



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

RECONSTRUCCION PALEOAMBIENTAL HOLOCENICA DE LA
LAGUNA DE BABICORA, CHIHUAHUA, MEXICO CON BASE
EN GEOQUIMICA DE CONCHAS DE OSTRACODOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

B I O L O G A

P R E S E N T A :

VIOLETA AMPARO ROMERO MAYEN



FACULTAD DE CIENCIAS
UNAM

DIRECTORA DE TESIS: DRA. ANA LUISA CARREÑO
CODIRECTOR DE TESIS: DR. MANUEL ROBERTO PALACIOS FEST

2005



FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR

m.342580



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito: Reconstrucción paleoambiental holocénica de la Laguna de Babícora, Chihuahua, México con base en geoquímica de conchas de ostrácodos

realizado por Romero Mayén Violeta Amparo

con número de cuenta 09855338-3 , quien cubrió los créditos de la carrera de: Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis

Propietario Dra. Ana Luisa Carreño *Ana Luisa Carreño*

Codirector de Tesis

Propietario Dr. Manuel Roberto Palacios Fest *Manuel Roberto Palacios Fest*

Propietario Dra. María del Carmen Perrilliat Montoya *Ma. Carmen Perrilliat*

Suplente Dr. Sergio Rafael Silvestre Cevallos Ferriz *Sergio Rivallos*

Suplente Dr. Francisco Javier Vega Vera *Francisco Javier Vega Vera*

Consejo Departamental de Biología

Juan Manuel Rodríguez Chávez
M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez

FACULTAD DE CIENCIAS



UNIDAD DE ENSEÑANZA
DE BIOLOGÍA

A mis padres, Rosaura y Rafael,
su cariño, ejemplo y motivación me han llevado hasta donde estoy.

A mis hermanas, Tania y Ángeles,
por la vida compartida.

A Pedro,
por las batallas y el cariño compartidos.

A mis abuelos, Aurora e Isabel, Jacinto y Pedro.

A mis tíos, Aaron, Alejandra, Ana Lilia, Carlos, Claudia, David, Fernando, Gabriela,
Gerardo, Isabel, Jorge, Ma. Eugenia, Mercedes y Patricia.

A mis primos, Abril, Alayde, Alejandro, Alged, Amaranta, Ámbar, Amaury, Amilcar,
Andrea, Ángeles, Anthar, Arzú, Aura, Aurora, Diego, Gerardo, Hemzani, Israel,
Karla, Manuel, Pedro y Tamara.

A Ángel y José.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Ciencias, por ser el principal centro de mi formación académica.

Al Dr. Gustavo Tolson Jones, director del Instituto de Geología, por haberme brindado las facilidades para desarrollar este trabajo en las instalaciones bajo su cargo.

A mi directora de Tesis, Dra. Ana Luisa Carreño, por muchas, muchas cosas, que en pocas palabras (pero no suficientes) quedan en: su disposición y paciencia al dirigir este trabajo, además de su apoyo (y calcio) brindados.

A mi codirector de Tesis, Dr. Manuel R. Palacios Fest, primero, por la estancia realizada (una muy agradable experiencia) y, segundo, por compartir sus conocimientos y sus comentarios al trabajo.

Al Proyecto de CONACyT no. 45065 bajo el cargo del Dr. Sergio Cevallos Ferriz, por el apoyo económico brindado durante la realización del trabajo.

Al Dr. José R. Ortega Ramírez por proporcionar el material para realizar este trabajo de Tesis.

A mis sinodales, Dra. Ma. del Carmen Perrilliat, Dr. Sergio Cevallos y Dr. Francisco Vega, por sus valiosas observaciones y comentarios a este trabajo.

A mis profesores del Taller, Dra. Marisol Montellano, Dr. Pedro García, Dr. Sergio Cevallos, Dra. Ana Luisa Carreño, Dra. Socorro Lozano, Dra. Ma. del Carmen Perrilliat, M. en C. José Luis Sánchez, M. en C. Enrique González, Héctor Hernández y Gerardo Álvarez, por el tiempo dedicado durante las clases impartidas.

Al Dr. Dirk Baron del Departamento de Geología de la Universidad del Estado de California, Bakersfield, Cal., E. U. A., por las facilidades brindadas para realizar el análisis por espectrofotometría de masas de las muestras.

A Marcela Rosaura Ugarte Hernández del Laboratorio de Análisis Integral de Muestras de Rocas, Área de Microscopía Electrónica de Barrido del Instituto Mexicano del Petróleo, por su ayuda con las fotografías de los ejemplares ilustrados en el presente trabajo.

Al M. en C. Alejandro Rodríguez Ramírez, por su ayuda con la identificación de la diatomea.

A Edgar y Hugo, compañeros de cubo que hicieron amenas las horas frente a la computadora y por su ayuda con varias dudas.

A Rosaura Mayén, Rafael Romero y Pedro Estrella, por sus revisiones y correcciones al escrito.

A toda mi familia, su apoyo e interés siempre me mantuvieron motivada.

A Gimena, Minako, Libertad, Beatriz, Alejandra, Rosalía y Karla,

A Andrés, Dulce, Iraís, Jaime, Odeth y Yani,

A Adriana, Arturo, Azucena, Carlos, Erandi, Rosa y Tonatiuh,
por su amistad y por haber compartido algún momento del camino.

RECONSTRUCCIÓN PALEOAMBIENTAL HOLOCÉNICA DE LA LAGUNA
DE BABÍCOR, CHIHUAHUA, MÉXICO, CON BASE EN GEOQUÍMICA DE
CONCHAS DE OSTRÁCODOS

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
ANTECEDENTES.....	7
MATERIALES Y MÉTODO.....	9
Área de estudio.....	9
Procesamiento de las muestras.....	11
RESULTADOS.....	14
Sistemática.....	14
Tafonomía.....	17
Tasa de sedimentación.....	22
Índice de Paleosalinidad.....	24
Paleotemperaturas.....	25
DISCUSIÓN.....	28
CONCLUSIONES.....	35
BIBLIOGRAFÍA.....	36
LÁMINA I.....	42
LÁMINA II.....	44

RESUMEN

Se aplica el método de regresión múltiple a las variaciones de la relación Mg/Ca medida en conchas fósiles de *Limnocythere platyforma* con la intención de demostrar la utilización de especies de este género como un *proxy* valioso en la reconstrucción paleoambiental de los cuerpos de agua que contienen estos ostrácodos.

Se emplean en el análisis, ostrácodos provenientes de un perfil sedimentario recuperado en la Laguna de Babícora, Chihuahua, México, que comprende un intervalo de tiempo de $9,587 \pm 112$ – 836 ± 102 años A. P.

La relación Mg/Ca, junto con el análisis tafonómico y las afinidades ecológicas del conjunto de ostrácodos, sugieren dos periodos de enfriamiento y dos de calentamiento alternados, los cuales fueron consecuencia de las alteraciones en los parámetros orbitales de la Tierra que están ampliamente descritos para el Holoceno.

Los resultados obtenidos son coherentes con las inferencias cualitativas realizadas con otros *proxie* para el norte de México y sur de Estados Unidos de América, por lo que se demuestra la confiabilidad del método utilizado en análisis paleoambientales.

ABSTRACT

The multiple regression method is applied to the variations Mg/Ca ratio measured in fossil shells of *Limnocythere platyforma* with the purpose of demonstrating how the use of species from this genus is a valuable proxy in the paleoenvironmental reconstruction of water bodies containing this ostracode.

In this analysis are used ostracodes from a sedimentary profile recovered in the Laguna de Babícora, Chihuahua, Mexico that involves a period of 9587 ± 112 - 836 ± 102 years B. P.

The Mg/Ca ratio, together with the taphonomic analysis and ecological affinities of the ostracode group, suggest two alternating cooling and two heating periods, which where a consequence of the Earth's orbital parameter alterations widely described during the Holocene.

The results that were obtained are in accordance with the qualitative inferences realized with other proxie for the north of Mexico and south of the United States of America, for which the reliability of the used method is demonstrated in paleoenvironmental analyses.

INTRODUCCIÓN

El Holoceno (~11,000 años A. P.-presente) está incluido en el Neógeno tardío, intervalo durante el cual ocurre la mayor inestabilidad climática a lo largo de la historia de la Tierra (COHMAP, 1988). Durante el Holoceno, se registran diversos episodios abruptos de enfriamiento y calentamiento. En el Holoceno temprano (~11,000–8,900 años A. P.) la insolación aumentó, ocasionando que la temperatura en verano fuera mayor (2 a 4° C) en comparación con la actual, aunque en el Este de América del Norte prevalecían condiciones frías con una corriente monzónica en verano a lo largo de la costa del Golfo de México y en México en general (COHMAP, 1988). En escala global, hubo un retroceso y disminución de los glaciares continentales, aumento de las superficies oceánicas, disminución del albedo e intensificación de los monzones (Kutzbach y Otto-Bliesner, 1982). En el Holoceno medio (8,900~4,000 años A. P.) la temperatura en verano aumentó de 2 a 4° C en el interior de América del Norte debido a un incremento en la insolación, hubo una reducción en la humedad efectiva y por lo tanto un incremento en la aridez (COHMAP, 1988). Durante el Holoceno tardío (~4,000 años A. P.-presente) las condiciones climáticas comienzan a estabilizarse, aunque todavía persiste un marcado aumento en la insolación recibida, la precipitación disminuye por lo que hay un periodo de aridez, que ocasiona a su vez un descenso en los cuerpos de agua continentales de América del Norte (Ortega-Ramírez, 1995).

Para la reconstrucción de los cambios climáticos se utilizan *proxie* o indicadores indirectos de variables no observables, como la temperatura, la salinidad, el contenido de nutrimentos, el contenido de oxígeno y el pH, entre otros (Wefer *et al.*, 1999). Estos indicadores pueden ser físicos, químicos o biológicos y debido a que son muy sensibles a cambios en el ambiente y a que están relacionados con el clima son empleados con éxito (Rull, 2000).

Los ostrácodos son crustáceos pequeños (0.5-3 mm de longitud cuando son adultos) que secretan un par de valvas de carbonato de calcio en forma de calcita bajo en magnesio, elementos que incorporan del medio (Turpen y Angell, 1971) y que cubren el cuerpo blando así como los apéndices (generalmente de 5 a 8), que están relacionados

con diversas funciones como alimentación, movimiento y reproducción entre otras. Su crecimiento se efectúa por ecdisis (mudas) de 8 a 9 veces en su ciclo de vida, siendo el estadio más joven el A-9 y el adulto A (Holmes, 2001). Es hasta el último estadio donde las características morfológicas de cada especie quedan bien definidas, por lo que la identificación de las especies se hace con base en individuos adultos.

Son animales que han logrado una gran diversificación y adaptación a diversas condiciones ambientales, pues se les encuentra en una amplia variedad de cuerpos de agua, como el océano (a diversas profundidades), lagos, estuarios, lagunas, pantanos e incluso en el medio terrestre. A pesar de ser tan diversos en cuanto a hábitats, existen ciertos factores relacionados con su medio a los que son muy sensibles y que determinan su presencia, distribución, diversidad y abundancia. Estos factores están relacionados con la temperatura, salinidad, pH, composición iónica, sólidos totales disueltos (TDS) y contenido de oxígeno, tipo de sustrato, profundidad, permanencia del cuerpo de agua, intensidad de las corrientes, presencia y tipo de vegetación, disponibilidad de alimento y depredación (Holmes, 1992).

A pesar de que están limitados por estos factores, existen especies que toleran un amplio rango en las variaciones químicas del agua, denominadas euritópicas, al contrario de aquellas que están limitadas a ciertas condiciones del agua y que se definen como estenotópicas (Palacios-Fest, 1994).

Su reproducción es un aspecto importante en su diversificación y adaptación, pues de acuerdo con la especie y las condiciones ambientales, puede ser sexual, partenogenética o mixta (Holmes, 2001).

Al ser organismos muy sensibles a cambios físicos y químicos de los cuerpos de agua donde habitan, se les ha considerado una herramienta eficaz para la reconstrucción de ambientes pasados con base en distintas características, como la abundancia y diversidad de las especies y la estructura de las poblaciones (De Deckker, 1988; Carreño, 1990; Forester, 1991; Palacios-Fest *et al.*, 1993; Ruiz *et al.*, 2003). Danielopol *et al.* (2002) señalan que el cálculo de la densidad relativa a lo largo de un periodo ofrece un indicador de cambios ambientales, bajo el supuesto de que al irse modificando las condiciones del ambiente, las especies que encuentren estas nuevas condiciones

favorables reemplazarán a aquellas que estén menos adaptadas. Boomer *et al.* (2003) ilustran de manera muy clara la utilidad de las asociaciones para la reconstrucción de los paleoambientes con base en las abundancias relativa y absoluta, las relaciones adultos/juveniles, hembras/machos y valvas/caparazones para determinar aspectos físicos del agua, las asociaciones de vida y los procesos tafonómicos. De Deckker y Forester (1988) señalan que en aguas dominadas por Ca^{2+} y HCO_3^- (pero no saturadas en CO_3^-), existe una diversidad de especies menor a cinco y con poca abundancia; cuando el agua se satura con respecto a la calcita, el número de especies aumenta de 20 a 30; y cuando el Ca^{2+} o el HCO_3^- han sido eliminados, la salinidad aumenta y entonces se presenta una disminución de la diversidad (de cinco a diez especies).

Un ejemplo de variación morfológica se puede ver con *Limnocythere ceriotuberosa* Delorme, que habita en aguas alcalinas eurihalinas, pero cuando se encuentra en condiciones de agua dulce desarrolla un ala en la parte ventral posterior, identificándosele como *Limnocythere platyforma* (Palacios-Fest *et al.*, 1994).

Cuando los ostrácodos calcifican su caparazón, incorporan otros elementos del ambiente además del carbonato de calcio, como el magnesio y el estroncio, los cuales quedan como elementos traza en las valvas de los ostrácodos adultos (Palacios-Fest, 1996). Chivas *et al.* (1983 y 1986a) realizaron experimentos con cultivos de algunas especies de los géneros *Mytilocypris* y *Australocypris*, encontrando que a mayor temperatura y salinidad del agua, la relación Mg/Ca de las valvas es mayor, y que con temperaturas y salinidad bajas, el contenido de Mg en las valvas también disminuye. Como complemento, el análisis del ^{18}O de las valvas también está relacionado con temperatura y salinidad, de manera que a mayor temperatura menor cantidad de ^{18}O en valvas y a mayor salinidad, mayor cantidad de ^{18}O en valvas y viceversa. Con estos resultados los autores proponen que con base en el coeficiente de distribución (K_D) del Mg y la cantidad de ^{18}O de las valvas se pueden hacer inferencias acerca de las salinidades y temperaturas pasadas. El contenido de estroncio en las valvas también puede ser utilizado como un indicador de ciertas condiciones pasadas, como la salinidad (Chivas *et al.*, 1985). Estos autores proponen que el Sr que se encuentra en las valvas de los ostrácodos está en proporción con el contenido de Sr del agua, y que si se conoce

bien la relación entre la salinidad y el contenido del mismo en el agua de un lago hidrológicamente sencillo, entonces a partir de valvas de ostrácodos fósiles se puede inferir la salinidad. Trabajando con otras especies, Chivas *et al.* (1986b) encuentran la misma relación entre el K_D del Mg y la temperatura y el K_D del Sr con la salinidad del agua.

Engstrom y Nelson (1991) proponen con base en cultivos de *Candona rawsoni* Tressler con variaciones de temperatura, salinidad y Mg en el agua, que la captura se da en un equilibrio termodinámico y que la relación Mg/Ca de las valvas puede proporcionar la temperatura bajo la cual se efectúa la calcificación mediante un coeficiente de partición que incrementa con la temperatura. Sin embargo, Xia *et al.* (1997) obtienen resultados distintos en cultivos de la misma especie, encontrando que el coeficiente de partición del Mg disminuye mientras la relación Mg/Ca aumenta en el agua. Palacios-Fest (1996) desarrolló un método de regresión múltiple para *Limnocythere staplini* Gutentag y Benson, con el cual, de acuerdo con las relaciones Mg/Ca y Sr/Ca de las valvas, es posible calcular la paleotemperatura y paleosalinidad respectivamente, proponiendo que para obtener estos cálculos no es necesario el coeficiente de partición, pues la asimilación de estos elementos del agua hacia las valvas está determinada por factores biocinéticos del organismo y no necesariamente ocurre en un equilibrio termodinámico con el agua. Palacios-Fest y Dettman (2001) realizan experimentos de campo con *Cypridopsis vidua* y encuentran la relación que existe entre la temperatura del agua y la relación Mg/Ca en las valvas, proponiéndolo como un *proxie* indicador de temperatura, y reforzando la hipótesis de que la incorporación del Mg está en función de la biología del ostrácodo más que con la composición química del agua. Este método ha sido aplicado en una laguna del estado de Chihuahua en las especies *Limnocythere ceriotuberosa* y *L. platyforma* (Palacios-Fest *et al.*, 2002) obteniendo temperaturas dentro de un rango aceptable. En un paleolago del estado de Hidalgo, Reyes-Torres y Vázquez-Rodríguez (2003) aplican también el método, empleando *L. bradburyi* y *L. itasca* Cole, aunque los resultados obtenidos no son los esperados debido a que las valvas empleadas se encontraban recristalizadas.

Con la intención de comprobar si el método de regresión múltiple desarrollado

por Palacios-Fest (1996) para calcular paleotemperaturas es aplicable al género *Limnocythere*, y por tanto éste pueda ser utilizado como un *proxie* confiable en la reconstrucción de las condiciones climáticas de un área determinada, en el presente trabajo se aplica este método en conchas fósiles de *Limnocythere platyforma* provenientes de un perfil sedimentario de la Laguna de Babicora, del estado de Chihuahua, que representa 9587 ± 112 años A. P.

ANTECEDENTES

Los estudios que implican la caracterización de hábitats para las diversas especies de ostrácodos lacustres han jugado un papel muy importante en las reconstrucciones paleoambientales que se basan en ostrácodos. Forester (1983) demostró que a pesar de que los requerimientos de salinidad y pH de *Limnocythere staplini* y *L. sappaensis* Staplin pueden ser similares, la composición de los solutos en el agua es el factor decisivo para determinar su presencia, ya que mientras *L. sappaensis* habita en aguas ricas en HCO_3^- , *L. staplini* prefiere aguas dominadas por Ca^{2+} y enriquecida en SO_4^{2-} . Debido a esto, la presencia de una especie excluye a la otra, excepto en el caso en el cual exista un equilibrio en el agua de Ca^{2+} y CO_3 . Forester (1985) al describir una nueva especie en México (*Limnocythere bradburyi*), determina los requerimientos y rangos de tolerancia en los que esta especie se desarrolla; Curry (1999) desarrolló un índice de tolerancia a cambios en factores físicos y químicos para 10 especies de ostrácodos recientes; Palacios-Fest y Dettman (2001) determinaron la relación que existe entre la temperatura y la relación Mg/Ca que hay en las valvas de especímenes recientes de *Cypridopsis vidua* de un lago de Sonora.

Para la zona Norte de México y Sur de los Estados Unidos de América se han realizado diversas reconstrucciones paleoclimáticas holocénicas basadas en registros de ocupación humana y niveles lacustres (Antevs, 1948 y 1955), estratigrafía y vegetación (Van Devender y Spaulding, 1979; Waters y Hanes, 2001; Nordt, 2003; Menking y Anderson, 2003), sedimentología (Allen y Anderson, 1993), modelos astronómicos (Davis, 1984; Clement *et al.*, 2000), contenidos vegetales de nidos de *Neotoma* sp. (Van

por Palacios-Fest (1996) para calcular paleotemperaturas es aplicable al género *Limnocythere*, y por tanto éste pueda ser utilizado como un *proxie* confiable en la reconstrucción de las condiciones climáticas de un área determinada, en el presente trabajo se aplica este método en conchas fósiles de *Limnocythere platyforma* provenientes de un perfil sedimentario de la Laguna de Babicora, del estado de Chihuahua, que representa 9587±112 años A. P.

ANTECEDENTES

Los estudios que implican la caracterización de hábitats para las diversas especies de ostrácodos lacustres han jugado un papel muy importante en las reconstrucciones paleoambientales que se basan en ostrácodos. Forester (1983) demostró que a pesar de que los requerimientos de salinidad y pH de *Limnocythere staplini* y *L. sappaensis* Staplin pueden ser similares, la composición de los solutos en el agua es el factor decisivo para determinar su presencia, ya que mientras *L. sappaensis* habita en aguas ricas en HCO_3^- , *L. staplini* prefiere aguas dominadas por Ca^{2+} y enriquecida en SO_4^{2-} . Debido a esto, la presencia de una especie excluye a la otra, excepto en el caso en el cual exista un equilibrio en el agua de Ca^{2+} y CO_3 . Forester (1985) al describir una nueva especie en México (*Limnocythere bradburyi*), determina los requerimientos y rangos de tolerancia en los que esta especie se desarrolla; Curry (1999) desarrolló un índice de tolerancia a cambios en factores físicos y químicos para 10 especies de ostrácodos recientes; Palacios-Fest y Dettman (2001) determinaron la relación que existe entre la temperatura y la relación Mg/Ca que hay en las valvas de especímenes recientes de *Cypridopsis vidua* de un lago de Sonora.

Para la zona Norte de México y Sur de los Estados Unidos de América se han realizado diversas reconstrucciones paleoclimáticas holocénicas basadas en registros de ocupación humana y niveles lacustres (Antevs, 1948 y 1955), estratigrafía y vegetación (Van Devender y Spaulding, 1979; Waters y Hanes, 2001; Nordt, 2003; Menking y Anderson, 2003), sedimentología (Allen y Anderson, 1993), modelos astronómicos (Davis, 1984; Clement *et al.*, 2000), contenidos vegetales de nidos de *Neotoma* sp. (Van

Devender, 1990a y b), polen y diatomeas (Metcalfé *et al.*, 1997 y 2002) y recopilaciones bibliográficas (Metcalfé *et al.*, 2000).

Ortega-Ramírez (1995) reconstruyó los paleoambientes de la Laguna de Babícora de los últimos 10,000 años A. P. con base en análisis sedimentológicos, estadísticos y estratigráficos de 8 perfiles, concluye que durante el Holoceno temprano el nivel del agua de la laguna era bajo; para el Holoceno medio los ambientes palustres dominan en la laguna, con precipitaciones temporales abundantes; y en el Holoceno tardío hubo un fuerte periodo de erosión, seguido del establecimiento de las condiciones actuales de aridez.

Complementando los resultados anteriores, Ortega-Ramírez *et al.* (2000) reconstruyen para los últimos 18,000 años A. P. las condiciones de la laguna con base en análisis sedimentarios y estratigráficos de tres perfiles sedimentarios, infiriendo para el Wisconsiniano tardío (18,000-10,000 años A. P.) que la humedad era mayor que la actual, y por lo tanto el cuerpo de agua era extenso; de 11,000 a 8,900 años A. P. (Holoceno temprano), sugieren que las condiciones de humedad disminuyeron ligeramente por lo que el lago se mantiene somero y perenne; durante el Holoceno medio (8,900-4,000 años A. P.) interpretan un lago en condiciones de pantano con un aumento en la aridez y con el nivel del agua disminuyendo; finalmente el Holoceno tardío (4,000 años A. P.-presente) está caracterizado por establecerse las condiciones climáticas que en la actualidad imperan en la zona; es decir, ambientes semiáridos.

Entre los trabajos que emplean *proxie* biológicos, se puede citar el de Palacios-Fest *et al.* (2002), quienes reconstruyen la historia paleoambiental de tres perfiles sedimentarios de la Laguna de Babícora para los últimos 25,000 años A. P. basándose en la paleoecología de 7 especies de ostrácodos y la geoquímica de un elemento traza (Mg) en las conchas de *Limnocythere ceriotuberosa* y *L. platyforma*. De acuerdo con estos autores, el lago tuvo variaciones en salinidad de oligo a mesohalino y con temperaturas de 5.3 a 21.3° C; para el intervalo comprendido entre el Pleistoceno tardío-Holoceno tardío, los autores infieren que del Pleistoceno tardío al Holoceno temprano (11,000 años A. P. aprox.) los aportes fluviales decrecieron; estando la zona oeste de la Laguna dominada por ambientes palustres, mientras que la zona sur por depósitos lacustres; de

acuerdo con los índices de temperatura obtenidos de la relación Mg/Ca de las valvas, las temperaturas de un perfil varían de 6.6-7.6° C y en otro perfil de 8.2 a 21.3° C; en el Holoceno medio (8,900-4,000 años A. P.) la temperatura del agua fue muy variable y la humedad efectiva decreció, con temperaturas de 21.3° C calculadas a partir del Mg/Ca de las valvas; y por último para el Holoceno tardío (4,000 años A. P.-presente) hay un declive brusco de la temperatura con temperaturas cercanas a los 8.3° C, aunque la humedad efectiva aumentó, probablemente debido a los inviernos fríos, lo cual también explica el descenso en la temperatura.

MATERIALES Y MÉTODO

Área de estudio

La Laguna de Babícora es una cuenca que se encuentra en el noroeste del estado de Chihuahua, México (29° 15'- 29° 30' N y 107° 40'-108° 00' O) con orientación noroeste-sureste (Figura 1). Ocupa un área de 1,896 km² a una altitud de 2,100 msnm y se encuentra rodeada por colinas y picos que alcanzan de 2,500 hasta 3,195 msnm, mismos que están conformados en su base por riolita intercalada con andesita e ignimbrita con edades del Mioceno al Pleistoceno y cubiertas por tufa riolítica y flujos de lava basáltica con edades del Plioceno-Pleistoceno. La mayoría de las rocas son de origen lacustre o fluvial (Ortega-Ramírez *et al.*, 2000). La zona de estudio se encuentra entre dos de las más extensas zonas áridas de México y que abarcan hasta el sur de los Estados Unidos de América, el Desierto Chihuahuense y el Desierto Sonorense.

La precipitación media anual es de 450 mm con precipitaciones en verano y su temperatura media anual es de 11.5° C (Ortega-Ramírez *et al.*, 1998).

acuerdo con los índices de temperatura obtenidos de la relación Mg/Ca de las valvas, las temperaturas de un perfil varían de 6.6-7.6° C y en otro perfil de 8.2 a 21.3° C; en el Holoceno medio (8,900-4,000 años A. P.) la temperatura del agua fue muy variable y la humedad efectiva decreció, con temperaturas de 21.3° C calculadas a partir del Mg/Ca de las valvas; y por último para el Holoceno tardío (4,000 años A. P.-presente) hay un declive brusco de la temperatura con temperaturas cercanas a los 8.3° C, aunque la humedad efectiva aumentó, probablemente debido a los inviernos fríos, lo cual también explica el descenso en la temperatura.

MATERIALES Y MÉTODO

Área de estudio

La Laguna de Babícora es una cuenca que se encuentra en el noroeste del estado de Chihuahua, México (29° 15'- 29° 30' N y 107° 40'-108° 00' O) con orientación noroeste-sureste (Figura 1). Ocupa un área de 1,896 km² a una altitud de 2,100 msnm y se encuentra rodeada por colinas y picos que alcanzan de 2,500 hasta 3,195 msnm, mismos que están conformados en su base por riolita intercalada con andesita e ignimbrita con edades del Mioceno al Pleistoceno y cubiertas por tufa riolítica y flujos de lava basáltica con edades del Plioceno-Pleistoceno. La mayoría de las rocas son de origen lacustre o fluvial (Ortega-Ramírez *et al.*, 2000). La zona de estudio se encuentra entre dos de las más extensas zonas áridas de México y que abarcan hasta el sur de los Estados Unidos de América, el Desierto Chihuahuense y el Desierto Sonorense.

La precipitación media anual es de 450 mm con precipitaciones en verano y su temperatura media anual es de 11.5° C (Ortega-Ramírez *et al.*, 1998).

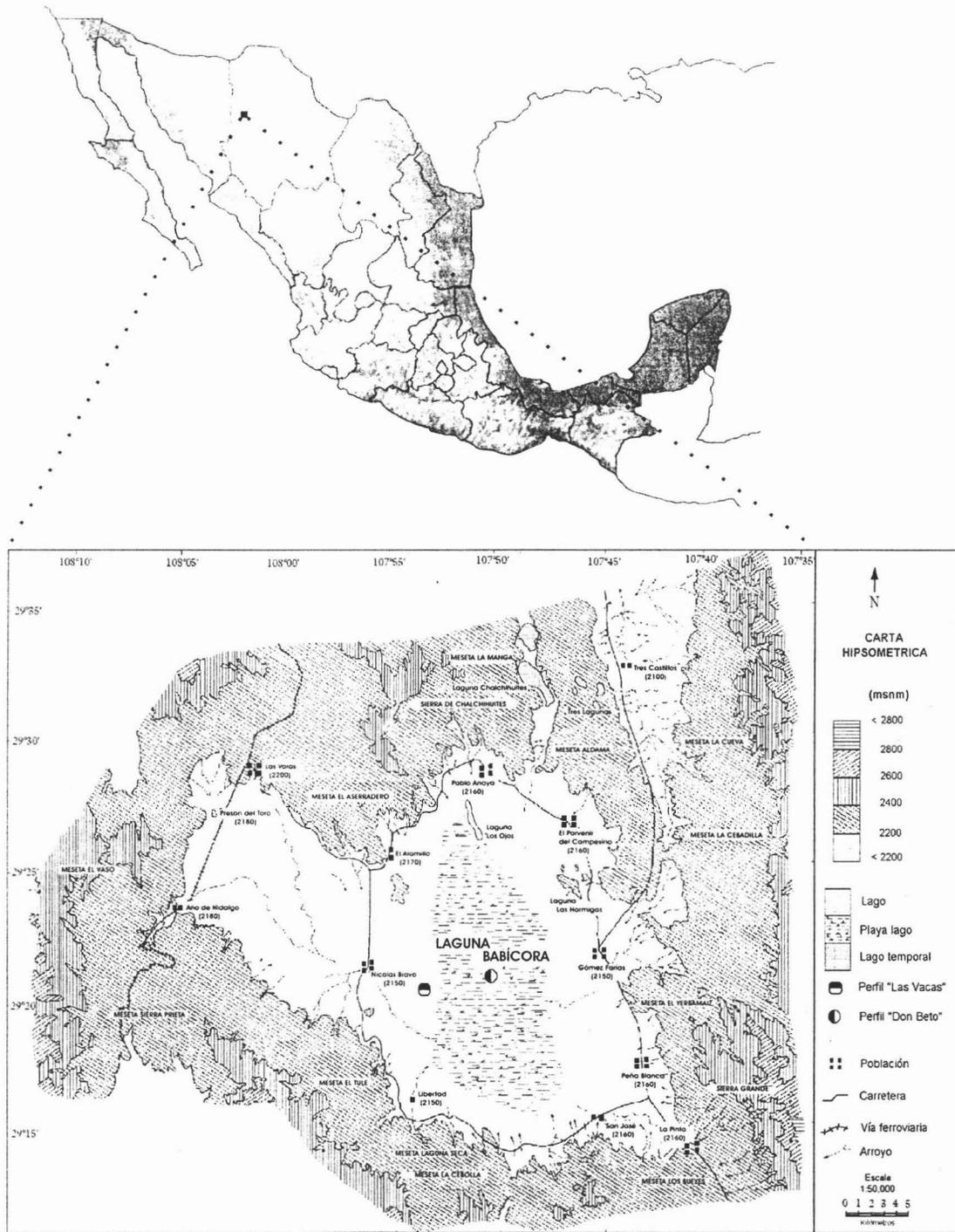


Figura 1. Ubicación de la localidad de Las Vacas, en la Laguna de Babicora, Chihuahua, México (modificado de Palacios-Fest *et al.*, 2002).

El material fue proporcionado por el Dr. José R. Ortega-Ramírez y fue recuperado en la localidad denominada Las Vacas. El perfil tiene una profundidad de 120 cm y está dividido en 12 estratos, numerados del 1 al 12 de la base a la cima. La columna estratigráfica está constituida por una sucesión monótona de arcilla limosa y limolita arcillosa (Figura 2).

Se obtuvieron dos edades por ^{14}C , la primera a los 115 cm de profundidad (Vacas 1) de $9,587 \pm 112$ años A. P. y la segunda de 836 ± 108 años A. P. a los 35 cm de profundidad (Vacas 9) (Ortega-Ramírez, com. pers.).

Procesamiento de las muestras

Se procesó 10 g de sedimento de cada uno de los doce estratos, disolviéndolo en agua destilada en punto de ebullición y con hexametáfosfato de sodio para disgregar la arcilla. Se mantuvo con agitación constante hasta que el agua enfriara. Posteriormente, el sedimento se lavó sobre dos tamices de 7.5 cm de diámetro y con una abertura de $63 \mu\text{m}$ (malla no. 250) y $106 \mu\text{m}$ (malla no. 150) de malla para eliminar el sedimento fino y poder recuperar las valvas de cualquier estadio. Los residuos se colocaron en vasos de precipitado y posteriormente en un horno a 45°C con el fin de eliminar el agua; una vez seco, se obtuvo el peso nuevamente. Bajo un microscopio estereoscópico, se revisó el sedimento, extrayendo los ostrácodos y colocándolos en placas Plummer, identificando morfotipos y separando las valvas o caparazones de los individuos adultos. Ya separados, se realizó la identificación de las especies con ayuda de las descripciones de Van Morkhoven (1963), Delorme (1971a, b y c), Forester (1985) y Carreño (1990). En el Instituto Mexicano del Petróleo se tomaron fotografías de las valvas en diferentes vistas bajo Microscopio Electrónico de Barrido marca Carl Zeiss modelo DSM960A. Los ejemplares fotografiados fueron depositados en la Colección Micropaleontológica del Museo del Instituto de Geología de la UNAM bajo las siglas IGM--Mi.

Con la finalidad de establecer la estructura de la población y evaluar los aspectos tafonómicos, se calcularon la abundancia absoluta —número total de organismos por estrato— y la abundancia relativa —porcentaje que la especie representa del total de la

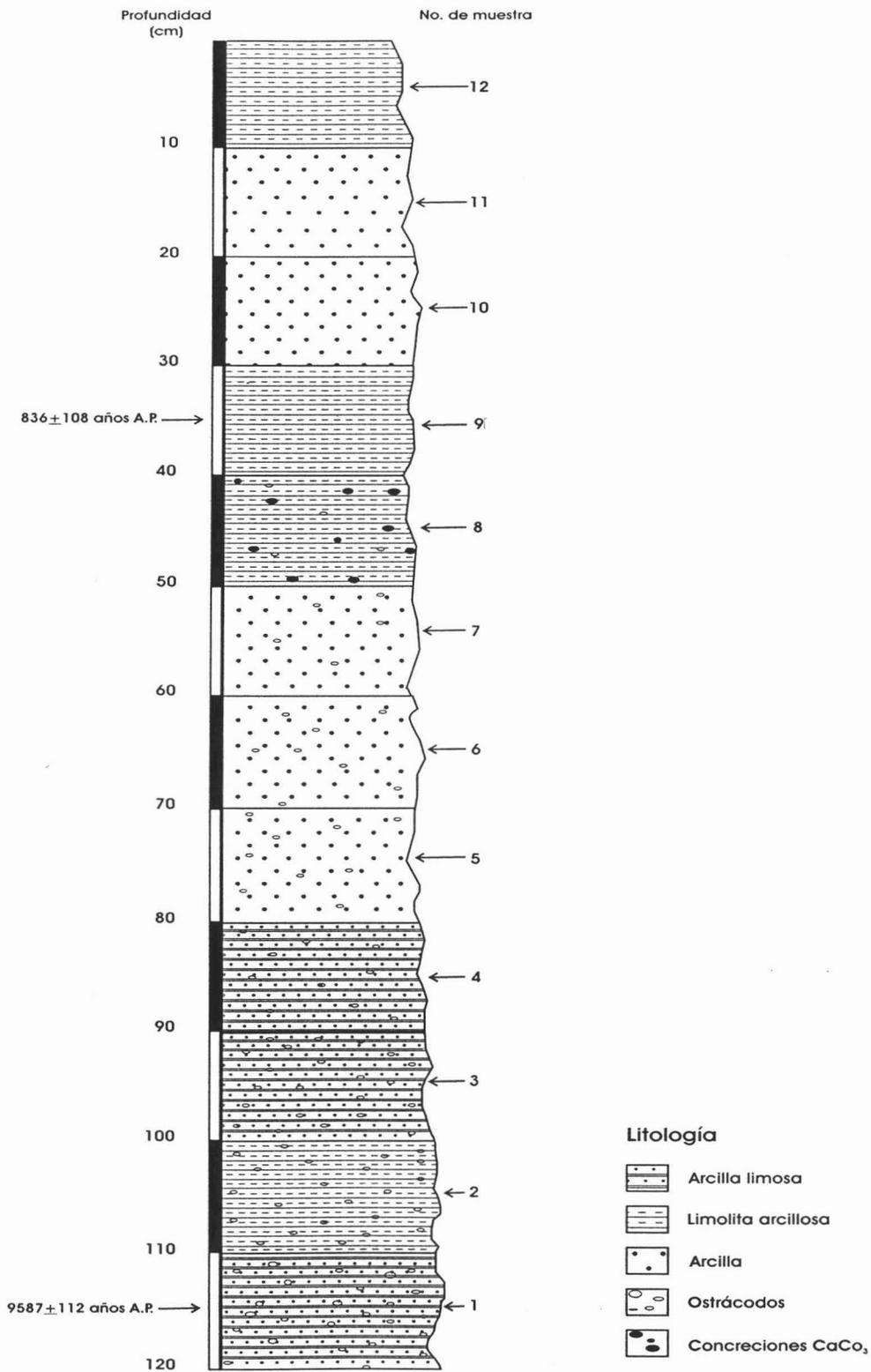


Figura 2. Sección estratigráfica del perfil perteneciente a la Localidad de Las Vacas, en la Laguna de Babicora, Chihuahua, México.

población por estrato— de cada una de las especies por estrato, considerando una valva o un caparazón como un individuo. Dentro de este último contexto también se realizó el conteo de hembras y machos por especie. Para los individuos juveniles se hizo el conteo de valvas y caparazones y posteriormente se obtuvo la relación adultos/juveniles.

Para el análisis de elementos traza de las conchas, se separaron por estrato cinco individuos adultos en buen estado (cuando fueron disponibles) de la especie *Limnocythere platyforma* para su preparación. Esta especie fue elegida debido a que Palacios-Fest (1996) desarrolló los coeficientes para la estimación de temperaturas a partir de la relación Mg/Ca de las valvas de la especie *Limnocythere staplini*. Su preparación consistió en una limpieza cuidadosa de las valvas sumergiéndolas en una solución de hipoclorito de sodio (NaOCl) al 10% por treinta minutos y enjuagándolas tres veces en agua bidestilada, cepillándolas con un pincel 000 de acrílico y con un enjuague en etanol absoluto al 70%. Las valvas fueron pesadas en una balanza electrónica Cahn 29, con σ de ± 0.002 μg . En el Laboratorio de Elementos Traza del Departamento de Física y Geología de la Universidad del Estado de California en Bakersfield, Cal., E. U. A., los ostrácodos fueron disueltos en HNO_3 al 2%, preparado a partir de agua ultrapura (18.2 $\mu\text{Ohm-cm}$) del Sistema Barnstedt Nanopure y concentrado de HNO_3 (Fisher Trace Metal Grade). A cada muestra se le agregó 10 μl de cobalto (^{59}Co) como testigo (estándar de cobalto con grado de verificación de calidad Spex CertiPrep). Después se prepararon los estándares para el análisis espectrométrico del Ca^{2+} y Mg^{2+} en un espectrómetro de masas por inducción de plasma (ICP-MS) marca Perkin Elmer Elan 6100 calibrado utilizando estándares externos de Ca, Mg y Sr (Spex CertiPrep Clarits PPT Multielement solution).

Para la obtención del índice de paleosalinidad (I. P.) se utilizó la ecuación desarrollada por Palacios-Fest *et al.* (1993), la cual proporciona una estimación de la salinidad con base en la abundancia relativa de las especies, adecuándola de acuerdo con las especies presentes en las muestras y con su tolerancia a la salinidad. Se aplicó la siguiente ecuación [1]:

$$I. P. = (3 (\%C. vidua) + 2(\%C. patzcuaro) + \%L. bradburyi) - (\%C. caudata + 2 (\%L. platyforma)) \quad [1]$$

donde las especies con mayor tolerancia a la salinidad —eurihalinas— se manejan de manera positiva y las que tienen poca tolerancia —estenohalinas— de manera negativa.

Para la estimación de las temperaturas se utilizaron las constantes desarrolladas por Palacios-Fest (1996), aplicadas en la ecuación [2]:

$$T(^{\circ} C) = ((Mg/Ca_v) + 0.0035) / 0.00089 \quad [2]$$

donde el término Mg/Ca_v se refiere a la relación Mg/Ca que se encuentra en las valvas de *L. platyforma*.

RESULTADOS

Sistemática

Las cinco especies de ostrácodos que se encontraron a lo largo del perfil son especies ampliamente conocidas y descritas por otros autores; sin embargo, dada la escasez de estudios taxonómicos de ostrácodos continentales en México, se listan las especies de acuerdo con el arreglo propuesto por Delorme (1971a, b y c), con una breve descripción, de acuerdo con la literatura, de las características más relevantes de las condiciones de los cuerpos de agua en las que habitan generalmente cada una de las especies. Con excepción de *Candona caudata*, que posee valvas muy frágiles, las especies son ilustradas en las Láminas I y II.

Subclase OSTRACODA Latreille, 1806

Orden PODOCOPIDA Müller, 1894

Suborden PODOCOPINA Sars, 1866

$$I. P. = (3 (\%C. vidua) + 2 (\%C. patzcuaro) + \%L. bradburyi) - (\%C. caudata + 2 (\%L. platyforma)) \quad [1]$$

donde las especies con mayor tolerancia a la salinidad —eurihalinas— se manejan de manera positiva y las que tienen poca tolerancia —estenohalinas— de manera negativa.

Para la estimación de las temperaturas se utilizaron las constantes desarrolladas por Palacios-Fest (1996), aplicadas en la ecuación [2]:

$$T(^{\circ} C) = ((Mg/Ca_v) + 0.0035) / 0.00089 \quad [2]$$

donde el término Mg/Ca_v se refiere a la relación Mg/Ca que se encuentra en las valvas de *L. platyforma*.

RESULTADOS

Sistemática

Las cinco especies de ostrácodos que se encontraron a lo largo del perfil son especies ampliamente conocidas y descritas por otros autores; sin embargo, dada la escasez de estudios taxonómicos de ostrácodos continentales en México, se listan las especies de acuerdo con el arreglo propuesto por Delorme (1971a, b y c), con una breve descripción, de acuerdo con la literatura, de las características más relevantes de las condiciones de los cuerpos de agua en las que habitan generalmente cada una de las especies. Con excepción de *Candona caudata*, que posee valvas muy frágiles, las especies son ilustradas en las Láminas I y II.

Subclase OSTRACODA Latreille, 1806

Orden PODOCOPIDA Müller, 1894

Suborden PODOCOPINA Sars, 1866

Superfamilia CYPRIDACEA Baird 1845

Familia CANDONIDAE Kaufmann, 1900

Género *Candona* Baird, 1845

Candona caudata Kaufmann, 1900

No ilustrada.

Kaufmann, 1900, p. 365, lám. 24, figs 16-20, lám. 26, figs. 17-23.

Se encuentra en arroyos de agua dulce a ligeramente salinos, con un amplio rango de temperatura, y se encuentra asociada a cuerpos de agua profundos (mayores a los 10 m) (Palacios-Fest *et al.*, 1993).

Candona patzcuaro Tressler, 1954

Lámina I, figs. a-d.

Tressler, 1954, p. 139, figs. 4-8.

Es una especie euritérmica que habita en lagos de praderas y estanques permanentes o efímeros (Palacios-Fest *et al.*, 1993) donde la salinidad puede encontrarse de 20 a 5000 ppm (Palacios-Fest, 1994).

Familia CYPRIDIDAE Baird, 1845

Subfamilia CYPRIDOPSINAE Kaufmann, 1900

Género *Cypridopsis* Brady, 1868

Cypridopsis vidua (Müller, 1776) Brady, 1868

Lámina I, figs. e-i.

Müller, 1776, p. 199.

Especie euritérmica cosmopolita. Su temperatura óptima de crecimiento es mayor a los 13° C, sin embargo puede encontrarse en temperaturas menores a los 2° C y mayores a los 32° C. Tolera un amplio rango de ambientes acuáticos, desde sistemas

efímeros hasta permanentes. Su salinidad se encuentra restringida de 10 a 10,000 ppm (Delorme, 1989). Habita en aguas oligo a ligeramente hipersalinas, enriquecidas en $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$ y su tolerancia a cambios en pH, oxígeno disuelto, concentraciones de Mg^{2+} , Na^+ , SO_4 y Cl^- es amplia; sin embargo, no tolera concentraciones altas de HCO_3^- y CO_3^- (Delorme, 1989).

Superfamilia CYTHERACEA Baird, 1850

Familia LIMNOCYTHERIDAE Klie, 1938

Género *Limnocythere* Brady, 1868

Limnocythere bradburyi Forester, 1985

Lámina II, figs. a-g.

Forester, 1985, pág. 16, figs. 2.1-2.5, pág. 17, 3.1-3.4.

Esta especie se encuentra en lagos grandes y someros, con aguas cálidas y turbias donde la cantidad de oxígeno disuelto es baja y las macrofitas sumergidas son escasas. La temperatura del agua generalmente se encuentra en equilibrio con la temperatura atmosférica debido a su naturaleza somera. Se caracterizan por ser sistemas cerrados que mantienen sus niveles por el drenaje interno, la precipitación directa y las descargas de primavera; la cantidad de sólidos totales disueltos (TDS) es menor a 3,000 ppm, por lo que los lagos son considerados en su mayoría como lagos de agua dulce (Forester, 1985).

Las características químicas del agua están determinadas por la dominancia del Na^+ como catión, el $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ y Cl^- como aniones dominantes, el K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} están reducidos en relación con el Na^+ , y la cantidad de SO_4^{2-} es variable (Forester, 1985).

Limnocythere platyforma Delorme, 1971

Lámina II, figs. h-l.

Delorme, 1971c, pág. 128, lám. 8, figs. 129-130.

Vive en aguas diluidas y frías. Lagos alcalinos ricos en Mg^{2+} , ligeramente escasos en Ca^{2+} y dominados por Na^+ , Cl^- o SO_4^{2-} (Palacios-Fest *et al.*, 2002).

Tafonomía

Como parte de las reconstrucciones paleoambientales, es importante reconocer los procesos involucrados a la formación de una asociación fosilífera para comprender de manera integral la historia del medio en el que los organismos habitaron.

Para el caso de los ostrácodos, la composición de las asociaciones fosilíferas, los cambios en la abundancia de cada especie y en algunos casos, el grado de conservación de los exoesqueletos, proporcionan información valiosa sobre las características del cuerpo de agua, tales como la energía asociada a ellos, si la asociación es autóctona o sufrió algún desplazamiento, entre otras.

De las 12 muestras procesadas, únicamente 8 presentaron ostrácodos (Vacas 1-8), disminuyendo la abundancia hacia la cima (Tablas 1 y 2).

A lo largo del perfil se registra una baja diversidad con cinco especies: *Candona patzcuaro*, *Candona caudata*, *Cypridopsis vidua*, *Limnocythere bradburyi* y *Limnocythere platyforma*. La abundancia absoluta de ostrácodos a través del perfil presenta variaciones con estratos sin fauna (Las Vacas 9-12) a estratos como Las Vacas 1 donde se registra la mayor abundancia con 2618 individuos (Tabla 1). En general, la conservación de las valvas es buena, no presentan signos visibles de alteración química, con excepciones mínimas (9 valvas en todo el perfil) de incrustación de cristales de pirita. Las valvas tienen buena calcificación e incluso una gran parte de ellas están fuertemente calcificadas. Se encontró una proporción considerable de valvas fragmentadas por alteración física, aunque probablemente se deba a los métodos de limpieza del material.

En todos los estratos se mantuvo una dominancia de valvas de individuos juveniles sobre los adultos en todas las especies, salvo algunas excepciones, así como de valvas sobre caparazones también para todas las especies (Tabla 1).

Cabe resaltar que en la mitad inferior del perfil (Vacas 1-6) se registra la

presencia de diatomeas de la especie *Stephanodiscus niagarae* (Kramer y Lange-Bertalot, 1991). Su abundancia disminuye sección arriba. De acuerdo con Metcalfe *et al.* (1997) es una especie planctónica y se le considera indicativa de aguas profundas; sin embargo, Palacios-Fest *et al.* (2002) señalan que ésta también es abundante en condiciones donde la temperatura del agua sea baja.

Las Vacas 1 (120-110 cm). Las cinco especies de ostrácodos constituyen un total de 2618 organismos. La mayor abundancia la presentan *Candona patzcuaro* y *Limnocythere platyforma*; mientras que *Candona caudata* es la menos abundante. Las valvas presentan fragmentación e incrustación valva/valva. *Stephanodiscus niagarae* es abundante (Tablas 1 y 2).

Las Vacas 2 (109-100 cm). Las cinco especies están presentes, pero hay una disminución de la abundancia total de organismos, registrándose un total de 1399. Las especies más abundantes continúan siendo *C. patzcuaro* y *L. platyforma*, aunque en esta última los valores son menores con respecto al nivel anterior. La abundancia de las otras tres especies aumenta, sin embargo su presencia continúa siendo poco representativa. Al igual que en el estrato anterior, *C. caudata* es la especie con menor abundancia. *Stephanodiscus niagarae* está presente y se observa fragmentación e incrustación de valvas en valvas (Tablas 1 y 2).

Las Vacas 3 (99-90 cm). Hay una importante disminución en la abundancia total de organismos (856 individuos) y diversidad (4 especies). *C. patzcuaro* continúa siendo la especie más abundante y al igual que en *L. bradburyi*, aumenta su abundancia. En contraste, la abundancia de *C. vidua* y *L. platyforma* disminuye; y *C. caudata* desaparece. Se registra fragmentación e incrustación valva/valva. Presencia de *S. niagarae* y fragmentos y/o elementos óseos de peces (Tablas 1 y 2).

Las Vacas 4 (89-80 cm). Hay un aumento notable en la abundancia total, con 2,236 organismos, siendo *C. patzcuaro* la más abundante, seguida de *C. vidua*; *L. bradburyi* y *L. platyforma* tienen una disminución en su abundancia relativa, a pesar de que para la primera su abundancia absoluta se incrementa con respecto a los estratos anteriores. Presencia de valvas fragmentadas e incrustadas y de *S. niagarae* (Tablas 1 y 2).

Tabla 1. Datos tafonómicos del perfil sedimentario Las Vacas. Para el total de organismos por muestra se contó como un organismo cada valva y cada caparazón encontrados. Las edades marcadas (*) fueron obtenidas por ^{14}C , las restantes fueron calculadas.

No. de muestra (10g)	Edad (A. P.)	Peso muestra (g)	Individuos por muestra	Fragmentación/ incrustación	Adultos/ juveniles	Caparazones/ valvas	Otros
Las Vacas 12	-	3.00	0	-	-	-	Restos de plantas
Las Vacas 11	-	3.68	0	-	-	-	Raíces
Las Vacas 10	-	4.68	0	-	-	-	-
Las Vacas 9	836 \pm 108*	6.39	0	-	-	-	Huesos
Las Vacas 8	-	3.16	8	Fragmentación	1	7	-
Las Vacas 7	3833	4.13	8	Fragmentación	0.6	8	-
Las Vacas 6	4792	3.75	636	Fragmentación Incrustación v/v	0.09	26.65	Diatomeas Huesos
Las Vacas 5	5751	5.7	1727	Fragmentación Incrustación v/v	0.1	19.15	Diatomeas
Las Vacas 4	6710	5.29	2236	Fragmentación Incrustación v/v	0.06	105.38	Diatomeas
Las Vacas 3	7669	4.59	856	Fragmentación Incrustación v/v	0.2	12.14	Diatomeas Huesos
Las Vacas 2	8628	3.12	1257	Fragmentación Incrustación v/v	0.1	41.1	Diatomeas
Las Vacas 1	9587 \pm 112*	3.75	2618	Fragmentación Incrustación v/v	0.09	55.91	Diatomeas

Las Vacas 5 (79-70 cm). La abundancia total disminuye (1727 organismos). *C. patzcuaro* continúa como la especie con mayor abundancia relativa, a pesar de haber presentado una disminución en el número de organismos. Las abundancias absoluta y relativa de *C. vidua* disminuyen y para *L. bradburyi* disminuye el número total de organismos pero aumenta su abundancia relativa. *L. platyforma* registra un aumento en abundancias absoluta y relativa. Hay fragmentación de valvas e incrustación. *S. niagarae* presente (Tablas 1 y 2).

Las Vacas 6 (69-60 cm). Hay una marcada disminución en la abundancia total (636 valvas), pero *C. patzcuaro* continúa siendo la de mayor abundancia, y en orden descendente *L. bradburyi*, *L. platyforma* y *C. vidua*. Hay fragmentación e incrustación de valvas en valvas. *S. niagarae* está presente así como fragmentos óseos de peces (Tablas 1 y 2).

Las Vacas 7 (59-50 cm). Prácticamente los ostrácodos desaparecen, ya que sólo se recuperaron 8 ejemplares, correspondiendo a *C. patzcuaro* y *L. bradburyi* que ostentan la mayor abundancia, mientras que *L. platyforma* está presente pero con una menor abundancia. *C. vidua* desaparece. No se observa incrustación valva/valva, pero sí fragmentación (Tablas 1 y 2).

Las Vacas 8 (49-40 cm). Tiene una abundancia absoluta de 7 organismos, siendo *L. bradburyi* la de mayor abundancia, seguida de *C. vidua* y *C. patzcuaro*, ésta con la menor abundancia. *L. platyforma* desaparece. Hay evidencia de fragmentación (Tablas 1 y 2).

Las Vacas 9 (39-30 cm). Carece por completo de ostrácodos, aunque presenta fragmentos de huesos de peces (Tablas 1 y 2).

Las Vacas 10 (29-20 cm). Ausencia de elementos biológicos (Tablas 1 y 2).

Las Vacas 11 (19-10 cm) y **Las Vacas 12** (9-0 cm). Sólo presentan restos vegetales (Tablas 1 y 2).

Tabla 2. Abundancias absoluta y relativa de la población total de ostrácodos y por especie. La abundancia absoluta se refiere al número total de organismos por estrato y la abundancia relativa al porcentaje que representa del total de la población por estrato.

		<i>Candona caudata</i>	<i>Candona patzcuaro</i>	<i>Cypridopsis vidua</i>	<i>Limnocythere bradburyi</i>	<i>Limnocythere platyforma</i>
Vacas 12	A. absoluta	0	0	0	0	0
	A. relativa	0	0	0	0	0
Vacas 11	A. absoluta	0	0	0	0	0
	A. relativa	0	0	0	0	0
Vacas 10	A. absoluta	0	0	0	0	0
	A. relativa	0	0	0	0	0
Vacas 9	A. absoluta	0	0	0	0	0
	A. relativa	0	0	0	0	0
Vacas 8	A. absoluta	0	1	3	4	0
	A. relativa	0%	12.5%	37.5%	50.00%	0%
Vacas 7	A. absoluta	0	3	0	3	2
	A. relativa	0%	37.5%	0%	37.5%	25%
Vacas 6	A. absoluta	0	523	13	75	25
	A. relativa	0%	82.23%	2.04%	11.79%	3.93%
Vacas 5	A. absoluta	0	1419	28	234	46
	A. relativa	0%	82.16%	1.62%	13.54%	2.66%
Vacas 4	A. absoluta	0	1876	52	274	26
	A. relativa	0%	84.20%	2.33%	12.29%	1.16%
Vacas 3	A. absoluta	0	573	19	226	38
	A. relativa	0%	66.93%	2.21%	26.40%	4.43%
Vacas 2	A. absoluta	4	637	49	209	368
	A. relativa	0.31%	50.27%	3.86%	16.49%	29.04%
Vacas 1	A. absoluta	7	1205	58	249	1099
	A. relativa	0.26%	46.02%	2.21%	9.51%	41.97%

Tasa de sedimentación

Para fines de interpretación fue necesario calcular con base en los dos fechamientos obtenidos por ^{14}C (9587 \pm 112 y 836 \pm 108 años A. P. para Vacas 1 y Vacas 9 respectivamente), la tasa de sedimentación (ts) y, de acuerdo con ésta, calcular la edad para cada uno de los estratos con registro de ostrácodos. El cálculo se efectuó con la siguiente ecuación [3]:

$$ts = (\text{profundidad 1} - \text{profundidad 2}) / (\text{edad 1} - \text{edad 2}) = (115 - 35) / (9587 - 836) \quad [3]$$

siendo los valores 115 y 35 las profundidades de las dos edades ya obtenidas por ^{14}C y, 9587 y 836 las edades disponibles. La tasa de sedimentación que se obtuvo fue de 0.0091 cm/año, y fue asumida hasta el nivel de Las Vacas 7, debido a un cambio litológico en donde se observa la presencia de concreciones de CaCO_3 , lo cual es un indicio de que hubo un cambio en el régimen sedimentario.

Graficando la abundancia absoluta de cada una de las especies presentes en el perfil y la abundancia absoluta de la población (Figura 3), la comparación entre cada especie muestra que en los niveles donde hay registro de ostrácodos, la especie más constante y dominante es *Candona patzcuaro*, seguida por *Limnocythere bradburyi*, las cuales son especies eurihalinas; *Cypridopsis vidua* está presente a lo largo de los 6 primeros estratos, siendo también una especie eurihalina. Dentro de las especies estenohalinas, *Candona caudata* sólo está presente en dos estratos de manera incipiente y *Limnocythere platyforma*, que al inicio del registro tiene su mayor abundancia, disminuye drásticamente pero se mantiene presente hasta la parte media del perfil (Figura 3).

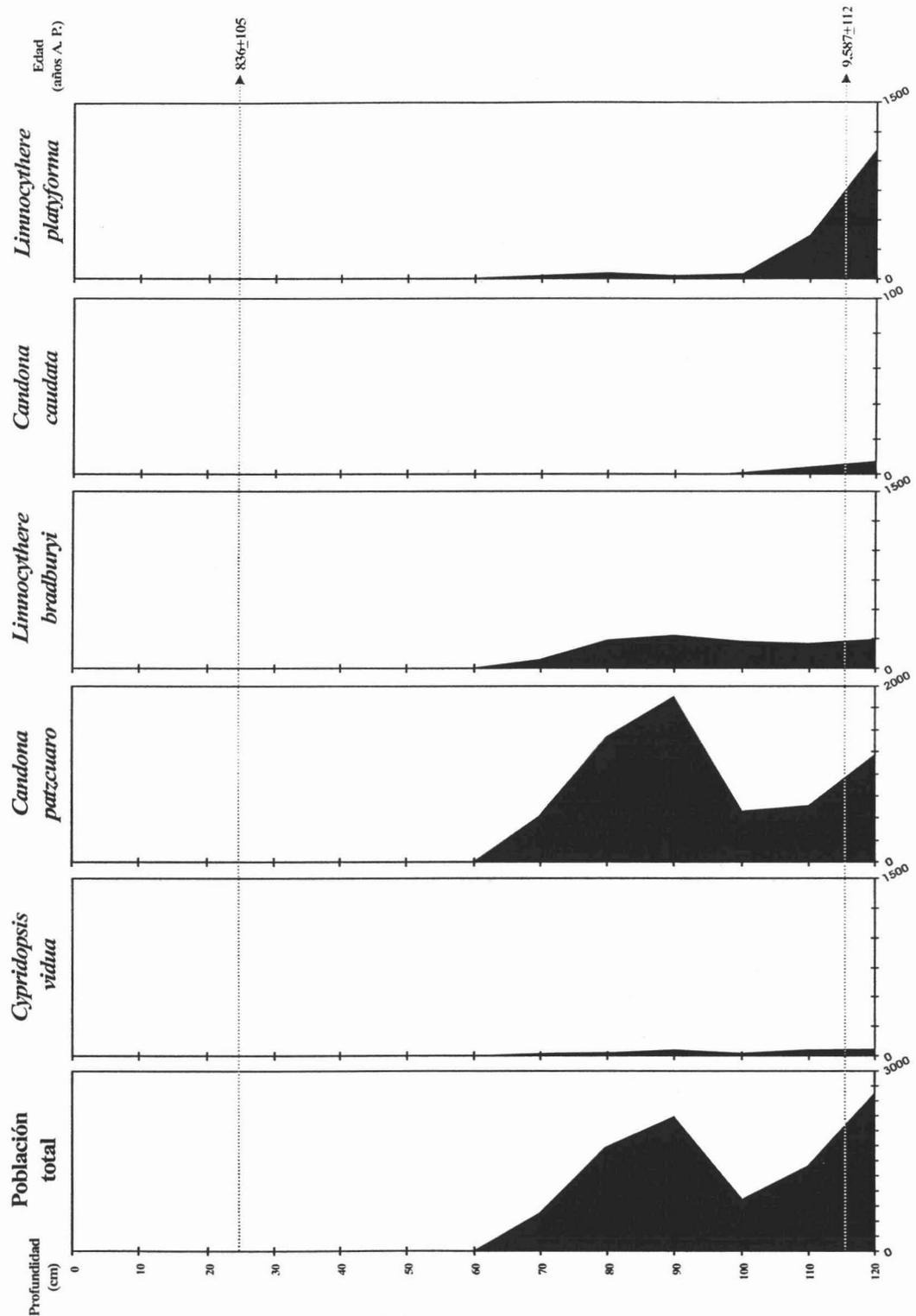


Figura 3. Abundancia absoluta a lo largo del perfil Las Vacas del número total de ostrácodos y de cada una de las cinco especies.

Índice de Paleosalinidad

El índice que se obtuvo para cada estrato (Tabla 3) es estimado cualitativamente tomando en cuenta la abundancia relativa de las especies a través del perfil y la tolerancia a la salinidad que está consignada en la bibliografía. De esta forma, este índice proporciona únicamente un indicio de la variación en la salinidad de la Laguna de Babícora en el sitio Las Vacas, de manera relativa. Así, los valores positivos indican que la laguna se mantuvo con alta salinidad, mientras que los valores negativos son indicativos de que la salinidad disminuye o incluso que representa un cuerpo de agua dulce (Figura 4).

De acuerdo con esta distribución y comportamiento de las especies, así como el desplazamiento de la curva obtenida por el índice de paleosalinidad (I. P.), se puede inferir que la Laguna se mantuvo con un alto nivel de salinidad con excepción del primer estrato donde ésta es muy baja, aunque siempre se mantiene en la zona positiva (Figura 4).

Tabla 3. Índice de Paleosalinidad para cada estrato de acuerdo con la ecuación modificada de Palacios-Fest *et al.* (1993).

Estrato	I. P.
Vacas 12	-
Vacas 11	-
Vacas 10	-
Vacas 9	-
Vacas 8	187.5
Vacas 7	62.5
Vacas 6	174.51
Vacas 5	177.4
Vacas 4	185.36
Vacas 3	158.03
Vacas 2	70.22
Vacas 1	23.98

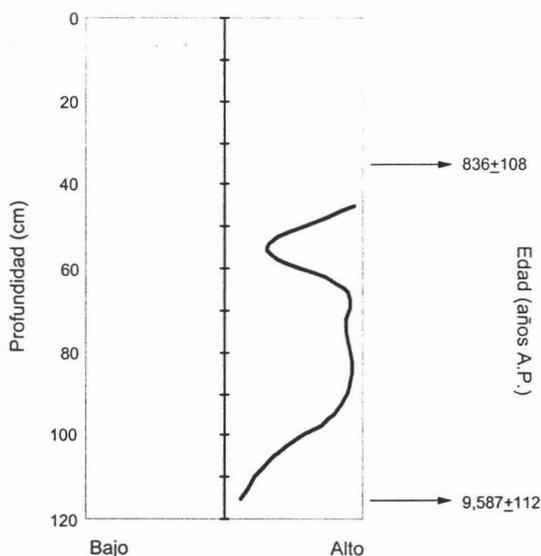


Figura 4. Índice de Paleosalinidad a lo largo del perfil Las Vacas de acuerdo con los valores de la Tabla 3.

Paleotemperaturas

Se utilizaron 18 valvas de *Limnocythere platyforma* en el análisis de elementos traza, que corresponden a los niveles Las Vacas 1 a 6. Desafortunadamente, en Las Vacas 7 los únicos 2 ejemplares encontrados correspondían a estadios juveniles, por lo que fueron descartados para el procedimiento debido a que la relación Mg/Ca de sus valvas no adquiere todavía la estabilidad necesaria para el análisis.

En la Tabla 4 se observan para cada valva de *L. platyforma* por estrato, los valores del elemento traza (Mg) así como del Ca y la relación Mg/Ca, la cual fue utilizada para estimar las temperaturas siguiendo el método de regresión múltiple desarrollado por Palacios-Fest (1996) y obtener las medias de temperatura por estrato. En los dos primeros se pudieron obtener mediciones de 6 y 5 valvas respectivamente; sin embargo, a partir de Las Vacas 3 el número de muestras presente va de 2 a 1.

La Figura 5 muestra la relación que existe entre la media de concentración de Mg/Ca de las valvas y las medias de temperatura, así como su variación a lo largo del perfil y del tiempo. Con esta gráfica se observa claramente que se presentan dos incrementos, tanto en la temperatura como en la relación Mg/Ca.

Siguiendo las constantes desarrolladas por Palacios-Fest (1996) y aplicadas a la ecuación [2] del mismo autor, se obtiene para la base del perfil (9,587±112 años A. P., Vacas 1) una temperatura media de 11.2° C; el siguiente registro muestra un descenso en la temperatura que llega a los 10.8° C promedio (8,628 años A. P., Vacas 2); la temperatura promedio registrada en Las Vacas 3 (7,669 años A. P.) continúa en descenso con 10.2° C; en Las Vacas 4 (6,710 años A. P.) la temperatura media llega al máximo alcanzado en el registro del perfil, pues alcanza los 11.9° C. Después de este incremento de temperatura, el registro de la misma muestra un descenso hasta los 11° C en promedio (Vacas 5, 5,751 años A. P.), para que al final del registro de *L. platyforma*, y por lo tanto de la temperatura, el valor estimado de ésta sea de 7.3° C (4,796 años A. P., Vacas 6).

Tabla 4. Análisis químico de las conchas de *Limnocythere platyforma*. Se muestran los contenidos de Ca y Mg en las valvas, el radio molar de Mg/Ca y la temperatura obtenida utilizando las constantes desarrolladas por Palacios-Fest (1996) para *Limnocythere*. La edad marcada (*) fue obtenida por ^{14}C , las edades restantes fueron calculadas.

Estrato	Muestra	Edad (años A. P.)	Profundidad (cm)	Peso (μg)	Ca (ppb)	Mg (ppb)	Radio molar Mg/Ca	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Media ($^{\circ}\text{C}$)
Las Vacas 6	18	4792	65	7.1	484993	718	0.003	7.3	7.3
	17	5751	75	6.3	505417	1875	0.0078	12.7	11.0
Las Vacas 5	16			3.9	507835	1155	0.0048	9.3	
	15	6710	85	5.8	456209	1522	0.0063	11.0	11.9
Las Vacas 4	14			5.1	435948	1901	0.0079	12.8	
	13	7669	95	3.9	449019	1430	0.0059	10.6	10.2
Las Vacas 3	12			3.8	415657	1255	0.0052	9.8	
	11	8628	105	6.3	444608	1654	0.0069	11.7	10.8
Las Vacas 2	10			5.7	445312	1387	0.0058	10.4	
	9			3.9	458861	1153	0.0048	9.3	
	8			5.4	451508	1790	0.0074	12.3	
	7			4.9	465350	1379	0.0057	10.4	
	6	$9,587 \pm 112^*$	115	4.2	438315	1213	0.0050	9.6	11.2
Las Vacas 1	5			6.1	464382	1613	0.0067	11.5	
	4			5.5	466613	1772	0.0074	12.2	
	3			5.8	437899	1742	0.0072	12.1	
	2			5.3	476876	1296	0.0054	10	
	1			6.2	468104	1720	0.0071	12	

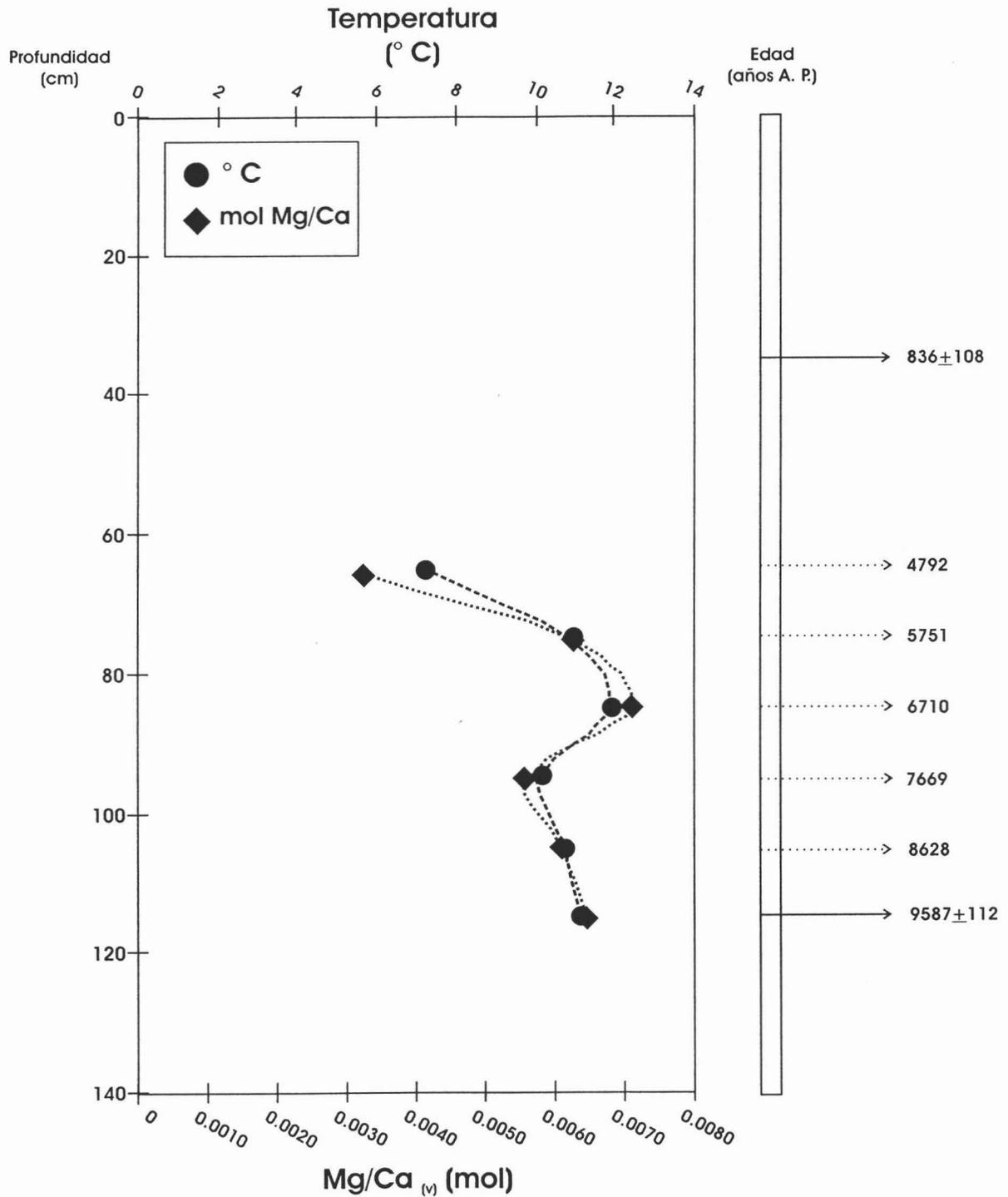


Figura 5. Resultados obtenidos del análisis geoquímico del Mg de las valvas de *Limnocythere platyforma*, aplicados a la ecuación desarrollada por Palacios-Fest (1996) para estimar la temperatura; las temperaturas y las relaciones Mg/Ca corresponden a las medias por estrato. Las flechas continuas indican las edades obtenidas por ^{14}C y las discontinuas las edades calculadas.

DISCUSIÓN

Los cuerpos de agua someros reflejan en su mayoría los cambios de temperatura que ocurren en el ambiente (Forester, 1987). Asumiendo entonces que la Laguna de Babícora es un cuerpo de agua somero, los cambios en el ambiente se manifestarán tanto en aspectos físicos del agua como en aspectos tafonómicos de la población de ostrácodos. Los cambios en temperatura y salinidad obtenidos por la geoquímica del Mg de las conchas de los ostrácodos y el índice de paleosalinidad respectivamente son el reflejo de los cambios intensos y continuos en la atmósfera durante los $9,587 \pm 112$ años registrados en el perfil.

Los resultados obtenidos de la geoquímica del Mg^{2+} de conchas de ostrácodos de la especie *Limnocythere platyforma* de la Laguna demuestran que la variación de la temperatura es dependiente de la relación molar Mg/Ca presente en las valvas. De acuerdo con estos resultados, se infiere que durante el Holoceno temprano y medio ocurren dos episodios de calentamiento seguidos por los consecuentes de enfriamiento, comenzando el registro con alta temperatura y finalizando con temperatura baja. Estas fluctuaciones se asocian con cambios climáticos resultado de alteraciones en los patrones de las células de alta y baja presión que dominan la región; inviernos fríos y húmedos alternan con veranos cálidos y secos en el norte de Chihuahua (Brown, 1984).

De acuerdo con los datos tafonómicos, geoquímicos y la composición de la población de los ostrácodos, se infiere que la Laguna de Babícora en los últimos $9,587 \pm 112$ años A. P., sufrió fluctuaciones en la temperatura y, en menor grado, en la salinidad, la cual se mantuvo alta, como lo confirma la presencia constante de especies eurihalinas y el hecho de que la gráfica del Índice de Paleosalinidad (I. P.) se mantenga en la zona positiva a lo largo de todo el perfil con presencia de ostrácodos (Figura 3).

En particular, los datos tafonómicos indican que, independientemente de los cambios de temperatura y salinidad, la Laguna se mantuvo con condiciones favorables para el establecimiento de la población de ostrácodos, ya que se encuentran representantes de varios estadios. Lo anterior, aunado a la dominancia de individuos juveniles y su buen estado de conservación, indican que la asociación representa una

biocenosis en un ambiente con poca energía (Whatley, 1983). Bajo condiciones normales, los ostrácodos al morir, caen en el sustrato y después de uno o dos días, las valvas se separan y posteriormente son enterradas (Whatley, 1983). Así, el dominio del número de valvas sobre caparazones se relaciona con una muerte y enterramiento de los organismos bajo condiciones normales; es decir, no hubo algún factor que provocara que al momento de morir, los caparazones se conservaran articulados debido a un rápido enterramiento.

Una de las principales causas de la gradual desaparición de ostrácodos hacia la cima del perfil puede ser el hecho de que la Laguna sufrió una disminución en su superficie, ya sea por una alteración en la relación evaporación/precipitación o bien, por la falta de aporte de aguas externas, como las que bajan de las montañas circundantes por el deshielo. En cuanto a la diatomea *Stephanodiscus niagarae*, a pesar de no haberse estimado las abundancias absoluta y relativa, su presencia disminuyó hacia la cima desapareciendo desde las Vacas 7. Esta disminución a lo largo del perfil parece haberse dado de manera gradual, sin ninguna relación con factores como la salinidad y la temperatura. A pesar de ser considerada como una especie de aguas profundas (Metcalf *et al.*, 1997) o de responder a bajas temperaturas (Palacios-Fest *et al.*, 2002), de acuerdo con los datos consignados en el presente trabajo, no parece existir alguna relación con las características antes mencionadas si no que parece responder a la disminución de la extensión del cuerpo de agua, como en el caso de los ostrácodos.

Debido a que las paleotemperaturas estimadas y la interpretación en este trabajo son de índole cuantitativo, las comparaciones con trabajos que se han realizado previamente en la zona son generales, pues, con excepción de lo reportado por Palacios-Fest *et al.* (2002), las descripciones e interpretaciones realizadas son cualitativas. Sin embargo, a pesar de tener datos precisos de las temperaturas para cada edad, no es correcto asumir que los patrones observados no tuvieron algún punto intermedio en el cual la temperatura siguió otra tendencia.

Los resultados que se obtuvieron en este perfil concuerdan con los obtenidos por Palacios-Fest *et al.* (2002) para la Laguna de Babícora de la zona II del perfil Don Beto que abarca 10,976±115 años A. P. aproximadamente; es decir, la transición Pleistoceno-

Holoceno y el Holoceno, y que se encuentra cercano a Las Vacas, como se aprecia en el mapa de la localidad (Figura 1).

Es importante notar que para ambos perfiles los cambios de la temperatura siguen el mismo patrón (Figura 6). Sin embargo, el registro de ostrácodos en Las Vacas finaliza antes que en Don Beto, debido posiblemente a que la ubicación de la localidad de Las Vacas es hacia la orilla de la Laguna en comparación con Don Beto, localizado hacia el centro, con lo que la sequía gradual de la Laguna afectó en primera instancia a las poblaciones que se encontraban en las partes externas del cuerpo de agua.

Los registros de temperatura que se obtuvieron en Las Vacas pertenecen a edades intermedias a las publicadas por Palacios-Fest *et al.* (2002), por lo cual complementan su interpretación de los cambios climáticos que se dieron durante el Holoceno.

La primera temperatura que se registra ($9,587 \pm 112$ años A. P., Holoceno inferior) en Las Vacas es alta en comparación con el resto del perfil, pero de acuerdo con los datos de Palacios-Fest *et al.* (2002), el descenso de temperatura que registran a partir de los 8,457 años A. P. podría haber comenzado antes, y entonces la temperatura de este trabajo formar parte de este descenso. Tanto el I. P. como la presencia de las especies *Limnocythere bradburyi*, *L. platyforma* y *Candona caudata* (que representan casi el 50% de la población) indican que las condiciones del agua no debieron haber sido muy salinas, pues son especies con baja o poca tolerancia a la salinidad y fue probablemente en esta edad donde el agua tenía la mayor extensión dentro del registro del perfil pues se encontró el mayor contenido de organismos. En la misma zona, Ortega-Ramírez *et al.* (2000) describen para edades de 10,976 y 9,614 años A. P. condiciones de humedad que disminuyen y Metcalfe *et al.* (1997) encuentran que entre los 11,060 y 9,470 años A. P. se dio un periodo de sequía, lo cual podría estar relacionado con la tendencia del I. P. que muestra que la salinidad aumenta hacia el siguiente estrato, posiblemente como consecuencia de un periodo donde la humedad disminuye.

Para el perfil de Las Vacas la temperatura continúa disminuyendo hasta los 7,669 años A. P. (Holoceno medio); sin embargo, en Don Beto la temperatura desciende hacia los 6,845 años A. P., y es hasta esta última fecha donde la temperatura deja de descender en los dos perfiles, por lo que lo registrado en Las Vacas es una lectura intermedia. La

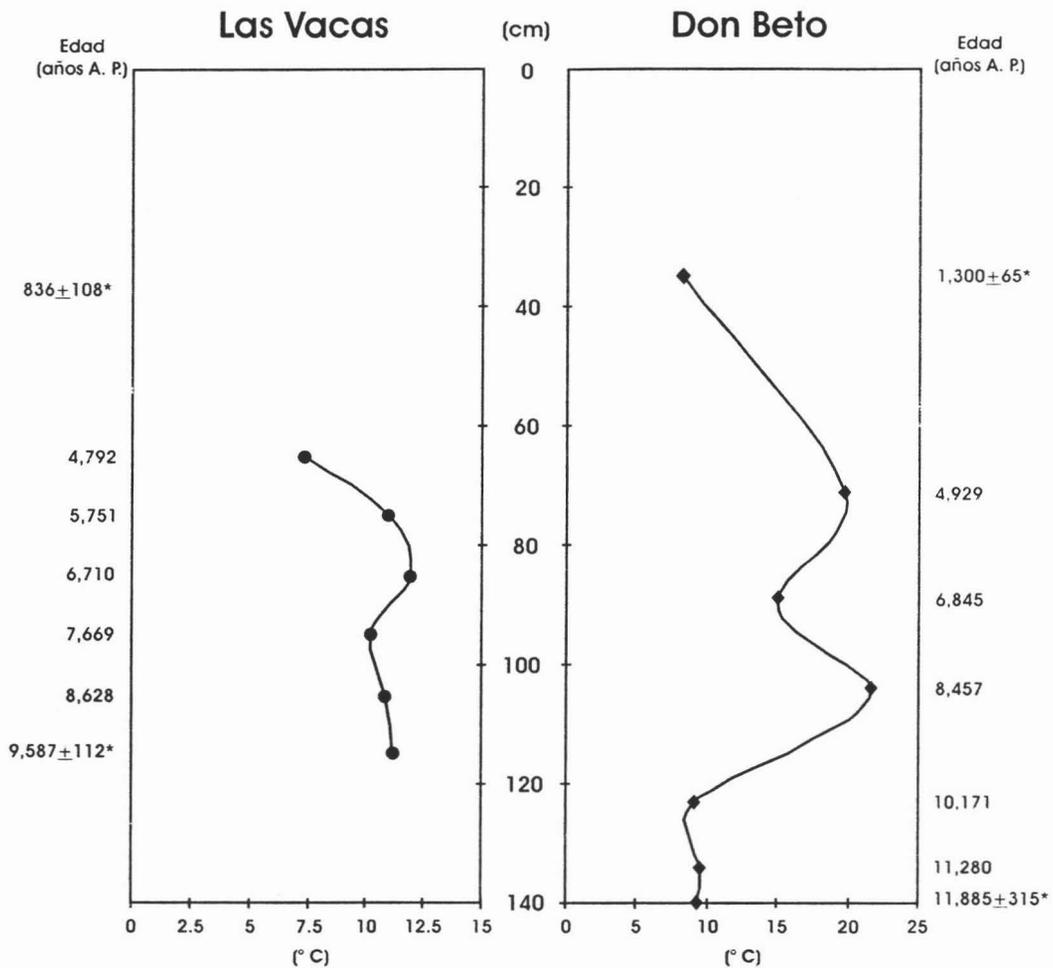


Figura 6. Temperaturas estimadas para el perfil de este trabajo, Las Vacas y Don Beto (Palacios-Fest *et al.*, 2002). Las edades marcadas (*) fueron obtenidas por ^{14}C y las restantes calculadas.

salinidad sigue aumentando hasta el punto donde la temperatura parece estabilizarse, sugiriendo que la humedad continúa disminuyendo. En la composición de la población, las dos especies estenohalinas se ven afectadas por este incremento en la salinidad, por lo que *C. caudata* desaparece y *L. platyforma* tiene menor abundancia. Este periodo de menor precipitación concuerda con lo descrito por Metcalfe *et al.* (1997) quienes proponen un cambio notable en la química del sistema como consecuencia de un aumento de la evaporación, dando lugar a una zona con mayor aridez. Ortega-Ramírez *et al.* (2000) describen condiciones similares a los 8,070 y 7,965 años A. P., infiriendo un descenso de la humedad. Este descenso podría estar relacionado con el hecho de que las

precipitaciones de invierno se vieron reducidas para una extensa porción del suroeste de Estados Unidos (Van Devender y Spaulding, 1979).

La temperatura aumenta (6,710 años A. P.) y alcanza el máximo dentro del perfil. El aumento de temperatura en Don Beto a los 4,929 años A. P. forma parte del descenso que registraría la temperatura del agua para finales del Holoceno medio. Mientras ocurren estos cambios en la temperatura, el I. P. indica que la salinidad se mantuvo alta pero constante; la población de ostrácodos, que se encuentra compuesta principalmente por especies eurihalinas, se recupera y aumenta cuando la salinidad se mantiene estable. Estas condiciones de estabilidad propician que *L. platyforma* aumente lentamente en abundancia, misma que al inicio de este periodo se había visto disminuida. Estas características, aunadas al aumento de salinidad y temperatura sugieren un periodo de aridez pero bajo condiciones de humedad que impidieron que la evaporación del agua fuera menor a la captación de la misma, ya sea por agua de deshielo o por precipitación. Para estas edades a lo largo del norte de México y sur de los Estados Unidos de América algunos autores (Martin, 1963; Van Devender, 1990a y b; Van Devender y Spaulding, 1979; Waters y Haynes, 2001; Metcalfe *et al.*, 1997 y 2000) describen condiciones de altas temperaturas con precipitaciones, mientras que Antevs (1948) sugiere un periodo Altitermal, caracterizado por escasas precipitaciones y disminución de humedad (Antevs, 1948 y 1955; Ortega-Ramírez *et al.*, 2000; Clement *et al.*, 2000; Menking y Anderson, 2003). Como el I. P. no indica condiciones de sequía, entonces se asume para esta zona un acoplamiento de altas temperaturas con precipitaciones, mientras que como Van Devender (1990a y b) propone, las condiciones de sequía se aplicarían a regiones que se encuentran en el sureste de los Estados Unidos de América.

Al final del registro de la temperatura para Las Vacas (4,792 años A. P.), ésta disminuye y a partir de este punto la salinidad muestra una marcada disminución; como consecuencia, *L. platyforma* presenta un aumento en su abundancia relativa; en Don Beto ocurre de manera semejante aunque la disminución de la temperatura continúa hasta los 1,300±65 años A. P. (Holoceno superior), siendo éste el último registro de Don Beto.

A pesar de que para la siguiente fecha (3,833 años A. P., Holoceno superior) ya no se estimaron temperaturas debido a la ausencia de valvas de *L. platyforma*, en el I. P. se registra un cambio en la salinidad y para el siguiente estrato (del cual ya no se obtuvo edad), la salinidad aumentó, pues únicamente se encuentran presentes las tres especies eurihalinas. Para este periodo se sugieren entonces condiciones en las cuales la humedad y/o aporte de agua a la Laguna se vieron disminuidas, por lo cual la concentración de sales aumentó. Diversos autores proponen que es a partir de los 4,000 años A. P. que las condiciones actuales de aridez de la zona se establecieron (Van Devender, 1990a y b; Van Devender y Spaulding, 1979; Metcalfe *et al.*, 2000), con la disminución de precipitaciones y aumento de temperaturas por lo que la tendencia que el I. P. indica, podría ser consecuencia de estos factores.

Comparando los datos con lo recopilado por los miembros del *Cooperative Holocene Mapping Project* (COHMAP, 1988), se sugiere que el único registro de temperatura para el Holoceno inferior, al ser alto en comparación con el resto del perfil, podría estar relacionado con el incremento de la radiación solar recibida durante verano, que a su vez ocasionó que los glaciares continentales disminuyeran en extensión y espesor (~12,000 años A. P.), por lo que el albedo disminuyó y la cantidad de radiación absorbida por la Tierra fue mayor.

Para el inicio del Holoceno medio (~9,000 años A. P.), Kutzbach y Otto-Bliesner (1982) proponen que los parámetros orbitales sufrieron cambios, lo cual ocasionó que los monzones se intensificaran en general en el Hemisferio Norte. De esta manera, el efecto que tuvo el aumento de nubosidad y precipitación (Harrison *et al.*, 2003) sobre la Laguna, se puede ver reflejado en el hecho de que las temperaturas disminuyeron; sin embargo, el aumento del I. P. indica que la salinidad en vez de disminuir por las precipitaciones, aumentó.

Alrededor de los 6,000 años A. P. Norte América es más caliente y en general el Hemisferio Norte, lo cual es resultado en gran medida de la creciente insolación recibida en la Tierra, debido al cambio en uno de los parámetros orbitales, la precesión (Harrison *et al.*, 2003 y Schimdt *et al.*, 2004), ocasionando distintos regímenes de precipitación entre el suroeste de América del Norte (más húmedo) y regiones adyacentes (más seco).

En Las Vacas, aproximadamente para esta edad se registra un aumento en el patrón de temperatura observado también en el perfil de Don Beto por Palacios-Fest *et al.* (2002), el cual coincide también con el I. P. que indica que las precipitaciones son abundantes.

El único registro que pertenece al Holoceno superior indica que la temperatura disminuyó, y aunque no continúa más allá de los 4,792 años A. P. en Las Vacas y $1,300 \pm 65$ años A. P. en Don Beto, esta disminución podría verse relacionada con cambios en la insolación recibida como consecuencia de algún tipo de alteración en el Sol; un ejemplo de esto es lo reportado por Eddy (1976), quien sugiere que la disminución en el número de manchas solares afecta el clima terrestre, dando lugar a bajas temperaturas, como lo descrito para el periodo registrado entre los años 1645 a 1715 años d. C., conocido como la Pequeña Era Glacial.

CONCLUSIONES

Con este trabajo se observa que la aplicación de las constantes desarrolladas por Palacios-Fest (1996) para *Limnocythere staplini* son confiables para obtener estimaciones de paleotemperaturas en una especie distinta, *Limnocythere platyforma*, pues la relación de Mg/Ca de las valvas con la temperatura estimada es coherente, al igual que con los resultados de paleotemperaturas calculadas con el mismo método en otro perfil de la misma laguna, así como con las tendencias climáticas que a lo largo del Holoceno han sido descritas por otros métodos por otros autores. La aplicación de estos coeficientes a otras especies de *Limnocythere* será importante para confirmar que el método de Palacios-Fest (1996) es aplicable a este género, y por lo tanto, éste tiene una alta posibilidad de constituirse como un *proxie* valioso en este tipo de análisis paleoclimáticos.

Las condiciones climáticas reconstruidas en este trabajo para el Holoceno en la Laguna de Babícora, Chihuahua, México, complementan lo descrito por Palacios-Fest *et al.* (2002) para la misma laguna, dando como resultado una interpretación más integral de los cambios climáticos y ambientales que afectaron la zona durante este intervalo de tiempo.

Los cambios climáticos que se registraron fueron resultado de las diversas alteraciones que a nivel atmosférico se presentaron durante el Holoceno, lo cual también influyó sobre la población de ostrácodos, dejando ver que en este caso, estos organismos respondieron a los cambios principalmente en abundancia y composición de la población.

La realización de futuros estudios en la zona servirán para incrementar el conocimiento de la misma, pues al realizar muestreos intermedios entre los dos perfiles comparados se tendrá mayor continuidad en los datos, resultando en una historia climática más sólida de la zona. De igual manera, el estudio de cuencas cercanas a la Laguna de Babícora será de importancia para el establecimiento de los patrones climáticos que imperaron sobre la zona.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, B. D. y R. Y. Anderson. 1993. Evidence from Western North America for Rapid Shifts in Climate During the Last Glacial Maximum. *Science*. 260: 1920-1923.
- Antevs, E. 1948. Climatic Changes and Pre-white Man. *University of Utah Bulletin*. 38(20): 168-191.
- Antevs, E. 1955. Geologic-Climatic Dating in the West. *American Antiquity*. 20(4): 317-335.
- Boomer, I.; D. J. Horne y I. J. Slipper, 2003. The use of ostracods in palaeoenvironmental studies, or what can you do with an ostracod shell?. En: Park, E. L. y A. J. Smith (eds.). *Bridging the gap. Trends in the Ostracode Biological and Geological Sciences. Paleontological Society Papers*. 9: 153-179.
- Carreño, A. L. 1990. Ostrácodos lacustres del paleolago de Texcoco. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*. 3(1): 117-135.
- Chivas, A. R.; P. de Deckker y J. M. G. Shelley. 1983. Magnesium, strontium and barium partitioning in nonmarine ostracode shells and their use in paleoenvironmental reconstructions- A preliminary study. En: Maddocks, R. F. (ed.). *Applications of Ostracoda. Univ. Houston Geosc.* pp. 283-249.
- Chivas, A. R.; P. de Deckker y J. M. G. Shelley. 1985. Strontium content of ostracods indicates lacustrine palaeosalinity. *Nature*. 316: 251-253.
- Chivas, A. R.; P. de Deckker y J. M. G. Shelley. 1986a. Magnesium content of non-marine ostracode shells: A new palaeosalinometer and palaeothermometer. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 54: 43-61.
- Chivas, A. R.; P. de Deckker y J. M. G. Shelley. 1986b. Magnesium and strontium in non-marine ostracod shells as indicators of palaeosalinity and palaeotemperature. *Hydrobiologia*. 143: 135-142.
- Clement, A. C.; R. Seager y M. A. Cane. 2000. Suppression of El Niño during the mid-Holocene by changes in the Earth's orbit. *Paleoceanography*. 15(6): 731-737.
- COHMAP Members. 1988. Climatic Changes of the last 18,000 years: observations and

- model simulations. *Science*. 241: 1043-1052.
- Curry, B. 1999. An environmental tolerance index for ostracods as indicators of physical and chemical factors in aquatic habitats. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 148: 51-63.
- Danielopol, D. L.; E. Ito; G. Wansard; T. Kamiya; T. M. Cronin y A. Baltanás. 2002. Techniques for Collection and Study of Ostracoda. En: Holmes, J. A. y A. R. Chivas (eds.). *The Ostracoda, Applications in Quaternary Research*. American Geophysical Union, Washington, D. C. pp. 65-97.
- Davis, O. K. 1984. Multiple Thermal Maxima During Holocene. *Science*. 225: 617-619.
- Delorme, D. L. 1971a. Freshwater ostracodes of Canada. Part II. Subfamily Cypridopsinae and Herpetocypridinae, and family Cyclocyprididae. *Canadian Journal of Zoology*. 48: 253-266.
- Delorme, D. L. 1971b. Freshwater ostracodes of Canada. Part III. Family Candonidae. *Canadian Journal of Zoology*. 48: 1099-1127.
- Delorme, D. L. 1971c. Freshwater ostracodes of Canada. Part V. Families Limnocytheridae, Loxoconchidae. *Canadian Journal of Zoology*. 49: 43-64.
- Delorme, D. L. 1989. Methods in Quaternary ecology #7: Freshwater ostracodes. *Geoscience Canada*. 16: 85-90.
- De Deckker, P. 1988. An account of the techniques using ostracodes in paleolimnology in Australia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 62: 463-475.
- De Deckker, P. y R. M. Forester. 1988. The use of ostracodes to reconstruct continental paleoenvironmental records. En: De Deckker, P.; J. P. Colin y J.P. Peypouquet (eds.). *Ostracoda in the Earth Sciences*. Elsevier, Amsterdam. pp. 176-199.
- Eddy, J. A. 1976. The Maunder Minimum. *Science*. 192(4245): 1189-1202.
- Engstrom, D. R. y S. R. Nelson. 1991. Paleosalinity from trace metals in fossil ostracodes compared with observational records at Devils Lake, North Dakota, USA. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 83: 295-312.
- Forester, R. M. 1983. Relationship of two lacustrine ostracode species to solute composition and salinity: Implications for paleohydrochemistry. *Geology*. 11: 435-438.

- Forester, R. M. 1985. *Limnocythere bradburyi* n. sp; a modern ostracode from Central Mexico and possible Quaternary paleoclimatic indicator. *Journal of Paleontology*. 59(1): 8-20.
- Forester, R. M. 1987. Late Quaternary paleoclimate records from lacustrine ostracods. En: Ruddiman, W. F. y H. E. Jr. Wright (eds.). *North America and adjacent oceans during the last deglaciation*: Boulder, Colorado. Geological Society of America, *The Geology of North America*. K-3: 261-276.
- Forester, R. M. 1991. Ostracode assemblages from springs in the western United States: Implications for paleohydrology. *Memories of the Entomological Society of Canada*. 155: 181-201.
- Harrison, S. P.; J. E. Kutzbach; Z. Liu; P. J. Bartlein; B. Otto-Bliesner; D. Muhs; I. C. Prentice y R. S. Thompson. 2003. Mid-Holocene climates of the Americas: a dynamical response to changed seasonality. *Climate Dynamics*. 20: 663-688.
- Holmes, J. P. 1992. Nonmarine ostracodes as Quaternary paleoenvironmental indicators. *Progress in Physical Geography*. 16: 425-431.
- Holmes, J. P. 2001. Ostracoda. En: Smol, J. P.; H. J. B. Birks y W. M. Last (eds.). *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments, Vol. 4, Zoological Indicators*. Kluwer Academic Publishers. Holanda. pp. 125-151.
- Kaufmann, A. 1900. Cypriden und Darwinuliden der Schweiz. *Revue Suisse de Zoologie*. 8: 209-423.
- Kramer, K. y H. Lange-Bertalot. 1991. Bacillariophyceae (Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae). En: Ettl, H.; J. Gerloff; H. Heyning y D. Mollenhauer (eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa.. Teil 3*. Stuttgart-Jena, Gustav Fischer. 576 pp.
- Kutzbach, J. E. y B. L. Otto-Bliesner. 1982. The sensitivity of the African-Asian monsoonal climate to orbital parameters changes for 9000 yr B. P. in a low-resolution General Circulation Model. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 39(6): 1177-1188.
- Martin, S. P. 1963. *The Last 10,000 Years*. The University Arizona Press. Arizona. pp. 67-70.
- Menking, K. M. y R. Y. Anderson. 2003. Contributions of La Niña and El Niño to

- middle Holocene drought and Late Holocene moisture in the American Southwest. *Geology*. 31(11): 937-940.
- Metcalf, S. E.; S. L. O'Hara; M. Caballero y S. J. Davies. 2000. Records of Late Pleistocene-Holocene climatic change in Mexico — a review. *Quaternary Science Reviews*. 19: 699-721.
- Metcalf, S. E.; A. Bimpson; A. J. Courtice; S. L. O'Hara y D. M. Taylor. 1997. Climate Change at the monsoon/Westerly boundary in Northern Mexico. *Journal of Paleolimnology*. 17: 155-171.
- Metcalf, S.; A. Say; S. Black; R. McCulloch y S. O'Hara. 2002. Wet conditions during the Last Glaciation in the Chihuahuan Desert, Alta Babicora Basin, Mexico. *Quaternary Research*. 57: 91-101.
- Müller, O. F. 1776. *Zoologie Danicae prodromus, seu animalium Daniae et Norvegiae indigenarum, characteres, nomina, et synonyma imprimis popularium*. Haviae, Typis Hallageriis. pp. 198-199.
- Nordt, L. 2003. Late Quaternary fluvial landscape evolution in desert grasslands of northern Chihuahua, Mexico. *GSA Bulletin*. 115(5): 596-606.
- Ortega-Ramírez, J. R. 1995. Los paleoambientes holocénicos de la Laguna de Babicora, Chihuahua, México. *Geofísica Internacional*. 34(1): 107-116.
- Ortega-Ramírez, J. R.; J. Urrutia-Fucugauchi y A. Valiente-Banuet. 2000. The Laguna de Babicora basin: a late Quaternary paleolake in northwestern Mexico. En: Gierlowski-Kordesch E. H. y K. R. Kelts (eds.). *Lake basins through space and time: AAPG Studies in Geology*. 46: 569-580.
- Ortega-Ramírez, J. R.; A. Valiente-Banuet; J. Urrutia-Fucugauchi y C. Mortera-Gutiérrez. 1998. Paleoclimatic Changes during the late Pleistocene-Holocene in Laguna Babicora, near the Chihuahuan Desert, Mexico. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 35: 1168-1179.
- Palacios-Fest, M. R. 1994. Nonmarine ostracode shell chemistry from Ancient Hohokam irrigation canals in Central Arizona: a paleohydrochemical tool for the interpretation of prehistoric human occupation in the North American Southwest. *Geoarchaeology; An International Journal*. 9(1): 1-29.

- Palacios-Fest, M. R. 1996. Geoquímica de las conchas de ostrácodos (*Limnocythere staplini*) un método de regresión múltiple como indicador paleoambiental. GEOS. 16(3): 130-136.
- Palacios-Fest, M. R. y D. L. Dettman. 2001. Temperature controls monthly variation in Ostracode valve Mg/Ca: *Cypridopsis vidua* from a small lake in Sonora, Mexico. Geochimica et Cosmochimica Acta. 65(15): 2499-2507.
- Palacios-Fest, M. R.; A. S. Cohen y P. Anadón. 1994. Use of ostracodes as paleoenvironmental tools in the interpretation of ancient lacustrine records. Revista Española de Paleontología. 9(2): 145-164.
- Palacios-Fest, M. R.; A. L. Carreño; J. R. Ortega-Ramírez y G. Alvarado-Valdéz. 2002. A paleoenvironmental reconstruction of Laguna Babícora, Chihuahua, Mexico, based on ostracode paleoecology and trace element shell chemistry. Journal of Paleolimnology. 27: 185-206.
- Palacios-Fest, M. R.; A. S. Cohen; J. Ruiz y B. Blank. 1993. Comparative paleoclimatic interpretations from nonmarine ostracodes using faunal assemblages, trace elements shell chemistry and stable isotope data. Geophysical Monograph. 78: 179-190.
- Reyes-Torres, A. y S. D. Vázquez-Rodríguez. 2003. Determinación taxonómica y geoquímica de la concha de los ostrácodos fósiles pertenecientes al Plioceno presentes en Sanctorum Hidalgo, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores, Zaragoza, UNAM. Distrito Federal.
- Rull, V. 2000. http://einstein.uab.es/vrull/monographic/gwcauses_paleoclim.htm
- Ruiz, F.; M. L. González-Regalado; J. M. Muñoz; J. G. Pendón; A. Rodríguez-Ramírez; L. Cáceres y J. Rodríguez-Vidal. 2003. Population age structure and ostracods: Applications in coastal hydrodynamics and paleoenvironmental analysis. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 199: 51-69.
- Schmidt, G. A.; D. T. Schindell; R. L. Miller; M. E. Mann y D. Rind. 2004. General circulation modeling of Holocene climate variability. Quaternary Science Reviews. 23: 2167-2181.
- Tressler, W. L. 1954. Fresh-water Ostracoda from Texas and Mexico. Journal of the

- Washington Academy of Science. 44: 138-149.
- Turpen, J. B. y R. W. Angell. 1971. Aspects of molting and calcification in the ostracod *Heterocypris*. *Biological Bulletin*. 140: 331-338.
- Van Devender, T. R. 1990a. Late Quaternary vegetation and climate of the Chihuahuan Desert, United States and Mexico, En: Betancourt, J. L.; T. R. Van Devender y P. Martin (eds.). *Packrat Middens: The Last 40,000 years of Biotic Change*. University of Arizona Press, Tucson. pp. 105-133.
- Van Devender, T. R. 1990b. Late Quaternary vegetation and climate of the Sonoran Desert, United States and Mexico, En: Betancourt J. L.; T. R. Van Devender y P. Martin (eds.). *Packrat Middens: The Last 40,000 years of Biotic Change*. University of Arizona Press, Tucson. pp. 135-136.
- Van Devender, T. R. y W. G. Spaulding. 1979. Development of Vegetation and Climate in the Southwestern United States. *Science*. 204: 701-710.
- Van Morkhoven, F. P. C. M. 1963. *Post-Paleozoic Ostracoda. Their morphology, taxonomy and economic use*. Elsevier Publishing Company. Nueva York.
- Waters, M. R. y C. V. Haynes. 2001. Late Quaternary arroyo formation and climate change in the America Southwest. *Geology*. 29(5): 399-402.
- Whatley, R. 1983. Some simple procedures for enhancing the use of Ostracoda in palaeoenvironmental analysis. *NPD Bulletin*. (2): 129-146.
- Wefer, G.; W. H. Berger; J. Bijma y G. Fischer. 1999. Clues to ocean history: a brief overview of proxies. En: Fischer, G. y G. Wefer (eds.). *Use of proxies in paleoceanography*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Berlín. pp. 1-68.
- Xia, J.; D. R. Engstrom y E. Ito. 1997. Geochemistry of ostracode calcite: Part 2. The effect of water chemistry and seasonal temperature variation on *Candona rawsoni*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 61: 383-391.

LÁMINA I

Figura 1. *Candona patzcuaro* Tressler, 1954

- a. Vista lateral externa, valva derecha, hembra, 60X. IGM-822-Mi.
- b. Vista lateral externa, valva izquierda, hembra, 70X. IGM-823-Mi.
- c. Vista lateral externa, valva derecha, macho, 70X. IGM-824-Mi.
- d. Vista dorsal, caparazón, macho, 60X. IGM-825-Mi.

Figura 2. *Cypridopsis vidua* (Müller, 1776) Brady, 1868

- a. Vista lateral externa, valva izquierda, 70X. IGM-826-Mi.
- b. Vista lateral externa, valva derecha, 150X. IGM-827-Mi.
- c. Vista lateral interna, valva izquierda, 165X. IGM-828-Mi.
- d. Vista lateral interna, valva derecha, 150X. IGM-829-Mi.
- e. Vista dorsal, caparazón, 150X. IGM-830-Mi.

LÁMINA I

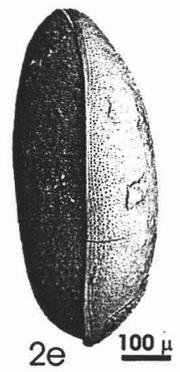
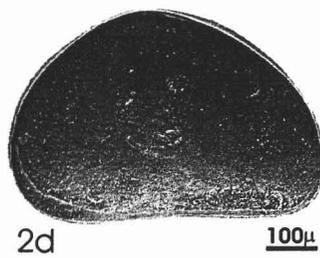
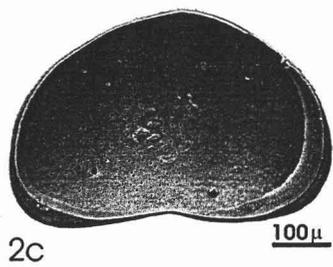
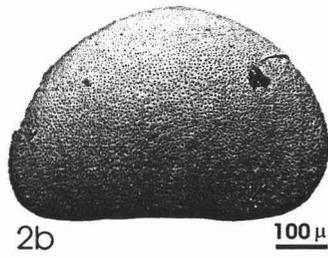
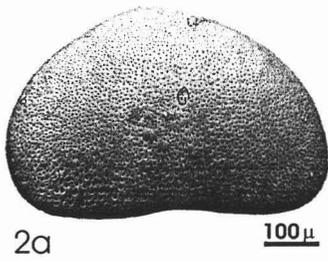
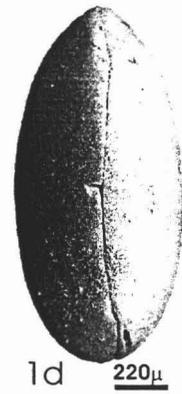
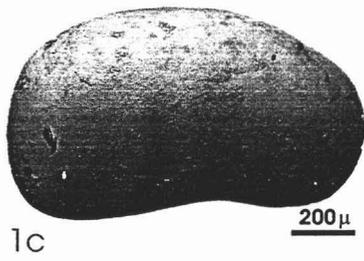
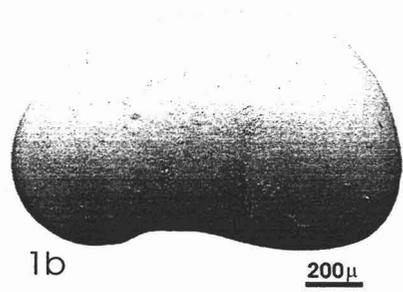
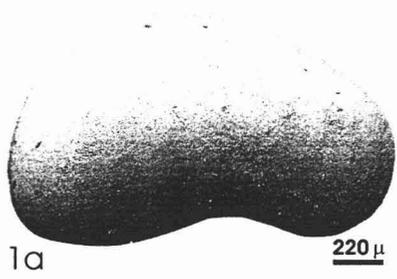


LÁMINA II

Figura 1. *Limnocythere bradburyi* Forester, 1985

- a. Vista lateral externa, valva derecha, macho, 100X. IGM-831-Mi.
- b. Vista lateral externa, valva izquierda, macho, 96X. IGM-832-Mi.
- c. Vista lateral externa, valva izquierda, hembra, 120X. IGM-833-Mi.
- d. Vista lateral externa, valva derecha, hembra, 120X. IGM-834-Mi.
- e. Vista lateral interna, valva izquierda, macho, 110X. IGM-835-Mi.
- f. Vista lateral interna, valva derecha, macho, 100X. IGM-836-Mi.
- g. Vista dorsal, caparazón, macho, 100X. IGM-837-Mi.

Figura 2. *Limnocythere platyforma* Delorme, 1971

- a. Vista lateral externa, valva derecha, macho, 100X. IGM-838-Mi.
- b. Vista lateral externa, valva izquierda, macho, 100X. IGM-839-Mi.
- c. Vista lateral interna, valva derecha, macho, 100X. IGM-840-Mi.
- d. Vista lateral interna, valva izquierda, macho, 110X. IGM-841-Mi.
- e. Vista lateral, caparazón, macho, 100X. IGM-842-Mi.

LÁMINA II

