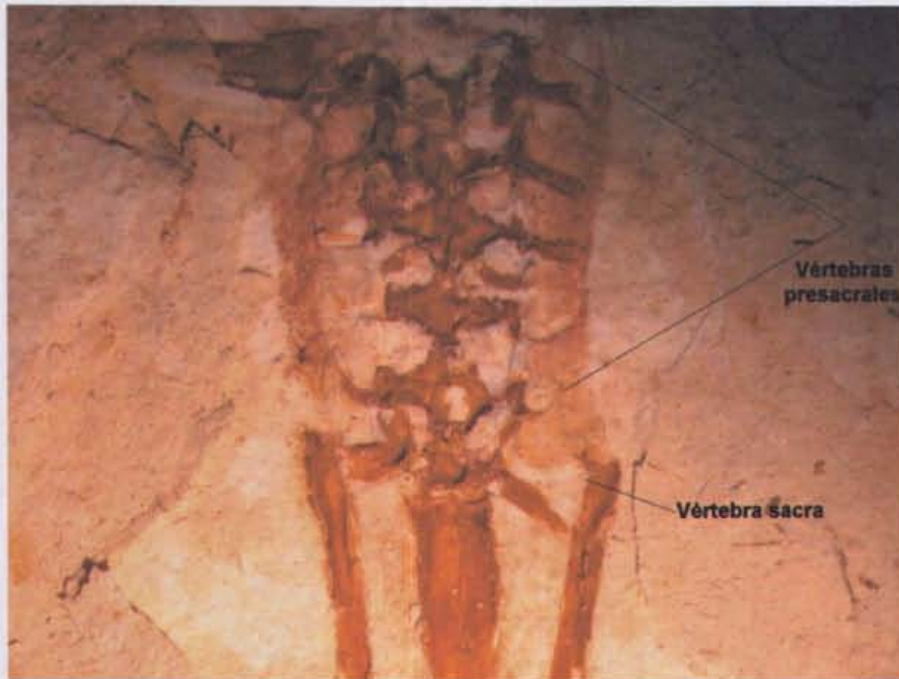


Fig. 18. Vértebras presacrales y vértebra sacra

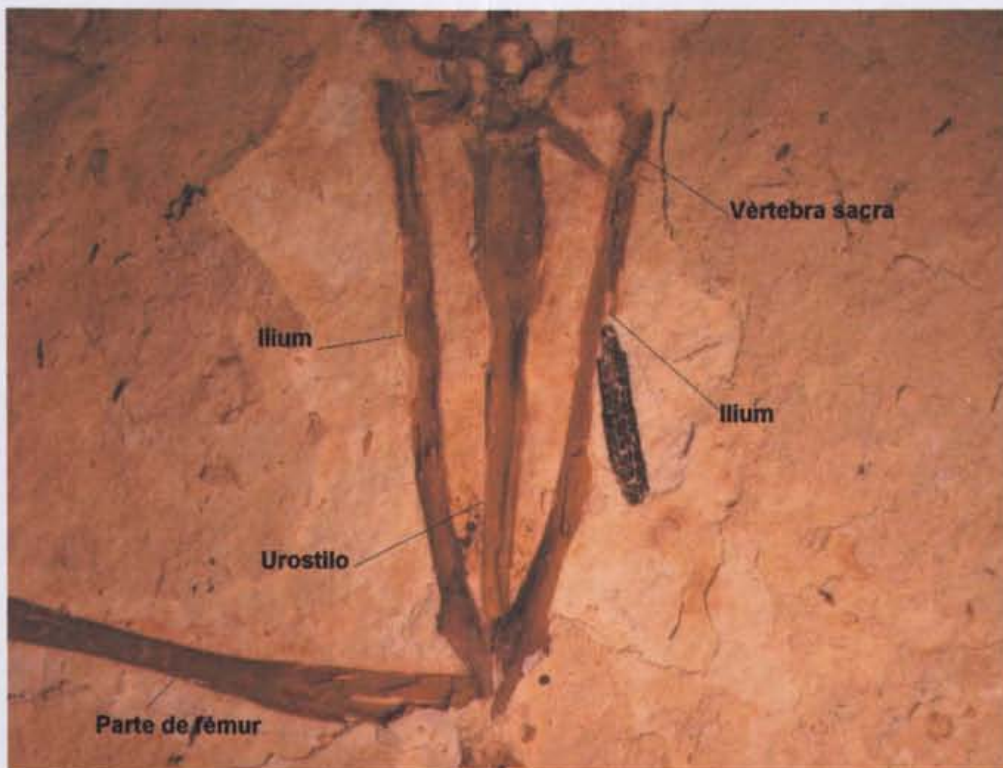


Fig. 19. Cintura pélvica

Descripción.

Se aprecian los huesos parietales fusionados. No se logran observar dientes en la mandíbula por un exceso de material litológico que no se retiró para evitar la ruptura del fósil. Se observan seis vértebras presacrales no imbricadas, a excepción de la 5ª y 6ª vértebras que se aprecian ligeramente fusionadas. La diapòfisis sacral es moderadamente expandida y se encuentra a nivel del ilium. Se aprecia parte de las extremidades posteriores.

5) ST 1084

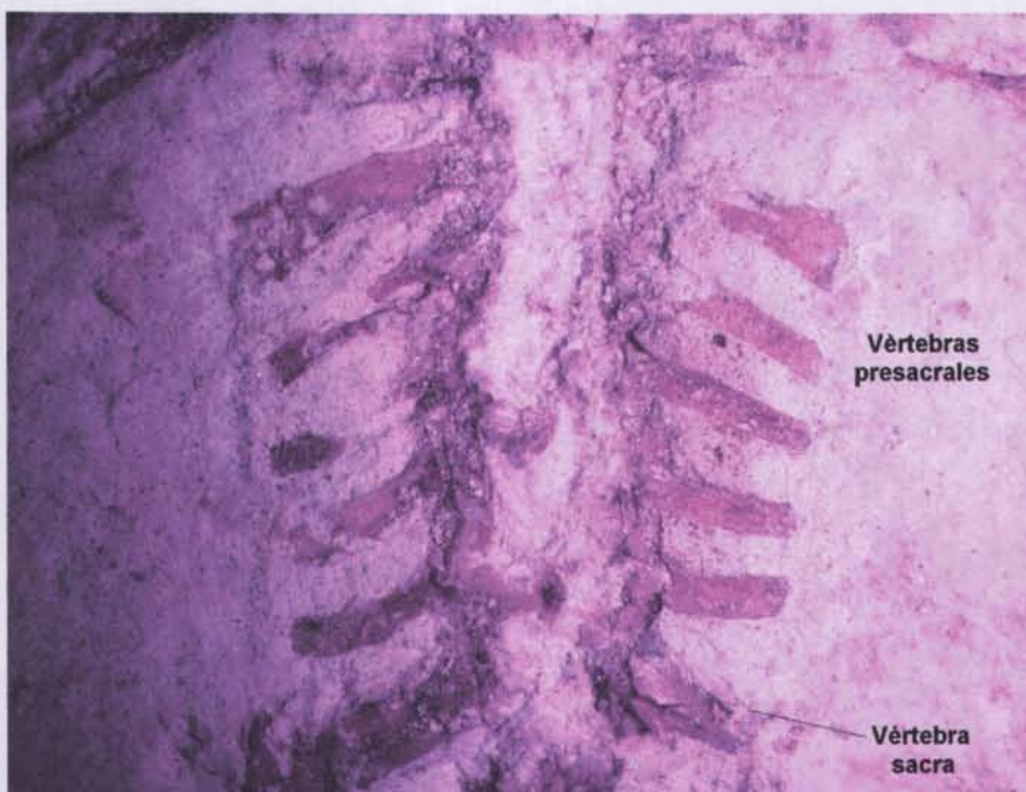


Fig. 20. Vértebras presacrales y vértebra sacra

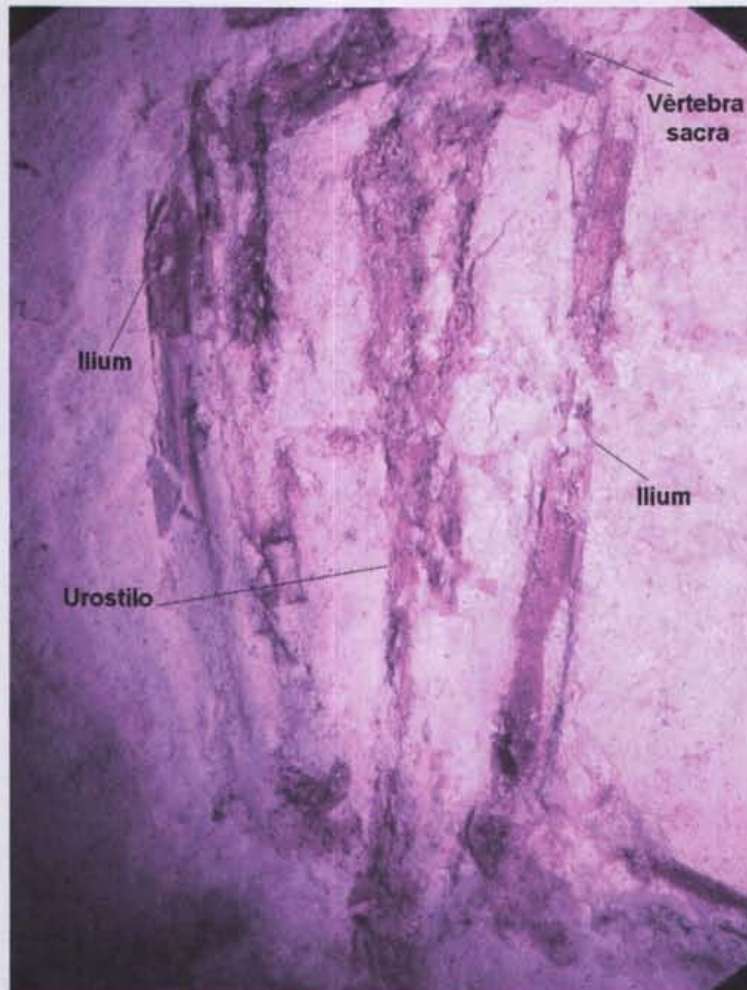


Fig. 21. Cintura pélvica del ejemplar ST 1084

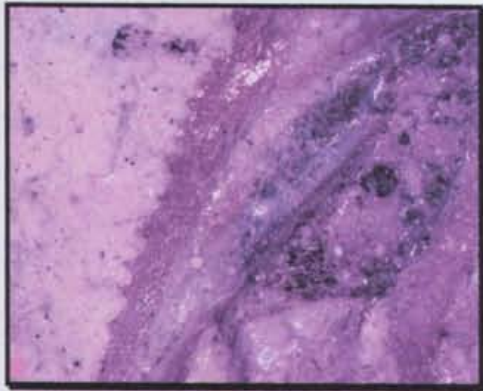
Descripción.

De este ejemplar solamente se observan seis vértebras presacrales no imbricadas, diapòfisis sacral expandida cilíndrica. Se aprecia parte de ambos húmeros. La cintura pélvica se reconoce con claridad y se conservan también parte de las extremidades posteriores (ambos fémures). No se observa el cráneo, dientes ni falanges.

II. Comparaciones de algunas estructuras importantes entre anuros fósiles y actuales*

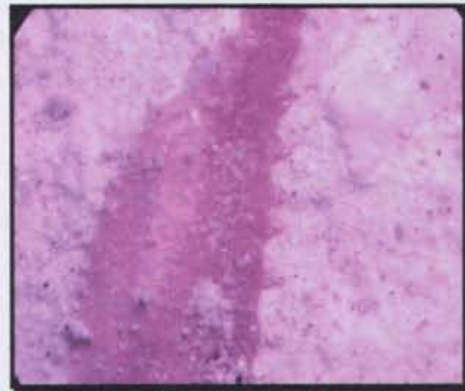
ANUROS FÓSILES

- Dientes.



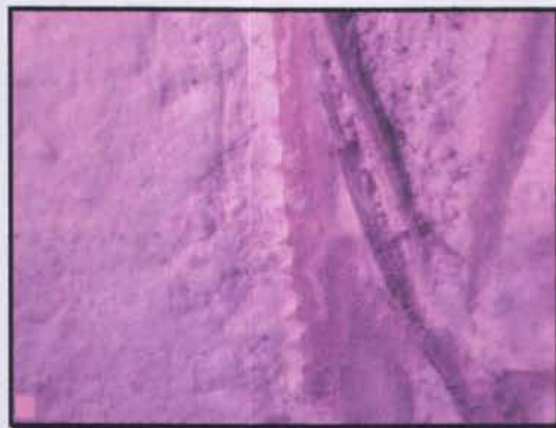
ST 1561

5x



ST 1560

6.3x



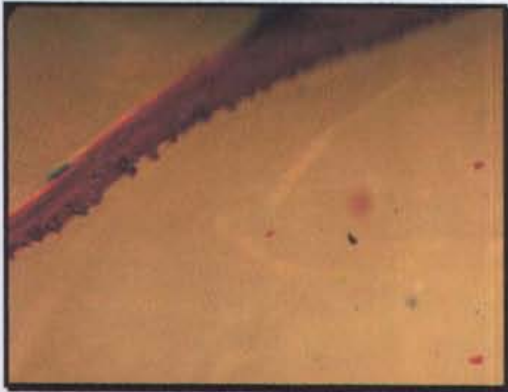
ST 1097

5x

En estas imágenes se aprecia la forma aserrada de los dientes de los anuros fósiles de la Formación Atotonilco El Grande.

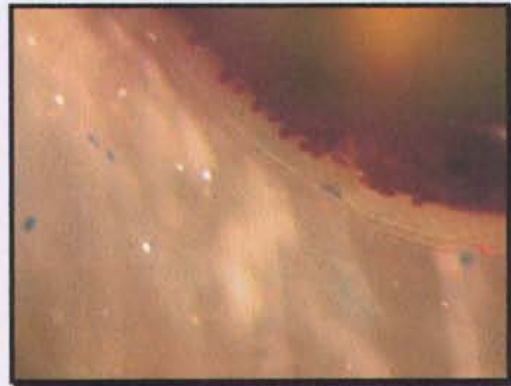
* Solamente se muestran las imágenes de los ejemplares en los cuales la (s) estructura (s) se encuentra (n) disponible (s).

ANUROS ACTUALES



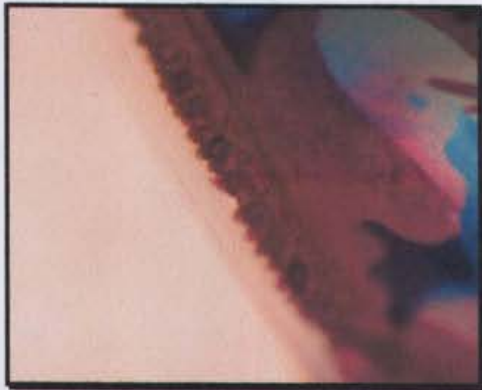
Hyla bromeliacia

4x



Hyla eximia

4x



Hyla miotypanum

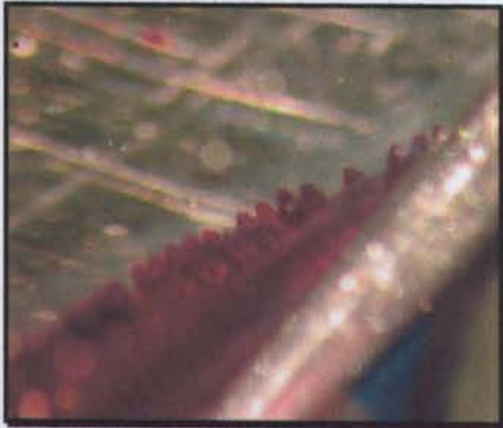
4x



Smilisca baudinii

4x

Anuros actuales en donde se aprecia la forma de los dientes. Nótese la variación de tamaño, forma y cantidad de dientes. La mayoría de los ejemplares presenta dientes en forma aserrada como los fósiles, la semejanza entre anuros fósiles y actuales es mayor en las especies *H. eximia*, *H. miotypanum* e *H. plicata*. La especie *L. melanotus* es completamente diferente a los fósiles.



Rana montezumae

4x



Hyla plicata

4x



Eleutherodactylus rhodopsis

5x



Leptodactylus melanonotus

3x

ANUROS FOSILES

- **Cráneo**



ST 1097

1x



ST 1559

1x

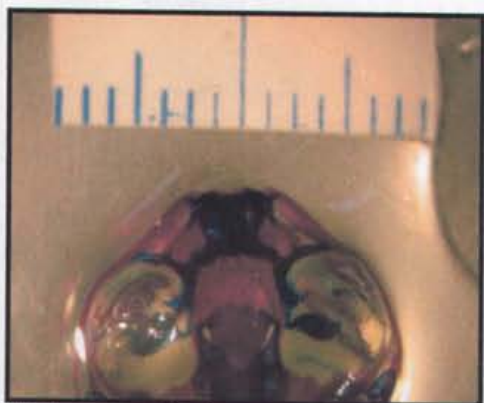


ST 1561

1x

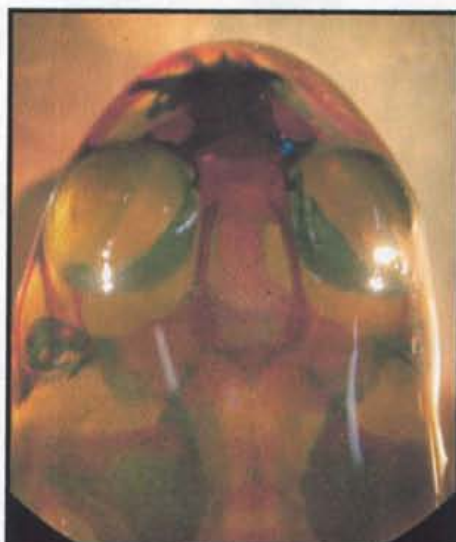
Se muestran las diferentes formas del cráneo de los anuros fósiles; además de que se aprecian los huesos parietales, la mandíbula dentada y los espacios de las órbitas oculares.

ANUROS ACTUALES



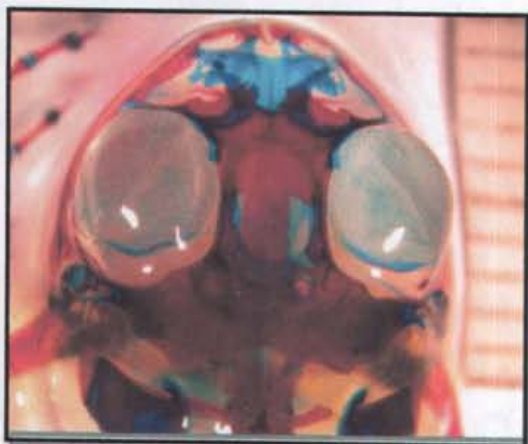
Hyla bromeliacia

1x



Hyla eximia

1x



Hyla miotympanum

1x



Hyla plicata

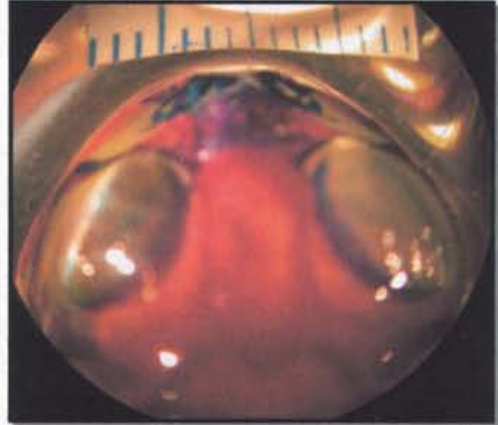
1x

Se aprecia la forma del cráneo y el estado de los huesos parietales. El cráneo de las especies *H. eximia*, *H. plicata* y *E. rhodopis* guarda semejanza con el cráneo de los anuros fósiles.



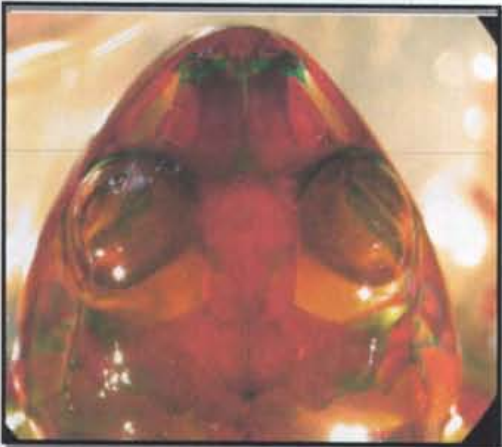
Smilisca baudinii

1x



Rana montezumae

1x



Eleutherodactylus rhodopis

1x



Leptodactylus melanonotus

1x

ANUROS FÓSILES

- **Columna vertebral**



ST 1560

1x



ST 1561

1x

En el ejemplar ST 1560 se observan claramente ocho vértebras presacrales. En el fósil ST 1561 se aprecia parte de la columna vertebral. Comparte la misma forma de dicha estructura con el resto de los ejemplares (excepto con ST 1084). La vértebra sacra es moderadamente expandida (solo se observa la mitad).



ST 1559

1x



ST 1084

1x



ST 1097

1x

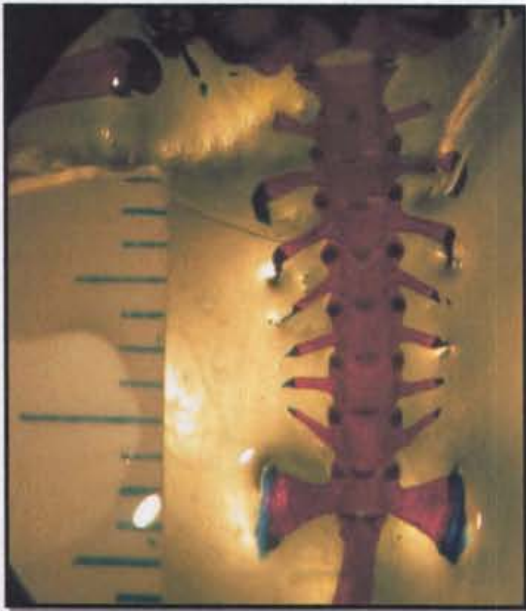


ST 1559

1x

Se aprecia la forma de la columna vertebral en donde es posible distinguir el número de vértebras y la forma de la vértebra sacra.

ANUROS ACTUALES



Hyla bromeliacia

1x



Hyla eximia

1x



Hyla miotympanum

1x



Hyla plicata

1x

Se observa la forma de la columna vertebral y el número de vértebras. Es importante señalar la semejanza de la columna vertebral de la especie *H. miotympanum* con los anuros fósiles; a excepción del ejemplar ST 1084 que es diferente a todas las especies actuales aclaradas.



Smilisca baudini

1x



Rana montezumae

1x



Eleutherodactylus rhodpis

1x



Leptodactylus melanonotus

1x

ANUROS FÓSILES

- Cintura pélvica



ST 1097

1x



ST 1559

1x

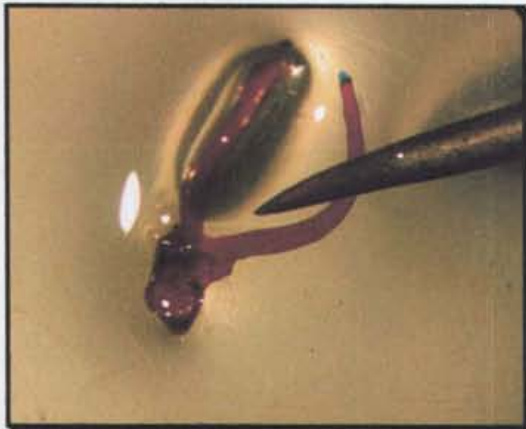


ST 1084

1x

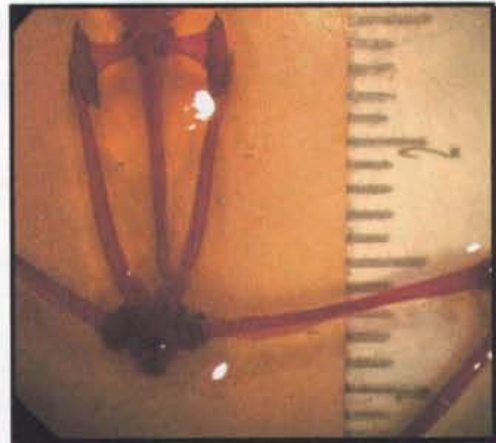
Se observa la constitución de la cintura pélvica: vértebra sacra moderadamente expandida en los dos primeros y redondeada en ST 1084, se aprecian también ambos iliums y el urostilo.

ANUROS ACTUALES



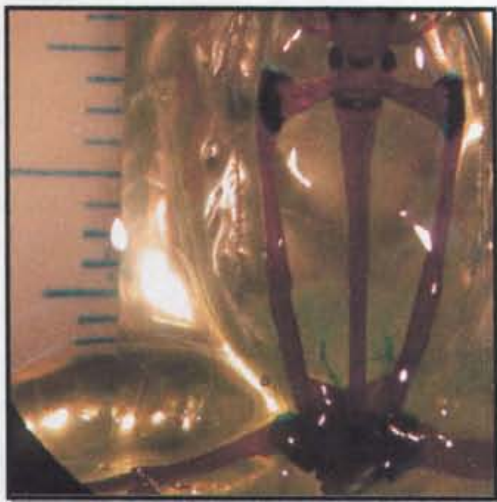
Hyla bromeliacia

1x



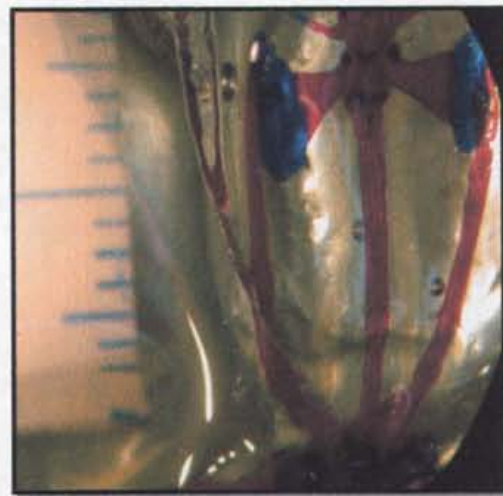
Hyla eximia

1x



Hyla miotympanum

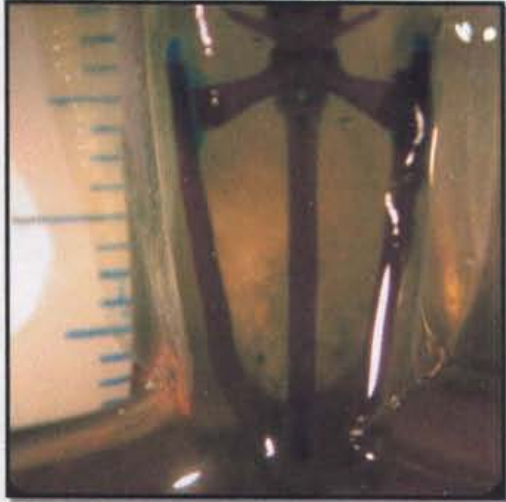
1x



Hyla plicata

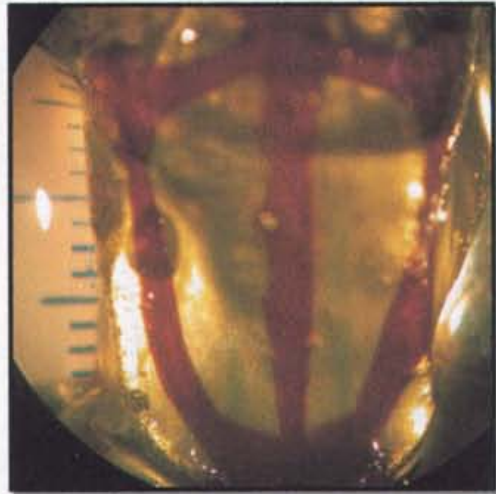
1x

Se observa la cintura pélvica de anuros actuales. Existe gran semejanza en la forma de la vértebra sacra entre las especies *H. miotympanum*, *H. plicata* e *H. eximia* y los anuros fósiles.



Smilisca baudinii

1x



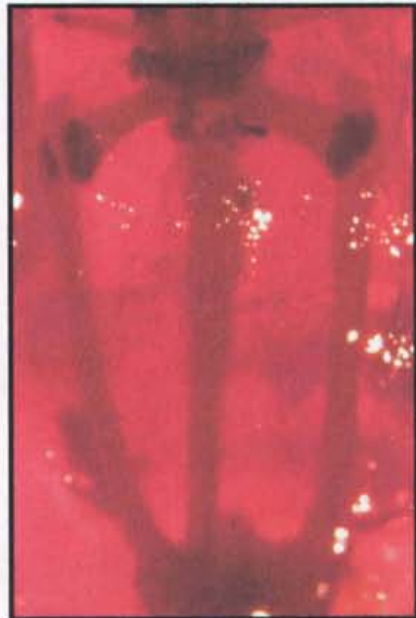
Rana montezumae

1x



Eleutherodactylus rhodopsis

1x



Leptodactylus melanonotus

1x

ANUROS FÓSILES

- Dígitos

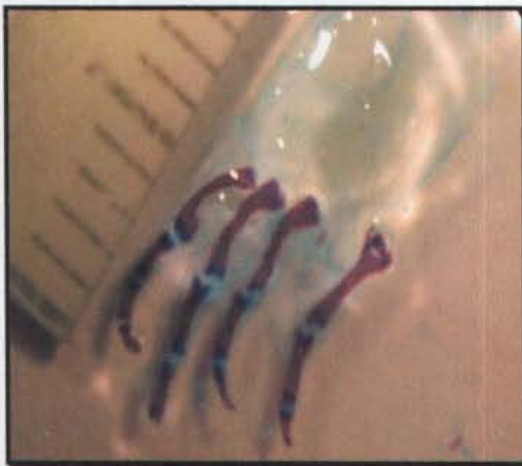


ST 1097

1x

Se presenta la única extremidad fósil completa en donde es posible observar que la forma de las falanges terminales es de uña.

ANUROS ACTUALES



Hyla arenicolor

1x



Hyla bistincta

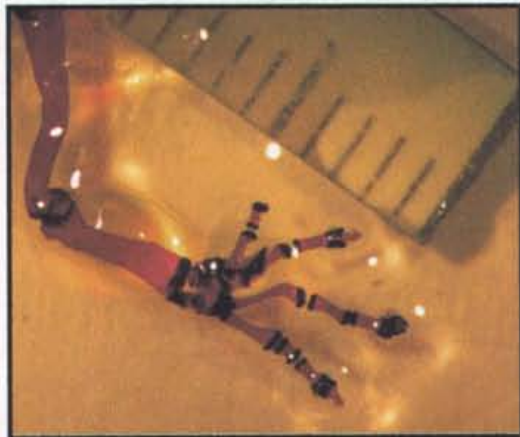
1x

En todos los ejemplares actuales se aprecia la forma de uña en las falanges terminales, a excepción de la especie *E. rhodopis*.



Hyla eximia

1x



Hyla bromeliacia

1x



Hyla miotympanum

1x



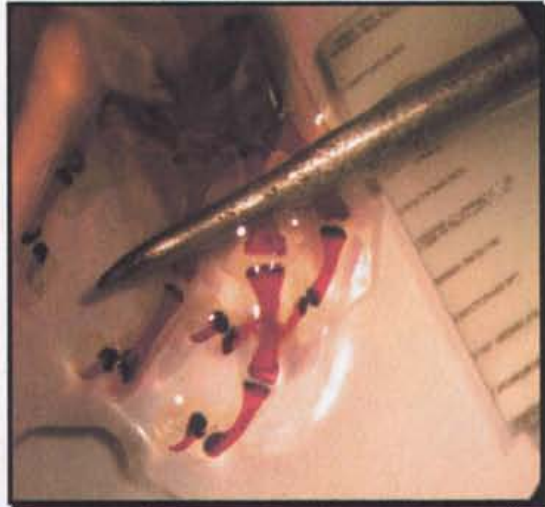
Hyla plicata

1x



Smilisca baudinii

1x



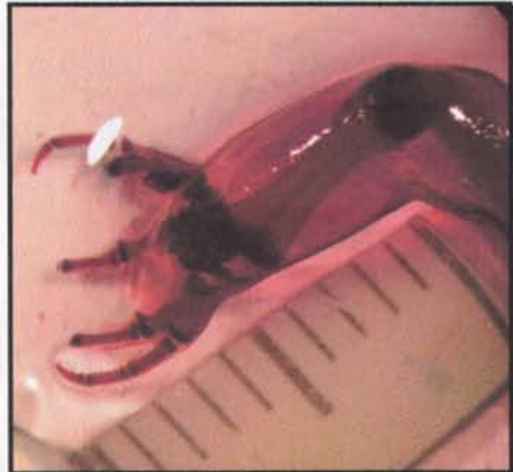
Rana montezumae

1x



Eleutherodactylus rhodopis

1x



Leptodactylus melanonotus

1x

III. Medidas de anuros fósiles y actuales.

TABLA 5. MEDIDAS SOMÁTICAS (mm) DE CINCO ANUROS FOSILES DE LA LOCALIDAD DE SANCTORUM, HIDALGO

Medidas somáticas (exclusivamente del esqueleto)	ST 1561	ST 1560	ST 1097	ST 1559	ST 1084
Longitud total	19	22	23.1	24	35
Ancho del cráneo	6	---	7	6.5	---
Ancho de la caja craneal	5	---	6.5	5.9	---
Longitud total del cráneo	6.9	---	10	8.2	---
Ancho de la cintura escapular o pectoral	3.5	---	4	---	---
Longitud de la columna vertebral	5	6.1	7	8.8	14.1
Fémur izquierdo	10	11	9.8	9.5	15.5
Fémur derecho	8	10	9.8	---	26
Tibio-fíbula izquierda	10	8	9.8	---	37
Tibio-fíbula derecha	10	10.5	9.8	---	33
Húmero izquierdo	4	6	5.1	---	---
Húmero derecho	---	5	---	---	---
Radio-ulna izquierda	6	3	3.5	---	---
Radio-ulna derecha	3.5	3.8	---	---	---
Ilium izquierdo	7	10	8.5	9.0	16
Ilium derecho	7	10	8.5	9.0	18
Urostilo	7	10	8.1	8.1	17
Número de vértebras presacrales	5?	8	7	8?	6

TABLA 6. MEDIDAS SOMÁTICAS (mm) DE LAS ESPECIES DE ANUROS ACTUALES PROPORCIONADAS POR LA COLECCIÓN NACIONAL DE ANFIBIOS Y REPTILES DEL INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM

Medidas somáticas	<i>Hyla arenicolor</i> *	<i>Hyla bistincta</i>	<i>Hyla bromeliana</i>	<i>Hyla eximia</i>	<i>Hyla miotypanum</i>	<i>Hyla plicata</i>	<i>Rana montezumae</i>	<i>Smilisca baudinii</i>	<i>Eleutherodactylus rhodopis</i> **	<i>Leptodactylus melanonotus</i> **
(exclusivamente del esqueleto)										
Longitud total	---	29	25	34	33	32	40	31	28	35
Ancho del cráneo	---	11	9	11	11	12	16	11	11	10.5
Ancho de la caja craneal	---	10	9.1	10	9.9	11.5	13	10.5	10	9
Longitud total del cráneo	---	8.9	8	8.8	10.8	11	13	8.9	10.9	10
Ancho de la cintura escapular	---	11.5	---	11	10.9	13	14	11.5	11	12
Longitud de la columna vertebral	---	9.5	10.5	12.7	11	14.8	15	12	10	11.9
Fémur izquierdo	16	13	11	16	16	15	19	15	13	14
Fémur derecho	16	13	11	16	16	15	19	15	13	14
Tibio-fíbula izquierda	17	14	13	16	17	16	22	18	16	16
Tibio-fíbula derecha	17	14	13	16	17	16	22	16	16	16
Húmero izquierdo	8	7	6	5	8	8	9	7	6.5	5
Húmero derecho	8	7	6	5	8	8	9	7	6.5	5
Radio-ulna izquierda	5	6	5	6	6	7	9	6	6.5	6.5
Radio-ulna derecha	5	6	5	6	6	7	9	6	6.5	6.5
Ilium izquierdo	11	11	8	14	12	9	19	14	10	13
Ilium derecho	11	11	8	14	12	9	19	14	10	13
Urostilo	11	9	8	14	10	12	17	12	8	10
Número de vértebras presacrales	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

* La falta de medidas en este ejemplar se debe a su desarticulación durante el proceso de aclaración.

** Ejemplares proporcionados por la Facultad de Ciencias, UNAM.

IV. Taxonomía numérica y análisis de datos con el programa NTSYS.

TABLA 7. MATRIZ DE SIMILITUD DE DOBLE ESTADO

ESPECIES	<i>Hyla</i>						<i>Smilisca</i>		<i>Eleutherodactylus</i>	<i>Leptodactylus</i>
	<i>arenicolor</i>	<i>bistincta</i>	<i>bromeliana</i>	<i>eximia</i>	<i>miotympanum</i>	<i>plicata</i>	<i>baudinii</i>	<i>baudinii</i>	<i>rhodopsis</i>	<i>melanonotus</i>
Huesos parietales separados	0	1	1	1	1	0	1	0	0	
Huesos parietales fusionados	1	0	0	0	0	1	0	1	1	
Dientes de tipo maxilar	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Dientes de tipo premaxilar	9	1	1	1	1	1	1	1	1	
Dientes vomerianos	9	1	0	1	1	1	1	1	1	
Dientes de forma triangular	0	1	0	1	1	0	1	1	1	
Dientes de forma bífida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Dientes de forma ovalada	1	0	1	0	0	1	0	0	0	
Forma de las falanges terminales de uña	1	1	1	1	1	1	1	0	1	
Forma de las falanges terminales de "T"	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
Vértebra sacra expandida o dilatada	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
Vértebra sacra cilíndrica	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
Vértebra sacra a nivel del ilium	9	1	1	1	1	9	0	0	1	
Vértebra sacra por debajo del nivel del ilium	9	0	0	0	0	9	1	1	0	
Número total de vértebras = 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Número total de vértebras = 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Número total de vértebras = 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Número total de vértebras = 8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Ilium con cresta ilial	1	1	0	0	1	1	0	1	1	
Ilium sin cresta ilial	0	0	1	1	0	0	1	0	0	
Cintura pectoral arciferal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Cintura pectoral firmisterna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Continuación

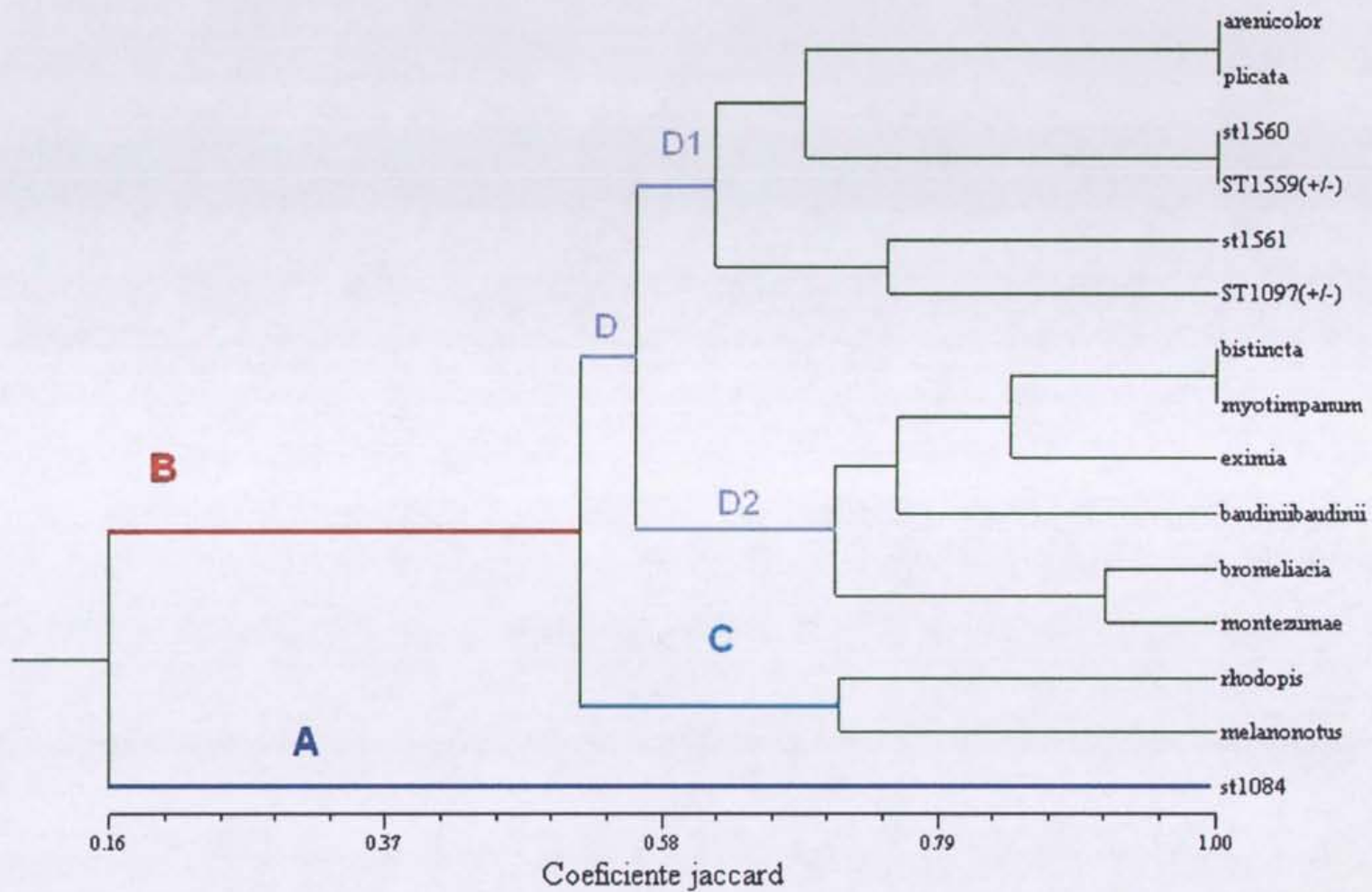
ESPECIES	<i>Rana</i>	ST 1561 (+/-)	ST 1560 (+/-)	ST 1097 (+/-)	ST 1559 (+/-)	ST 1084
CARACTERES	<i>montezumae</i>					
Huesos parietales separados	1	0	0	0	0	9
Huesos parietales fusionados	0	1	1	1	1	9
Dientes de tipo maxilar	1	1	1	1	9	9
Dientes de tipo premaxilar	1	9	9	9	9	9
Dientes vomerianos	1	9	9	1	9	9
Dientes de forma triangular	0	1	1	1	9	9
Dientes de forma bífida	0	0	0	0	9	9
Dientes de forma ovalada	1	0	0	0	9	9
Forma de las falanges terminales de uña	1	9	9	1	9	9
Forma de las falanges terminales de "T"	0	9	9	0	9	9
Vértebra sacra expandida o dilatada	1	1	1	1	1	0
Vértebra sacra cilíndrica	0	0	0	0	0	1
Vértebra sacra a nivel del ilium	1	1	1	1	1	1
Vértebra sacra por debajo del nivel del ilium	0	0	0	0	0	0
Número total de vértebras = 5	0	1	0	0	0	0
Número total de vértebras = 6	0	0	0	0	0	1
Número total de vértebras = 7	0	0	0	1	0	0
Número total de vértebras = 8	1	0	1	0	1	0
Ilium con cresta ilial	0	9	9	9	9	9
Ilium sin cresta ilial	1	9	9	9	9	9
Cintura pectoral arciferal	1	1	1	1	9	9
Cintura pectoral firmisterna	0	0	0	0	9	9

1= Presencia

0= Ausencia

9= Se desconoce

Fig. 22 Fenograma obtenido a partir de la matriz de doble estado



DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los ejemplares de anuros fosilizaron como permineralizaciones incompletas; de acuerdo a Schopf (1975), este tipo de fosilización conserva las partes originales que son resistentes a la oxidación y a los cambios físicos.

Dentro de la columna estratigráfica, los fósiles se hallaron en diferentes niveles de la misma, en limolitas debido a su tamaño fino de grano que favorece el proceso de fosilización, aunado a la condición de baja energía del lago que presentaba esa parte distal.

De los cinco anuros encontrados, el ejemplar ST 1097 (+/-) fue el más completo; sin embargo, el resto de los ejemplares conservó algunas estructuras de valor taxonómico; algunas de estas se perdieron en el proceso de extracción, no obstante, los organismos se encontraron articulados; partiendo de lo anterior se supone que el cuerpo acuático presentaba baja energía, lo cual facilitó el enterramiento de estos anfibios favoreciendo su preservación.

De acuerdo a los hábitos de los anuros actuales, se sabe que son organismos solitarios y riparios, pues no forman grupos para establecerse, ni para formar estrategias de sobre vivencia o reproducción; considerando el número de anuros fósiles y su estado de conservación, se puede proponer una condición de autoctonia, debido a que dicho punto era la zona más profunda del paleolago. Reyes y Vázquez (2003), a través del estudio geoquímico de las valvas de ostrácodos en la zona, proponen una condición dulceacuícola, somera y estacional para el paleolago; lo que sugiere que los anuros pudieron haberse establecido en un cuerpo de agua con estas características. Por otra parte, tomando en cuenta que en la actualidad no son numerosas las poblaciones de anuros, Duellman y Trueb (1986), reportan densidades poblacionales para diferentes especies de anuros actuales que oscilan entre $0.010/m^2$ a $0.0775/m^2$ en diferentes países de Sudamérica; contrastando estas cifras con lo encontrado en la zona de estudio, se propone con mayor seguridad la autoctonia de estos organismos. Los ejemplares fueron hallados en diferentes estratos, por lo que se trata de anuros de diferentes edades del lago. En la columna estratigráfica, se

observò la presencia de varios horizontes de yeso, lo que indica la estacionalidad del lago (Reyes y Vázquez, 2003). Esto apoya que se trataba de un lago con estas características; el tiempo que èste permanecia con agua, era el suficiente para sustentar a los anuros; los que al ser de hàbitos terrestres y acuáticos, pudieron haberse encontrado con dificultades de sobre vivencia, lo que los llevó a la muerte en el mismo lugar.

De acuerdo al grado de osificación, que es el proceso mediante el cual se forman los huesos, los fósiles al parecer muestran un desarrollo completo del esqueleto, por otra parte, la longitud que presentan hocico-cloaca, es muy corta comparada con algunas mediciones que presentan Duellman y Trueb (1986) para anuros actuales en la *Tabla 3* y con las medidas de los anuros actuales de la CNAR. Basándose en los datos de la tabla antes mencionada, aproximadamente en el cuarto año de edad, los organismos están cerca de alcanzar su talla máxima. Los anuros fósiles analizados presentan tallas demasiado cortas en comparación con anuros actuales, por lo que tomando el criterio de la longitud, se asevera que son organismos juveniles.

Considerando inicialmente a las familias Bufonidae, Hylidae, Leptodactylidae y Ranidae por su distribución actual en la zona de estudio, se planteò la posibilidad de que los anuros fósiles encontrados pudieran pertenecer a una (s) de estas familias, ya que el clima actual de la zona es propicio para las comunidades de varios anfibios. Velasco de León (1999) menciona que las estimaciones de los paleoclimas continentales han sido típicamente hechos por el método del relativo viviente más cercano. Este método se basa en las observaciones de las comunidades actuales, donde muchos gèneros o familias de plantas están restringidas a climas particulares y, asume que los mismos taxa representados como plantas fósiles estuvieron asociados a climas semejantes. La validez de este método se basa en la idea de que las tolerancias climáticas que se presentan en comunidades modernas son el estado final en una secuencia que incluye las tolerancias de sus presumibles formas ancestrales. En otras palabras, los linajes son básicamente conservadores en su tolerancia al cambio de condiciones ambientales; esto es, una vez que un grupo ha conseguido una serie

de adaptaciones que le permiten competir dentro de ciertos límites, la presión de selección tiende a estabilizarlos.

Respecto a las estructuras fosilizadas, el cráneo está incompleto y no proporciona suficiente información taxonómica; solo en el ejemplar ST 1097 (+/-) se cuenta con algunos elementos importantes, como los huesos frontoparietales que tienen valor taxonómico dependiendo de su fusión, esto se presenta en varios bufónidos y algunos leptodactílidos, o separados por tejido conectivo como en los hílidos. Este ejemplar muestra los huesos parietales fusionados, por lo que comparte esta característica con la familia Leptodactylidae.

Los anuros actuales aclarados y revisados de la Colección Nacional de Anfibios y Reptiles (CNAR) del Instituto de Biología de la UNAM, muestran diferentes tipos de dientes; es sabido que estas variaciones están asociadas con los hábitos alimenticios de estos organismos, los cuales frecuentemente son vertebrados pequeños e insectos (Trueb, 1973). Los anuros fósiles en estudio presentan dientes de forma "aserrada". Trueb (1973) menciona que varios géneros en Leptodactylidae, Hylidae y Ranidae, poseen serraciones denticuladas en la dentadura.

En la cintura pectoral se aprecian con claridad las partes zonales (clavículas y coracoides) en los ejemplares ST 1560, ST 1097 (+/-) y en ST 1084; por comparación de su estructura con anuros actuales se determinó que pertenece al tipo arciferal, pues no se aprecian las partes prezonales (omosternón) ni postzonales (esternón) en los fósiles, ya que en la mayoría de los géneros arciferales, los cartílagos epicoracoides, omosternón y esternón, cuando se encuentran presentes, no osifican (Trueb, 1973).

De la columna vertebral, en la región presacral, se distinguieron entre 5 y 8 vértebras, de las cuales no fue posible diferenciar la configuración de los centros presacrales para poder determinar el tipo de vértebra, solo se aprecia que para todos los ejemplares se trata de vértebras no imbricadas. Trueb (1973) considera que el número de vértebras presacrales varía entre nueve y cinco. Se está de acuerdo en que mayor sea el número de vértebras se trata de un carácter primitivo, pocas vértebras presacrales están asociadas con especialización y

avance. En el caso específico del ejemplar ST 1561, el mal estado del fósil no permitió apreciar con claridad el número de vértebras presacrales, para el resto de los fósiles se tienen entre seis y ocho vértebras presacrales. En anuros actuales, se observan ocho vértebras para las familias que actualmente se distribuyen en la zona de estudio (Hylidae, Leptodactylidae, Ranidae y Bufonidae; ésta última varía entre cinco y ocho vértebras). Cabe señalar que en los ejemplares ST 1561 y ST 1097 no es clara la columna vertebral por lo que es conveniente considerar el número de vértebras en estos fósiles. Además se trata de anuros avanzados por la forma de la diapòfisis sacral, que es característica de éstos; pues contrariamente a una vértebra sacra totalmente expandida característica de anuros primitivos como las familias Ascaphidae y Discoglossidae; la diapòfisis sacral moderadamente expandida o también designada como "dilatada" y la cilíndrica, permiten más flexibilidad axial (Trueb, 1973). Respecto a la región postsacral, el ilium, estructura de importante valor taxonómico en fósiles, no se empleó debido a la forma en que fueron hallados los fósiles. Estudios previos realizados por Holman (1995), enfatizan el uso de esta estructura para la determinación de anuros fósiles por poseer o carecer de cresta ilial solamente cuando el hueso se encuentra desarticulado, en este caso, dicho elemento óseo no se encontró de esa manera, imposibilitando la apreciación de esa zona. En anuros actuales se pudo reconocer y considerar para el análisis numérico.

Considerando caracteres empleados a nivel de familia, como la presencia/ausencia de dientes, se descarta a la familia Bufonidae por carecer de dientes; pues los fósiles presentan dientes premaxilares y maxilares; la forma de la diapòfisis sacral es moderadamente expandida o dilatada para todas las familias de la zona, excepto para Ranidae, que posee una diapòfisis sacral cilíndrica, por lo que se anula la posibilidad de que los anuros fósiles pertenezcan a dicha familia, a excepción del ejemplar ST 1084, el cual presenta diapòfisis sacral de este tipo. Considerando la forma de las falanges terminales, que sólo son visibles en el ejemplar ST 1097 (+/-), se aprecian en forma de uña, característica de la familia Hylidae; Leptodactylidae puede también presentarla así o en forma de "T" como en

la especie *Eleutherodactylus rhodopis*. La fusión de los huesos frontoparietales del cráneo, sugiere una cercanía a la familia Leptodactylidae; así como la forma aserrada de los dientes coincide también con Hylidae y Leptodactylidae. Partiendo de lo anterior y considerando caracteres a nivel de familia, se deduce que los anuros fósiles estudiados pueden pertenecer a las familias Hylidae o Leptodactylidae; a excepción de ST 1084 que pudiera pertenecer a la familia Ranidae.

Estableciendo comparaciones para encontrar semejanzas y diferencias entre ejemplares fósiles y actuales, se aplicó la técnica de aclaración con azul de alciano; encontrándose la misma forma de dientes tanto en fósiles como en especies de la familia Hylidae (*Hyla miotympanum* e *H. plicata*). Respecto al cráneo, la forma de éste en anuros fósiles la comparten *H. eximia*, *H. plicata* y en menor grado *Eleutherodactylus rhodopis* (Leptodactylidae). La columna vertebral de los anuros fósiles es muy similar a la de la especie *H. miotympanum*, exceptuando al fósil ST 1084 que no guarda similitud con ninguna de las especies aclaradas. En la cintura pélvica se aprecia que la vértebra sacra de los fósiles es moderadamente expandida; lo cual se observa también en las especies *H. miotympanum*, *H. plicata* e *H. eximia*. Por lo anterior es posible deducir una cercanía hacia la familia Hylidae.

Lynch (1973), en un análisis sobre la transición de anuros arcaicos a avanzados, presenta 38 características distintivas para 18 familias de anuros actuales; por lo que se consideran válidos los 22 estados de carácter utilizados en el análisis numérico. Si bien en la matriz se encuentran demasiados caracteres desconocidos ("9"), como resultado se obtuvo un solo fenograma (Fig. 22), donde se observa la formación de dos subgrupos grandes (denominados con las letras A y B); uno de ellos (A) constituido por un solo ejemplar (ST 1084), que difiere del resto de los fósiles en el número de vértebras y en la forma de la vértebra sacra; además de que se desconocen 13 caracteres; por lo que se piensa que debe pertenecer a otra familia.

El subgrupo B se subdivide en C y D; el primero con dos grupos que incluyen a dos especies de la misma familia (Leptodactylidae). "D" cuenta con 12 OTU's fósiles y actuales, que a su vez, se ramifica en D₁ y D₂; el primero de estos con dos OTU's actuales: *H. arenicolor* e *H. plicata*; en el fenograma representan una sola entidad, ya que para *H. arenicolor* se desconocen los dientes de tipo maxilar y vomerianos, y comparte 20 estados de carácter con *H. plicata*. Las especies se agrupan con 60% de similitud a ST 1560 y ST 1559 que son consideradas como un solo OTU, pues no difieren en ningún carácter, más bien, se desconocen 12 caracteres en ST 1559. Estos dos ejemplares se unen a ST 1561 y a ST 1097 con más del 75% de similitud. Del fenograma se puede proponer que los ejemplares fósiles ST 1560, ST 1559, ST 1561 y ST 1097 probablemente representen una entidad taxonómica nueva parecida a *H. arenicolor* e *H. plicata*. No obstante, Luna, *et al*, (2004) reporta otras especies con las cuales es necesario comparar a los ejemplares fósiles para conocer definitivamente si la propuesta de este estudio es válida.

CONCLUSIONES

- Los anuros fósiles no pertenecen a la familia Bufonidae por carecer ésta de dientes.
- Se propone que el ejemplar ST 1084 por presentar más diferencias con las familias revisadas para este estudio pertenece a un taxa diferente, sin embargo, se considera que está demasiado incompleto.
- Apoyándose en la determinación taxonómica con clave de Smith y Taylor (1966) se concluye que los ejemplares pueden pertenecer a las familias Hylidae o Leptodactylidae por revisión de elementos del esqueleto, tales como el cráneo, la dentición, la cintura pectoral, el número de vértebras presacrales y la vértebra sacra.
- Los resultados del análisis con taxonomía numérica indican una similitud de los ejemplares ST 1560, ST 1561, ST 1097 y ST 1559 con las especies *H. arenicolor* e *H. plicata* de entre el 60 y el 75%; por lo que se propone a estos ejemplares fósiles como una entidad taxonómica nueva similar a estas especies actuales.
- Existe una inclinación de la especie *H. plicata* hacia los anuros fósiles por la semejanza observada en ejemplares aclarados en estructuras del esqueleto como los dientes, el cráneo, la columna vertebral y la cintura pélvica.
- Los anuros son autóctonos por su buen estado de conservación y las condiciones del lago propuestas por Reyes y Vázquez (2003), lo que indica que hubo un ambiente óptimo para el establecimiento de sus poblaciones, ya que se observa en la columna estratigráfica a dichas poblaciones en diferentes tiempos.
- De acuerdo a la estratigrafía del paleolago, los largos periodos de desecación fueron determinantes para la continuidad de estos organismos; que con base en medidas de anuros actuales de la CNAR, de la Facultad de Ciencias y datos de Duellman y Trueb (1986) se deduce que estos vertebrados eran juveniles.
- Deben ser revisadas las especies de la zona de estudio señaladas en el listado de Luna, *et al* (2004) para que la propuesta taxonómica de este estudio tenga

más apoyo. Así como continuar con la búsqueda en otros niveles de la columna estratigráfica de más ejemplares de anuros fósiles.

REFERENCIAS

1. Aubouin, J. *et al.* (1981). *Tratado de Geología. Paleontología y Estratigrafía*. Tomo II. Ed. Omega, S. A. Barcelona, España. 3-6, 598-600.
2. Bogart, J. P. (1972b). *Karyotypes*, p. 171-195. In W. F. Blair , [ed.], *Evolution in the genus Bufo*. Univ. Texas Press, Austin.
3. Casamiquela, R. M. (1961). *Un pipoideo fósil de Patagonia*. Rev. Mus. La Plata, Sec. Paleontol. (Nueva Ser.) 4:71-123.
4. Castillo, C. J. M.; Cabral, P. M. A. y Carranza, C. O. (1996). *Vertebrados fósiles del Estado de Hidalgo*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo. México.
5. Crisci, J. V. y F. López. (1983). *Introducción a la teoría y práctica de la Taxonomía Numérica*. OEA. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D. C. 132 pp.
6. Duellman, W. E. (1970). *Hylid Frogs of the Middle America*. Monograph of the Museum of Natural History, The University of Kansas. No. 1. Vol. 2.
7. Duellman, W. E. (1975). *On the classification of frogs*. Occasional papers of the Museum of Natural History. The University of Kansas, Lawrence, Kansas. Number 42, 1-14.
8. Duellman, W. E. y Trueb, L. (1986). *Biology of Amphibians*. Ed. McGraw-Hill. USA.

9. Estes, R. and Reig, O. A. (1973). *The early fossil record of frogs. A review of the evidence.* p. 36, 37. In J. L. Vial, *Evolutionary Biology of the Anurans. Contemporary research on major problems.* University of Missouri Press.
10. Hennig, W. (1968). *Elementos de una sistemática filogenética.* EUDEBA. Buenos Aires, Argentina. 353 pp.
11. Houghton, J. T., Jenkins, G. J. y Ephraums, J. J. (1991). *Climate Change. The IPCC Cambridge University Press. Scientific Assessment.* New York, U.S.A. 202-204.
12. Holman, J. A. (1970). *A small Pleistocene Herpetofauna from Tamaulipas.* Quarterly Journal of the Florida Academy of Sciences. 32 (2), 153-155.
13. Holman, J. A. (1995). *Pleistocene Amphibians and Reptiles in North America.* Oxford University Press, U. S. A. 26, 85-87.
14. Hull, D. L. (1970). *Contemporary Systematic Philosophies.* Ann. Rev. Ecol. Syst. 1:19-54.
15. Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática. (1991). *Síntesis Geográfica del Estado de Hidalgo.* Editado por el INEGI. Aguas Calientes México. p 5.
16. Jones, Jr., S. B. (1988). *Sistemática Vegetal.* 1ª. ed. McGraw-Hill, México. 536 pp.
17. Luna – Gómez (1994) . *Estudio Geológico de la Región de Santa María Amajac, Municipio de Atotonilco el Grande, Estado de Hidalgo.*

18. Luna, I., Morrone, J. J. y Espinosa, D. (2004). *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM; CONABIO. México, D. F. 417-437.
19. Lynch, J. D. (1973). *The transition from archaic to advanced frogs*. p. 93. In J. L. Vial, *Evolutionary Biology of the Anurans*. Contemporary research on major problems. University of Missouri Press.
20. Miller, J. Tomado de <http://www.livingunderworld.org/anura/families/>
21. Municio, M. A. (1997). *Ciencias de la Naturaleza. Geología I. Geodinámica y Rocas*. Vol. 10. Ed. Planeta. Barcelona, España. 286-289, 301-303.
22. Noble, G. K. (1930). *The fossil frogs of the Intertrappean beds of Bombay, India*. *Ibid.*, no. 401, pp. 1-13, figs. 1-3.
23. Reig, O. A. (1960). *Lineamientos generales de la historia biogeográfica de los anuros*. Act. y Trab. I^o Congr. Sudam. Zool. 1:271-278.
24. Reig, O. A. (1961). *Noticia sobre un nuevo anuro fósil del Jurásico de Santa Cruz (Patagonia)*. *Ameghiniana* 2:73-78.
25. Reyes, T. A. y Vázquez, R. S. D. (2003). *Determinación taxonómica y geoquímica de la concha de ostrácodos fósiles pertenecientes al Plioceno presentes en Sanctorum Hidalgo, México*. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM. México D. F. 36 pp.
26. Salvador, F. R. (2001). *Origen, Sedimentología y Estratigrafía del paleolago de Amajac, Hidalgo*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería, UNAM. México D. F. 87pp.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

27. Schaeffer, B. (1949). *Anurans from the Early Tertiary of Patagonia*. Publications of the Scarrit-Patagonian Expedition, Number 37. Bulletin of the American Museum of Natural History. Vol. 93:Article 2. New York.
28. Schopf, J. M. (1975). *Modes of fossil preservation*. Review of Palaeobotany and Palynology. 27, 29.
29. Smith, H. M. and Taylor, E. H. (1966). *Herpetology of Mexico. Annotated Checklists and keys to the Amphibians and Reptiles*. Eric Lundberg. Ashton, Maryland, U. S. A. 34-103.
30. Spinar, V. Z. (1972). *Tertiary Frogs from Central Europe*. Publishing House of the Czechoslovak. Academy of Sciences, Holland. 164.
31. Trueb, L. (1973). *Bones, Frogs and Evolution*. p. 166-179. In J. L. Vial, Evolutionary Biology of the Anurans. Contemporary research on major problems. University of Missouri Press.
32. Velasco De León, M. P. (1999). *Estudio paleoecológico de una comunidad del Terciario en el estado de Puebla*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. División de Estudios de Posgrado. UNAM. México, D. F. 120 pp.
33. Wiley, E. O., Siegel-Causey, D. R. Brooks y V. A. Funk. (1991). *The Compleat Cladist*. Publicación especial No. 19. Museum of Natural History, The University of Kansas, United States of America. 159 pp.
34. Ziswiler, V. (1978). *Zoología especial. Vertebrados. Anamniotas*. Tomo I. Ed. Omega. Barcelona, España.
35. Zug, G. R. (1993). *Herpetology. An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles*. Academic Press, Inc.

A P E N D I C E S

APÉNDICE 1.

TÉCNICA DE ACLARACIÓN PARA VERTEBRADOS PEQUEÑOS

- **Deshidratación.** Colocar al organismo en una solución de 50% de agua destilada y 50% de etanol al 95% durante un día. Posteriormente, traspasarlo a etanol absoluto o etanol al 95% en caso de no contar con el primero durante un día.
- **Teñido del cartílago.** Colocar al ejemplar en 100 ml de una solución "A" compuesta por 70 ml. de etanol absoluto, 30 ml de ácido acético y 20 mg de azul de alciano por un día. Enseguida colocarlo en una solución "B" preparada con 60 ml de etanol absoluto, 40 ml de ácido acético y 30 mg de azul de alciano por un día y medio. (Cabe mencionar que las cantidades de reactivo pueden ser modificadas siempre y cuando se mantenga la proporción, ya que en el caso de ejemplares de gran tamaño, será necesario preparar una mayor cantidad que la indicada.)
- **Neutralización.** Preparar una solución saturada de borato de sodio y colocar al organismo durante 12 horas.
- **Blanqueado (sólo si los especímenes son pigmentados).** Preparar 100 ml de solución con 15 ml de peróxido de hidrógeno al 3% y 85 ml de hidróxido de potasio al 4% y dejar permanecer al organismo durante 40 minutos.
- **Digestión en tripsina.** Preparar 100 ml de solución con 35 ml de solución saturada de borato de sodio con 65 ml de agua destilada y polvo de tripsina. Mantener al organismo en esta solución hasta que al menos el 60% del mismo se aclare; cambiarlo a una solución fresca cada diez días.
- **Teñido de los huesos.** Colocar al ejemplar en una solución de hidróxido de potasio al 1% con colorante rojo de alizarina* durante un día.

* A la solución de hidróxido de potasio adicionarle una pequeña cantidad de rojo de alizarina hasta tomar un color púrpura oscuro.

- **Decoloración.** Preparar 100 ml de solución con 35 ml de solución saturada de borato de sodio, 65 ml de agua destilada y polvo de tripsina y dejar al organismo durante dos días. Cambiar a una solución fresca cada diez días hasta que el espécimen esté aclarado.
- **Preservación.** Preparar soluciones de glicerina al 30% y 60% con solución de hidróxido de potasio al 1% y mantener al ejemplar durante un día en cada una de ellas. Posteriormente, trasladar al vertebrado a una solución de glicerina al 100% con timol como preservativo final. (La luz solar directa y la solución de glicerina al 100% ayudan a aclarar especímenes difíciles).

Cabe aclarar que los tiempos de estancia en las soluciones fueron considerados en base a la talla del organismo. En el presente caso, se aclararon diez anfibios de una talla máxima de 31 mm de longitud.

Observaciones:

Antes de aplicar la técnica de aclaración descrita anteriormente, es conveniente extraer con ayuda de material de disección los órganos internos de los ejemplares a aclarar, con la finalidad de no obstruir las estructuras óseas.

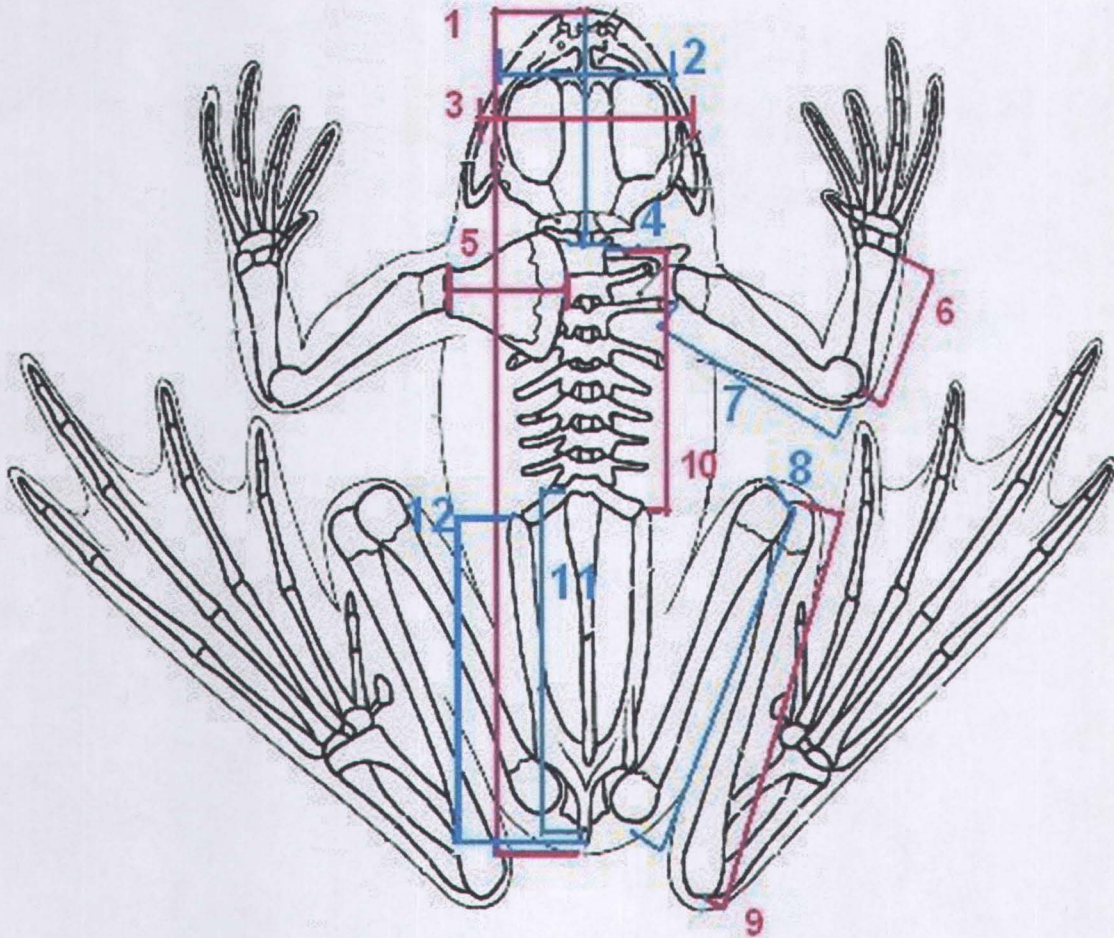
A partir de la etapa de blanqueado, la técnica sufrió algunas modificaciones considerables en base al patrón de la piel de los organismos.

En el caso de la digestión en tripsina, esta última puede ser sustituida por hidróxido de potasio al 2% ó 4%, dependiendo del avance de aclaración del organismo, pero teniendo precaución a su vez de no manejar altas concentraciones de la base, ya que se puede alterar la estructura del organismo separando partes delicadas como extremidades, dígitos y falanges principalmente.

En cuanto al teñido de los huesos, el tiempo de estancia del organismo dependerá de la concentración del colorante, es decir, si ésta es muy elevada, bastará con dos horas de permanencia del organismo en la solución. En base a un posible exceso de colorante, será el tiempo de decoloración renovando la solución hasta que el organismo haya quedado aclarado.

APÈNDICE 2.

Esquema representativo que indica la manera en que fueron medidos los ejemplares



- 1) Longitud total
- 2) Ancho de la caja craneal
- 3) Ancho del cráneo
- 4) Longitud total del cráneo
- 5) Ancho de la cintura escapular
- 6) Longitud de la radioulna
- 7) Longitud del húmero
- 8) Longitud del fémur
- 9) Longitud de la tibio.fibula
- 10) Longitud de la columna vertebral
- 11) Longitud del urostilo
- 12) Longitud del ilium