



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Paleoecología de Ostrácodos en los últimos 45
cal ka A.P., procedentes de los sedimentos del
paleolago Babícora, desierto de Chihuahua,
México.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA GEÓLOGA

P R E S E N T A :

CLAUDIA MAGALI CHÁVEZ LARA

TUTOR

DR. PRIYADARSI DEBAJYOTI ROY

2011





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.

DEDICATORIA

A todos los geocientíficos, con especial cariño a los mexicanos.

A todas las personas que día a día trabajan por el avance científico y tecnológico.

A todas las personas que creemos que México es un país con gran potencial, a pesar de los problemas socio-económicos y políticos que existen.

A todo aquel cuyo presente trabajo le pueda ser útil.

AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por todos los beneficios que me ha brindado durante estos últimos años, a la que me siento orgullosa de pertenecer a ella, a la que le debo lo que soy y a la que estaré en deuda toda la vida.

A mi querida Facultad de Ingeniería, en la que aprendí, sufrí, reí y viví los mejores años de mi vida hasta el momento, a la que siempre recordaré con mucho cariño.

Al Dr. Priyadarsi Debajyoti Roy por su apoyo, confianza, sabiduría y cariño que me brinda, por todos los consejos que me da y por impulsarme a ser mejor cada día, por ser el gran ser humano e investigador que es.

Al Instituto de Geología por darme la oportunidad de realizar este trabajo y por todo el talento que existe en él.

A la DGAPA-UNAM por la beca que me fue otorgada para la realización de esta tesis dentro del contexto del proyecto PAPIIT 2010 IN104610 y CONACyT-Ciencia Básica 83800.

A mis sinodales por el tiempo dedicado, observaciones y comentarios para la mejora de este trabajo.

A todos mis profesores de la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, de la División de Ciencias Básicas y de la División de Ciencias Sociales y Humanidades por sus enseñanzas y transmitirme sus conocimientos.

A todas las personas que colaboraron directa o indirectamente durante el desarrollo de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A mis padres Lucía y Román por su amor incondicional, por haberme educado y enseñado a ser una persona de bien, por todos sus consejos, historias, anécdotas y chistes, por todas las comodidades que siempre han tratado de brindarnos a mi hermano y a mí, por darme esta hermosa vida y hermosa familia, que es lo mas valioso que tengo.

A mi hermano Román por todo lo que hemos vivido juntos, por las risas y los llantos que hemos compartido y por ser como es.

A mis abuelitos Antonia Hernández Amador y Pedro Lara Toledo, por su amor y cariño, por cuidarnos a mi hermano y a mí cuando mis papás no estaban. A mi Toñita adorada por ser la persona más buena que conozco en este mundo y a Angelita por cuidarnos desde donde quiera que esté.

A todos mis tíos, primos y sobrinos del D.F. y de Durango, por quererme y apoyarme siempre, somos una gran familia.

A mis amigos queridos con los que he vivido momentos inolvidables y con los que comparto el orgullo de ser ingenieros de la UNAM: Eric "Charro", Francisco "Pacorro", Marco "Oso", Jorge "Jorjais", Norberto "Mono", Christian "Cascaras", Daniel "Mañanitas", Luis "Tremendo", Emilio "Emily", Luis "Wicho", Oscar "Pana" y Eder "Ederketo".

A mis amigos y compañeros de carrera Francisco "Pai", David "Paisano", Miguel "Chaparrito", Marco "Tres veces Bello", Mildred, Diana y por supuesto mis amiguitas hermosas con las que compartí experiencias únicas, fuera y dentro de la Facultad: Nancy "Paisanita", Rosalinda "Ross" y Marlene "Barbie".

A mis amigos con los que comparto toda una vida: Diana "Neni" y Aldo "Mijo" por estar siempre conmigo, en las buenas y en las malas.

A mis amigas con las que he gritado, cantado, bailado y vivido la buena vida: Alejandra "Puch" y Montserrat "Ashirra".

A mis amigas Patricia "Pata", Pilar "Pilin" e Ileana "Chadis" por cuidarme, aconsejarme y hacerme reír a carcajadas siempre.

A todos ustedes mil gracias por formar parte de mi vida.

CONTENIDO

Número de página

Índice de figuras	
Índice de tabla y láminas	
RESUMEN	
ABSTRACT	
I. INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
Objetivo general	4
Objetivos particulares	4
II. ANTECEDENTES	5
II.1 ESTUDIOS PREVIOS	5
II.2 OSTRÁCODOS	7
II.2.1 Biología	7
II.2.2 Taxonomía	8
II.2.3 Ecología	8
II.3 MARCO GEOLÓGICO	11
III. MATERIAL Y METODOLOGÍA	14
III.1 RECOLECTA DE MUESTRAS	14
III.2 CORTE Y MUESTREO DE LA SECUENCIA SEDIMENTARIA	13
III.3 PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS	15
III.3.1 Análisis de ostrácodos	15
III.3.2 Análisis de carbono total, carbono orgánico (C _{org}) y carbono inorgánico (CO ₃)	15
III.3.3 Análisis de fechas de radiocarbono AMS	16
IV. RESULTADOS	17
IV.1 ESTRATIGRAFÍA	17
IV.2 CRONOLOGÍA Y MODELO DE EDAD	19
IV.3 CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT), CARBONO INORGÁNICO TOTAL (CIT)	21
IV.4 OSTRÁCODOS	23
IV.4.1 Especies	23
IV.4.2 Abundancia de las especies	29
V. DISCUSIÓN	33
V.1 COMPARACIÓN CON OTROS ARCHIVOS DE PALEO-AMBIENTE GENERADOS DE BABÍCORA	34
VI. CONCLUSIONES	38
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS	39

Índice de figuras

Figura 1.	Ubicación del núcleo y paleolago Babícora, desierto de Chihuahua (modificado de Metcalfe <i>et al.</i> , 2002).	12
Figura 2.	Columna estratigráfica de la secuencia sedimentaria del paleo-lago Babícora, desierto de Chihuahua.	18
Figura 3.	Columna estratigráfica con la ubicación de las 6 muestras fechadas mediante radiocarbono AMS, curva de porcentaje de Carbono Orgánico Total (COT) y Carbono Inorgánico Total (CIT).	22
Figura 4.	Columna estratigráfica de la secuencia sedimentaria, abundancia total de ostrácodos (valva/g) y curva de porcentaje de carbonato de calcio (CaCO ₃).	31
Figura 5.	Abundancia total de ostrácodos (valva/g) y porcentaje de abundancia de las especies encontradas en el perfil sedimentario.	32
Figura 6.	Abundancia total de ostrácodos (valvas/g), porcentaje de abundancia de ostrácodos por especie, Índice de Alteración Química (IAQ), Carbono Orgánico Total (COT). Zona 1 (color amarillo), Zona 2 (color verde), Zona 3 (color rosa).	37

Índice de tabla y láminas

Tabla 1.	Fechas de radiocarbono AMS.	20
-----------------	------------------------------------	-----------

LÁMINA I		26
-----------------	--	-----------

1. *Candona patzcuaro* Tressler, 1954.
 - a) Vista lateral externa, valva izquierda, hembra, 32X.
 - b) Vista lateral interna, valva izquierda, hembra, 32X.
 - c) Vista lateral externa, valva derecha, macho, 32X.
 - d) Vista lateral interna, valva derecha, macho, 32X.
2. *Cypridopsis vidua* (Müller, 1776) Brady, 1868.
 - a) Vista lateral externa, valva izquierda., 63X.
 - b) Vista lateral interna, valva izquierda, 63X.
3. *Limnocythere bradburyi* Forester, 1985.
 - a) Vista lateral externa, valva izquierda, hembra, 50X.
 - b) Vista lateral interna, valva izquierda, hembra, 50X.

LÁMINA II		27
------------------	--	-----------

4. *Limnocythere ceriotuberosa* Delorme, 1967.
 - a) Vista lateral externa, valva derecha, hembra, 50X.
 - b) Vista lateral interna, valva derecha, hembra, 50X
5. *Limnocythere platyforma* Delorme, 1971.
 - a) Vista lateral externa, valva derecha, hembra, 63X.
 - b) Vista lateral interna, valva derecha, hembra, 63X.
 - c) Vista dorsal, valva derecha, hembra, 63X.

RESUMEN

El paleolago Babícora está ubicado en una cuenca tectónica en la parte occidental del desierto de Chihuahua en el norte de México. Se recolectó un núcleo sedimentario aproximadamente de 10 m en la parte central de la laguna y a partir de 6 fechas de radiocarbono AMS se estimó una edad de 45 mil años calibrados antes del presente (45 cal ka A.P.) a una profundidad de 454 cm. En el presente trabajo, se hace una reconstrucción paleo-ambiental del desierto de Chihuahua durante los últimos 45 cal ka A.P. con base en afinidades ecológicas de especies de ostrácodos, Carbono Orgánico Total (COT) y Carbono Inorgánico Total (CIT) de los sedimentos. El conjunto faunístico de ostrácodos consiste en 5 especies diferentes, *Candona patzcuaro*, *Cypridopsis vidua*, *Limnocythere bradburyi*, *L. platyforma*, *L. ceriotuberosa*. Para la reconstrucción paleoambiental se dividió el perfil sedimentario en 3 diferentes zonas considerando abundancia total de ostrácodos y abundancia por especie. Los sedimentos de los primeros 44 cm (Zona 1, últimos 12 cal ka A.P.) no contuvieron ostrácodos. Durante este periodo, la erosión de sedimentos depositados durante ca. (alrededor, cerca) 4-8 cal ka A.P. (posiblemente por procesos eólicos) y precipitación de calcita en ca. 4 cal ka A.P., indican condiciones secas con reducción en la precipitación. En el resto del núcleo la abundancia de ostrácodos varían entre 2 y 1441 valvas/g. La abundancia es menor (2-400 valvas/g) en los sedimentos de 45-225 cm de profundidad (Zona 2, 12-32 cal ka A.P.) y mayor (45-1441 valvas/g) en 226-500 cm (Zona 3, 32-45 cal ka A.P.). La especie más abundante es *Candona patzcuaro* Tressler seguida por *Limnocythere platyforma* Delorme, *Cypridopsis vidua* Brady, *Limnocythere bradburyi* Forester y finalmente *Limnocythere ceriotuberosa* Delorme. Abundancias mayores de *L. ceriotuberosa*, *L. bradburyi* y *C. vidua* durante 14-17 cal ka A.P. (65-75 cm), 20-23 cal ka A.P. (85-115 cm) y 26-30 cal ka A.P. (165-205 cm) sugieren condiciones relativamente húmedas pero con alta tasa de evaporación y salinidad y menor flujo de agua dulce a la cuenca. La presencia de las especies *L. platyforma* y *C. vidua* sugieren menor temperatura y salinidad durante 40-45 cal ka A.P. (385-485 cm).

Palabras clave: Paleoecología, ostrácodos, paleolago Babícora, ***Candona patzcuaro***, ***Limnocythere platyforma***, ***Cypridopsis vidua***, ***L. bradburyi***, ***L. ceriotuberosa***, Geoquímica, 45 cal ka A.P.-presente.

ABSTRACT

The paleolake Babícora is located in a tectonic basin in the western limit of the Chihuahua desert in northern Mexico. A ca. (around) 10 m long sediment core was collected from the central part of the basin and from 6 AMS radiocarbon dates, an age of 45,000 years calibrated before present (45 cal ka B.P.) was estimated for sediments deposited at a depth of 454 cm. This thesis presents a paleoenvironmental reconstruction of the Chihuahuan desert during the last 45 cal ka B.P. It is based on ecological similarities of species of ostracods, Total Organic Carbon (TOC) and Total Inorganic Carbon (TIC) of the sediments. The ostracod faunal assemblage consists of 5 different species, *Candona patzcuaro*, *Cypridopsis vidua*, *Limnocythere bradburyi*, *L. platyforma*, *L. ceriotuberosa*. For the paleoenvironmental reconstruction the sedimentary profile was divided into 3 different zones considering total ostracods abundance and abundance of individual species. The sediments from the first 44 cm (Zone 1, last 12 cal ka B.P.) do not contain ostracods. Erosion of sediments deposited during ca. 4-8 cal ka B.P. (possibly by aeolian processes) and precipitation of calcite ca. 4 ka B.P. indicate dry conditions with reduced precipitation. In the remaining part of the core, the ostracods abundance varies between 2 and 1441 valves/g. The abundance is lower (2-400 valves/g) in sediments from 45-225 cm depth (Zone 2, 12-32 cal ka B.P.) and higher (45-1441 valves/g) at 226-500 cm (Zone 3, 32-45 cal ka B.P.). *Candona patzcuaro* Tressler is the most abundant species, followed by *Limnocythere platyforma* Delorme, *Cypridopsis vidua* Brady, *Limnocythere bradburyi* Forester and finally *Limnocythere ceriotuberosa* Delorme. Higher abundances of *L. ceriotuberosa*, *L. bradburyi* and *C. vidua* during 14-17 cal ka B.P. (65-75 cm), 20-23 cal ka B.P. (85-115 cm) and 26-30 ka cal B.P. (165-205 cm) suggests relatively moist conditions but with high evaporation rate, lower salinity and higher freshwater inflow into the basin. The presence of *L. platyforma* and *C. vidua* suggest a lower temperature and salinity during 40-45 cal ka B.P. (385-485 cm).

Key Words: Paleoecology, ostracods, paleolake, Babícora, ***Candona patzcuaro***, ***Limnocythere platyforma***, ***Cypridopsis vidua***, ***L. bradburyi***, ***L. ceriotuberosa***, Geochemistry, 45 cal ka B.P.-presentday.

I. INTRODUCCIÓN

Paleoclimatología es el estudio del clima y el cambio climático previo al periodo de mediciones instrumentales. Los registros instrumentales abarcan únicamente una pequeña fracción ($<10^{-7}$) de la historia climática en la tierra, por tanto proveen una perspectiva inadecuada de la variación climática y la evolución del clima actual y en el futuro. Por medio de estudios de los fenómenos naturales, que son climáticamente dependientes, puede obtenerse una perspectiva más larga sobre la variabilidad climática. Estos fenómenos proveen lo que se denomina como registro *proxy* del clima y el estudio de estos registros *proxy* es la fundamentación de la paleoclimatología. La reconstrucción es el registro más detallado y fidedigno de fluctuaciones climáticas pasadas que incrementa la posibilidad de identificar causas y mecanismos de la variación climática. Así, los datos paleoclimáticos proveen las bases para examinar hipótesis sobre las causas del cambio climático. Sólo cuando las causas de fluctuaciones del clima del pasado sean entendidas, será posible anticipar de lleno o pronosticar variaciones climáticas en el futuro (Bradley y Eddy, 1991).

Los sedimentos acumulados en lagos y de sus alrededores, recolectados por medio de núcleos, pueden proporcionar registros de cambio climático. Los niveles de acumulación en lagos generalmente son altos, por ésta razón los sedimentos de lago ofrecen un gran potencial de registros de alta resolución del clima pasado, siendo adecuadamente fechados. Los sedimentos de lago se conforman de dos componentes básicos: material alóctono, originado en las afueras de la cuenca del lago y material autóctono, producido dentro del mismo lago. El material alóctono es transportado a los lagos por ríos y corrientes, flujo por vía terrestre, actividad eólica, y (en algunas ocasiones) drenaje superficial, de tal manera que está compuesto por una gran variación de sedimentos clásticos fluviales o eólicos, sales disueltas, microfósiles terrestres y polen. El material autóctono es de origen biogénico o el que resulta de la precipitación inorgánica dentro de la columna de agua (frecuentemente como consecuencia de variación estacional y biológica que puede

alterar significativamente la química del agua). Ambos materiales, alóctono y autóctono, son criterios útiles en la reconstrucción paleoclimática (Bradley, 1999).

El presente trabajo tiene como propósito fundamental realizar una reconstrucción climática de los pasados 45 mil años en la región occidental del desierto de Chihuahua, a través del estudio de ostrácodos en un registro sedimentario de alta resolución del paleolago Babícora. Los ostrácodos son pequeños crustáceos bivalvos que han logrado una gran diversificación y adaptación a diversas condiciones ambientales, a pesar de esto existen factores relacionados con su medio a los que son muy sensibles como temperatura, salinidad, pH, disponibilidad de nutrientes, entre otros. Es por ello que son considerados como excelente *proxy* climático, ya que son “sensores” indirectos de los parámetros de temperatura superficial y salinidad. Al morir, sus valvas de carbonato de calcio, se depositan en el fondo del lago o en el fondo marino, formando parte del registro paleontológico.

Los registros paleoclimáticos de México que abarcan largos periodos son escasos (Metcalf *et al.*, 2000) y la mayoría son del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (ca. 19° N). Las fechas de los registros de la Cuenca de México (Bradbury, 1971; Lozano-García *et al.*, 1993; Caballero y Ortega-Guerrero, 1998; Caballero *et al.*, 1999; Roy *et al.*, 2008, 2009) cubren aproximadamente 50,000 años. Watts y Bradbury (1982) publicaron un registro de polen, que abarca los últimos 44,000 años del lago Pátzcuaro, al oeste de la Cuenca de México y Bradbury (2000) informó sobre el registro de diatomeas de la misma secuencia.

El norte de México se encuentra cerca de la frontera actual entre la latitud media (oeste) y tropical (monzónica) de fuentes de humedad. Estudios realizados en el suroeste de E.U.A. han mostrado grandes cambios en los niveles de lago y en la distribución de la vegetación en el Cuaternario Tardío que han sido interpretados en términos de variaciones significativas en las fuerzas relativas y las posiciones de estos sistemas de climatización. Datos paleoclimáticos de esta zona, sin embargo, dejan una serie de preguntas sin resolver, que sólo pueden ser contestadas mediante la extensión del trabajo en el norte de México, más cerca de la principal fuente de lluvia de verano (monzónica), el Golfo de México (Metcalf *et al.*, 1997).

En el norte de México, los registros del desierto de Chihuahua y Sonora son en gran parte del Wisconsin Tardío (Van Devender 1990a, 1990b). Un registro de polen de la cuenca de Cuatro Ciénegas, también en el desierto de Chihuahua, cubre > 30,000 años, pero al parecer muestra pocos cambios paleoclimáticos (Meyer, 1973). Metcalfe *et al.* (1997) describen los resultados preliminares de un estudio de las secuencias de sedimentos de lago de dos cuencas en la parte norte del estado de Chihuahua. El control de fechamiento disponible al momento indica que estos registros son del Pleistoceno Tardío y Holoceno, sin embargo, no hay un patrón claro de estos estudios, aunque Bradbury (1997a) propone una división de oeste a este en términos de paleocondiciones de humedad durante la última glaciación.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Reconstrucción paleoambiental de la parte occidental del desierto de Chihuahua durante el Pleistoceno Tardío-Holoceno, mediante el estudio de la paleoecología de ostrácodos en los sedimentos del paleolago Babícora.

Objetivos particulares

- Identificar taxonómicamente las especies de ostrácodos y cuantificar la abundancia total y por especie en la secuencia sedimentaria.
- A partir de las afinidades ecológicas de las especies de ostrácodos, carbono orgánico total y carbono inorgánico total, inferir las condiciones climáticas durante el periodo estudiado.
- Documentar la variabilidad climática de la región durante el Pleistoceno Tardío-Holoceno y compararla con otros registros paleoclimáticos de la región.

II. ANTECEDENTES

II.1 ESTUDIOS PREVIOS

La reconstrucción paleoecológica del desierto de Chihuahua durante el Cuaternario Tardío ha sido con base en estudios de indicadores biológicos como polen, diatomeas y ostrácodos presentes en los depósitos lacustres de Babícora y Encinillas (Metcalf *et al.*, 1997, 2002; Palacios-Fest *et al.*, 2002). Los ostrácodos se encuentran presentes en las secuencias sedimentarias de los lagos o paleolagos. Estos crustáceos bivalvos son extremadamente sensibles a las condiciones climáticas y por ello proveen información paleoclimática importante (Holmes, 1992). En las últimas décadas los estudios de reconstrucción paleoclimática continental se basan en sedimentos lacustres. Forester (1983) demostró que a pesar de la salinidad y el pH de *Limnocythere staplini* Staplin y *L. sappaensis* Staplin, que 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 para México (*Limnocythere bradburyi*), determina los requerimientos y rangos de tolerancia en los que esta especie se desarrolla; Curry (1999) describe un índice de tolerancia debida 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 en nidos de *Neotoma* sp. (Van Devender, 1990a y b), polen y diatomeas (Metcalf *et al.*, 1997 y 2002) y geoquímica (Roy *et al.*, 2010, 2011).

Ortega-Ramírez (1995) reconstruyó las condiciones paleoambientales de la Laguna de Babícora de los últimos 10,000 años A.P. con base en análisis sedimentológicos, estadísticos y estratigráficos de 8 perfiles, concluyendo que durante el Holoceno Temprano el nivel del agua de la laguna era bajo; para el Holoceno Medio los ambientes palustres dominaron 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 las condiciones de la laguna para los últimos 18,000 años A.P. con base en análisis sedimentarios y estratigráficos de tres perfiles lacustres e infirieren condiciones con mayor humedad que la actual durante el Wisconsiniano tardío (18,000-10,000 años A.P.), y por lo tanto el cuerpo de agua era extenso. Durante 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 permanente, e interpretan un lago en condiciones de pantano con un aumento en la aridez y con el nivel del agua disminuyendo durante el Holoceno Medio (8,900-4,000 años A.P.) y finalmente caracterizan el Holoceno Tardío (4,000 años A.P.-presente) como condiciones climáticas que en la actualidad imperan en la zona; es decir, ambientes semiáridos.

Entre los trabajos que emplean *proxy* biológicos, Palacios-Fest *et al.* (2002) reconstruyen la historia paleoambiental estudiando tres perfiles sedimentarios de la Laguna de Babícora (anteriormente estudiada por Ortega-Ramírez *et al.*, 2000) para los últimos 25,000 años A.P. basándose en la paleoecología de 7 especies de ostrácodos y la geoquímica (Mg/Ca) 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. Los autores infieren que del Pleistoceno Tardío al Holoceno Temprano (hasta ca. 11,000 años A.P.) 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. Durante 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. 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.

II.2 OSTRÁCODOS

II.2.1 Biología

Los ostrácodos son crustáceos pequeños, cuya longitud varía de 0.5 a 3 mm cuando son adultos. Su cuerpo blando y apéndices (generalmente de 5 a 8, están relacionados con diversas funciones como alimentación, movimiento y reproducción entre otras). Están cubiertos por 2 valvas unidas por la parte dorsal formando la concha o caparazón. Las valvas están compuestas por carbonato de calcio en forma de calcita baja en magnesio (Turpen y Angell, 1971).

La 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). La mayoría de los ostrácodos de agua dulce utiliza la reproducción partenogenética. El dimorfismo sexual es marcado en la forma de la valva, aunque en algunos casos, el sexo sólo puede ser determinado mediante el estudio de los órganos reproductivos. Los ostrácodos ponen huevos, raras veces son retenidos y empollados dentro de las hembras en una cámara de incubación. Comúnmente como en otros artrópodos, el crecimiento de los ostrácodos se efectúa por ecdisis (mudas) de 8 a 9 veces en su ciclo de vida, siendo A-9 el estadio más joven 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 mismas se hace con base en individuos

adultos. El ciclo de vida de los ostrácodos de agua dulce se completa entre tres a cinco semanas, o en más de un año (Holmes, 1992).

II.2.2 Taxonomía

Moore (1961), Hartmann y Puri (1974), Maddocks (1982), entre otros, consideran OSTRACODA como subclase de la clase CRUSTACEA. La subclase está dividida en seis órdenes, en el que sólo uno, el PODOCOPIDA, incluye todas las especies de agua dulce. Todos los podocópidos vivientes caen en el suborden PODOCOPINA, que está compuesto por cinco superfamilias. Todos los ostrácodos que son de agua dulce y salada están clasificados en tres de estas superfamilias, CYPRIDACEA, CYTHERACEA y DARWINULACEA. Aunque la nomenclatura zoológica moderna recomienda la terminación –oidea para los nombres de las superfamilias, la terminación –acea es común en toda la literatura paleontológica y persiste dentro de la taxonomía de los ostrácodos (Holmes, 1992).

La mayoría de los ostrácodos de agua dulce vivientes pertenecen a la superfamilia CYPRIDACEA. La identificación a tal nivel frecuentemente se basa en las características morfológicas del caparazón como tamaño, forma, ornamentación, cicatrices musculares y charnela. Para los ostrácodos fósiles, ésta es la única opción ya que el cuerpo y apéndices raramente son preservados. Para los ostrácodos recientes, bastante información se puede obtener por medio de la observación de la anatomía de los apéndices, aunque los diagnósticos de las especies extintas se basan sólo en la morfología del caparazón.

II.2.3 Ecología

Los ostrácodos 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 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).

No obstante de que están limitados por estos factores, existen especies que toleran una amplia variación química del agua, denominadas euríticas, al contrario de aquellas que están limitadas a ciertas condiciones físico-químicas del agua y que se definen como estenotópicas (Palacios-Fest, 1994).

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 físico-químicos 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^{2-}), 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, 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 menor 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 se 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 cerioluberosa* y *L. platyforma* (Palacios-Fest *et al.*, 2002) obteniendo temperaturas dentro de un intervalo aceptable. En un paleolago del estado de Hidalgo, Reyes-Torres y Vázquez-Rodríguez (2003) aplican también el método, empleando *L. bradburyi* Forester y *L. itasca* Cole, aunque los resultados obtenidos no son los esperados debido a que las valvas empleadas se encontraban recristalizadas.

II.4 MARCO GEOLÓGICO

El paleo-lago Babícora (Figura1) está ubicado en una cuenca sedimentaria localizada en el estado de Chihuahua al norte de México (29°15' – 29°30' N, 107°40' – 180°00' O). Ésta cuenca se formó por procesos volcánicos y tectónicos durante el Terciario y Cuaternario y se encuentra situada al pie de las colinas de la Sierra Madre Occidental.

Hawley (1969) identifica el sector Babícora-Bustillos como la parte más alta de las cuencas y valles de la zona, donde los pisos de las cuencas varían entre 1,800 y 2,250 msnm, mientras que los rangos volcánicos alcanzan de 2,500 hasta 3,195 msnm. La cuenca está situada a una altitud aproximada de 2,100 msnm y se extiende sobre un área de 1,896 km².

La base de la cuenca está conformada por riolita intercalada con andesita e ignimbrita con edades del Mioceno al Pleistoceno, cubierta por toba riolítica y flujos de lava basáltica con edades del Plioceno-Pleistoceno. La mayoría de las rocas cuaternarias 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 en el este y el desierto sonorense en el occidente.

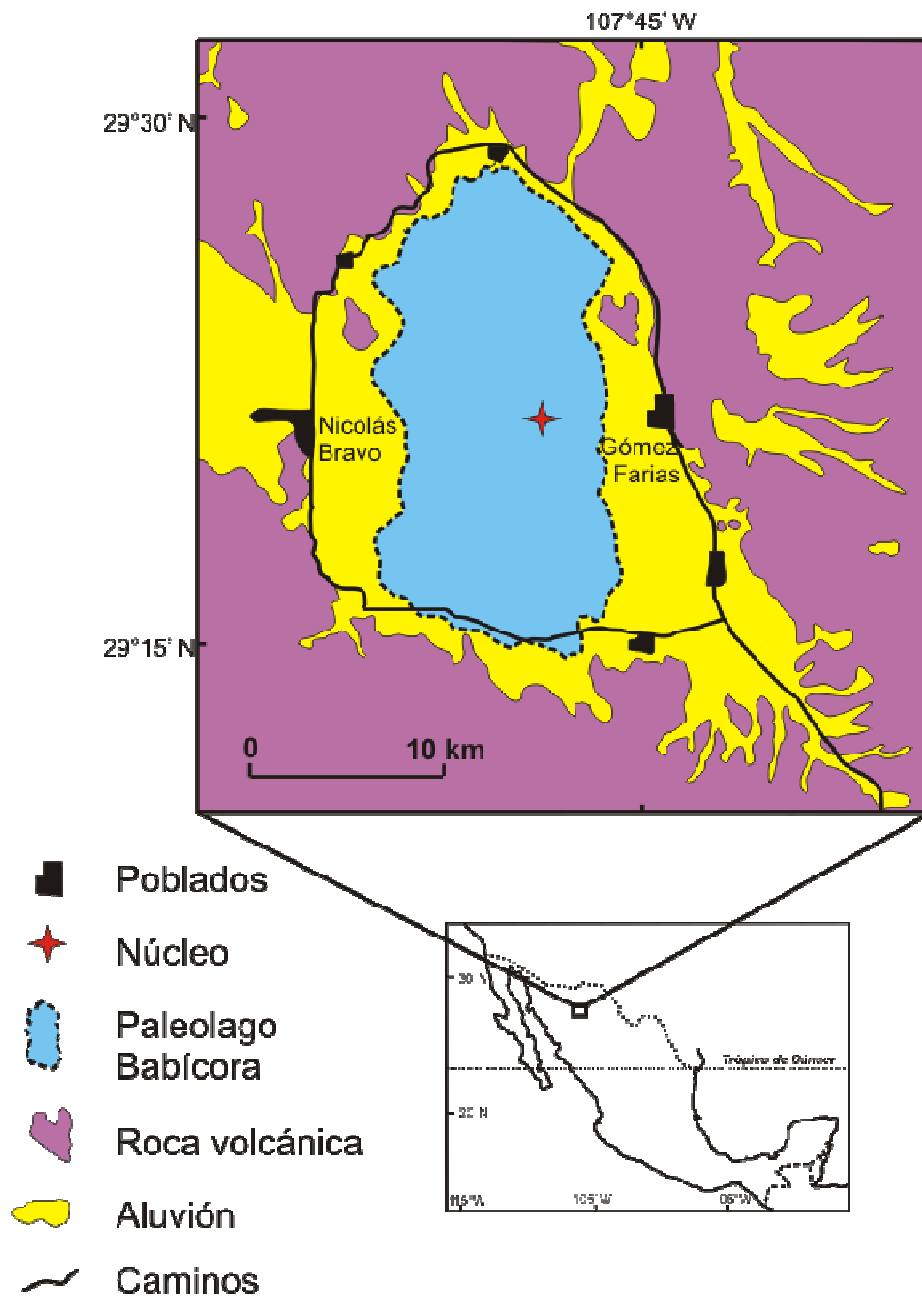


Figura 1. Ubicación del paleolago Babicora, desierto de Chihuahua (modificado de Metcalfe *et al.*, 2002). El núcleo sedimentario se recolectó en la parte centro-oriental de la cuenca.

El clima de la región es el típico de la mayor parte de México, veranos con temporadas de lluvias en los meses de julio a octubre e inviernos secos. El promedio anual de precipitación, que cae mayormente en julio y agosto, es de 450 mm y su temperatura media anual es de 11.5° C (Ortega-Ramírez *et al.*, 1998).

Bajo condiciones normales, el agua superficial (usualmente < 1 m de profundidad) se llega a extender temporalmente. El área inundada ha sido calculada de 158 km². El agua permanentemente estancada está situada en dos áreas pequeñas en la parte norte de la cuenca, sin embargo, las condiciones húmedas pueden causar extensas inundaciones (Urrutia-Fucugauchi *et al.*, 1997).

III. MATERIAL Y METODOLOGÍA

III.1 RECOLECTA DE MUESTRAS

En abril del 2009, se obtuvo un núcleo con longitud de 10 m con una perforadora por gravedad de marca Eijelkamp y un martillo mecánico de marca Cobra en la parte centro-oriental (29° 21' 48.6" N, 107° 48' 09.0" O, 2143 msnm) del paleolago Babícora, cuya ubicación se observa en la Figura 1. Las muestras se recolectaron en tubos transparentes de policarbonato de 4.5 cm de diámetro.

III.2 CORTE Y MUESTREO DE LA SECUENCIA SEDIMENTARIA

El núcleo fue dividido longitudinalmente en dos partes, de las cuales una fue dividida en secciones de 2 cm. Cada sección fue empaquetada en bolsas de plástico y rotulada individualmente para evitar la contaminación de dichas muestras. La segunda parte quedó como testigo y fue utilizada para la descripción estratigráfica. Las muestras fueron almacenadas en un refrigerador a 4°C en el laboratorio de Paleoambientes del Instituto de Geología de la UNAM.

En este trabajo sólo se estudiaron los primeros 500 cm del núcleo. Para el análisis de ostrácodos se seleccionaron muestras a intervalos de 10 cm, por ejemplo con las profundidades de 4-6 cm, 14-16 cm, y así sucesivamente hasta la muestra 494-496 cm, siendo en total 50 muestras.

Se seleccionaron 50 muestras de sedimento total para el análisis de carbono inorgánico total (CIT) y carbono orgánico total (COT), mediante un analizador de carbono (HiPer TOC) de marca Thermo Scientific en el laboratorio de Paleoambientes del Instituto de Geología. Las muestras fueron

elegidas en un intervalo de 10 cm, por ejemplo profundidad de 6-8 cm, 16-18 cm, sucesivamente hasta la muestra 496-498 cm.

III.3 PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS

III.3.1 Análisis de ostrácodos

Las 50 muestras seleccionadas para el análisis de ostrácodos fueron secadas en el horno durante un día a 50° C y posteriormente se registró el peso de cada muestra sin contenido de agua. Se dejaron remojando en crisoles pequeños de 2 a 3 días para disgregar el sedimento. El sedimento se lavó sobre dos tamices de 22 cm de diámetro, con una abertura de malla de 63 μm (malla no. 250) y 425 μm (malla no. 40) para eliminar el sedimento fino y recuperar las valvas de cualquier estadio. Los residuos se colocaron en crisoles y posteriormente en un horno a 50° C con el fin de eliminar el agua. Bajo un microscopio estereoscópico, se revisó el sedimento y se realizó la identificación y conteo de las especies con ayuda de las descripciones de Van Morkhoven (1963), Delorme (1971 a, b y e), Forester (1985) y Carreño (1990). Se separaron las valvas o caparazones de los individuos adultos de cada especie y se colocaron en placas tipo Plummer.

III.3.2 Análisis de carbono total, carbono orgánico (C_{org}) y carbono inorgánico (CO_3)

Se tomaron aproximadamente 3 g de las muestras seleccionadas para ser secadas a 50° C y molidas con un mortero manual de ágata hasta alcanzar un tamaño menor de 74 μm . Para el análisis se ocuparon casi 20 mg de muestra. La cantidad de carbono total fue analizada por la combustión de la muestra a 980 °C, mientras que el carbono inorgánico por medio de la acidificación de la muestra al 10% de ácido fosfórico (H_3PO_4), lo cual provocó la emisión del CO_2 con la reacción del ácido y los carbonatos presentes. El carbono orgánico se obtuvo mediante la diferencia de carbono total y carbono inorgánico. Los valores se expresan en porcentaje del peso.

III.3.3 Análisis de fechas de radiocarbono AMS

El control cronológico de la secuencia sedimentaria fue construido a través de 6 fechas de radiocarbono AMS en muestras total (bulk sediment) analizado en un laboratorio comercializado "BETA ANALYTIC Inc." en Miami, E.U.A. Las fechas (calendario) fueron calibradas mediante el programa CALIB 6.0 y la base de datos Intcal 09 (Stuiver y Reimer, 1993; Reimer *et al.*, 2009). En el resto de las muestras su fecha se determinó considerando una tasa de sedimentación constante entre dos fechas consecutivas.

IV. RESULTADOS

IV.1 ESTRATIGRAFÍA

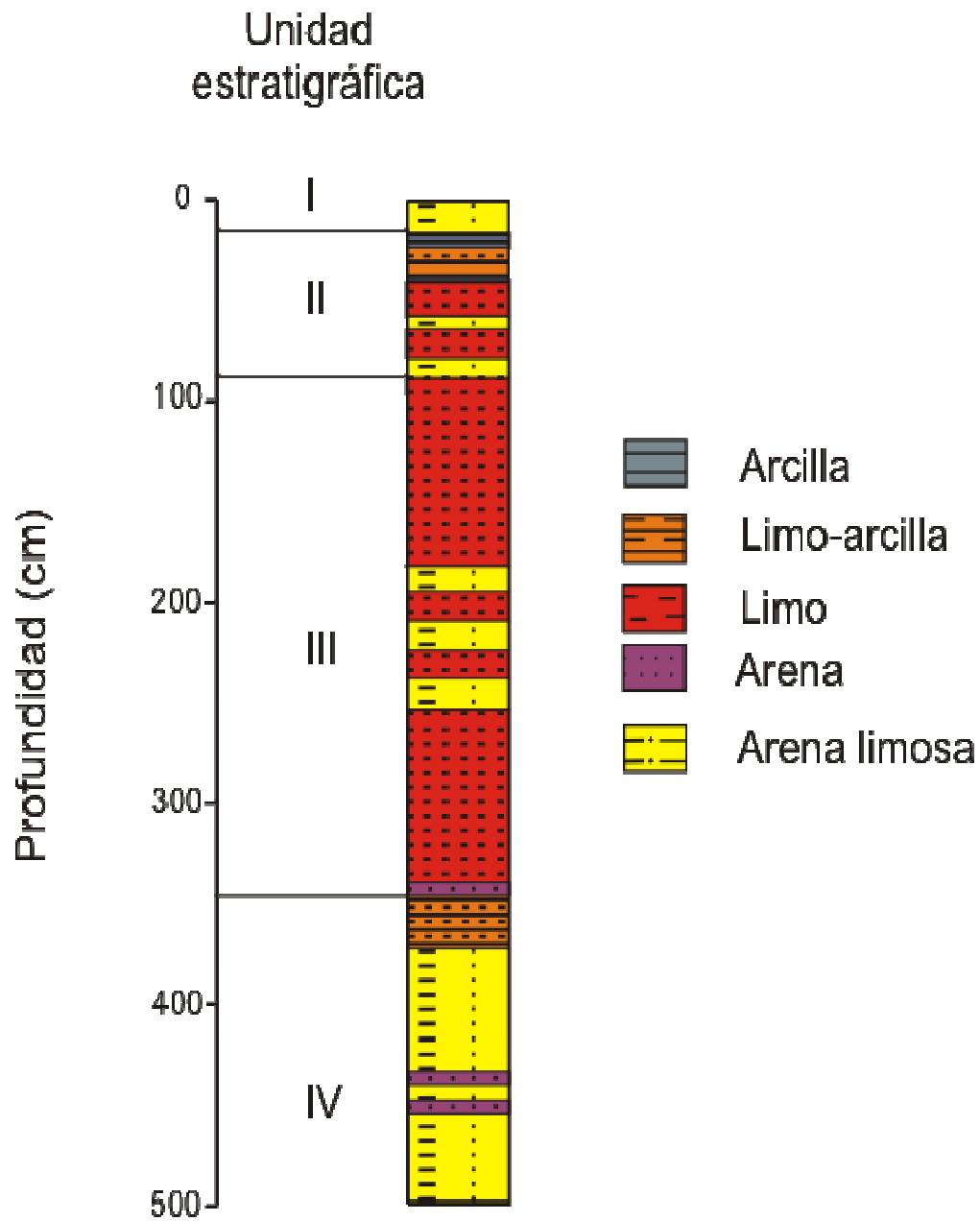
Los sedimentos a lo largo del núcleo GF, hasta los primeros 5 m, se pueden dividir en 4 unidades estratigráficas diferentes (Figura 2).

La unidad superior I (0-15 cm) consta de limo arenoso gris oscuro, contenido orgánico y raíces de plantas.

La unidad II (15-90 cm) consta de intercalaciones de arcilla limosa y arcilla (15-40 cm) e intercalaciones de limo y arena limosa (40-90 cm). La subunidad superior contiene grietas de disecación verticales rellenas con limo arenoso.

La unidad III (90-330 cm) consiste en limo predominante con arena limosa y se encuentra dividida en dos subunidades. La subunidad inferior (180cm a 330 cm) contiene intercalaciones de limos y arena limosa. La subunidad superior (90 cm a 180 cm) está finamente laminada de limos pardos.

La unidad IV (330-500 cm) se caracteriza por intercalaciones de arena limosa con tonalidades de gris oscuro a pardo oscuro y arena fina coronadas por arcilla limosa de tonalidad pardo verdoso. Las capas de arena limosa se presentan de 365-435 cm y 438-445 cm de profundidad, mientras que las capas de arena fina de 435-440 cm y 445-460 cm.



IV.2 CRONOLOGÍA Y MODELO DE EDAD

La muestra 16-18, correspondiente a la profundidad de 17 cm fue fechada con radiocarbono AMS de $1,400 \pm 40$ años A.P., mientras que su edad calibrada por el programa utilizado previamente mencionado es de 1,325 años A.P.

La muestra 36-38, correspondiente a la profundidad de 37 cm fue fechada con radiocarbono AMS de $3,610 \pm 40$ años A.P., mientras que su edad calibrada es de 3,955 años A.P.

La muestra 46-48, correspondiente a la profundidad de 47 cm fue fechada con radiocarbono AMS de $8,330 \pm 40$ años A.P., mientras que su edad calibrada es de 9,360 años A.P.

Con los resultados obtenidos de estas dos últimas muestras, se nota un salto repentino en las edades, de 3,955 años cal A.P. en la profundidad de 37 cm, a 9,360 años cal A.P. en la profundidad de 47 cm, lo que indica la presencia de un hiatus entre 4,000 y 8,000 años cal A.P.

La muestra 88-90, correspondiente a la profundidad de 89 cm fue fechada con radiocarbono AMS de $17,640 \pm 90$ años A.P., mientras que su edad calibrada es de 20,963 años A.P.

La muestra 272-274, correspondiente a la profundidad de 273 cm fue datada con edad de radiocarbono AMS de $28,960 \pm 230$ años A.P., mientras que su edad calibrada es de 33,718 años A.P.

La muestra 374-376, correspondiente a la profundidad de 273 cm fue fechada con radiocarbono AMS de $34,520 \pm 120$ años A.P., mientras que su edad calibrada es de 39,672 años A.P.

Para la calibración de las edades de los primeros 17 cm del perfil sedimentario se utilizó una tasa de sedimentación constante de 0.0128 cm/año, lo que significa que en 77.94 años se depositó 1 cm de sedimento. Para la calibración de la profundidad de 18 cm a 37 cm, la tasa de sedimentación

que se tomó fue de 0.0076 cm/año, tardando 131.5 años para la depositación de 1 cm de sedimento. En la profundidad de 38 cm a 47 cm la tasa tomada fue de 0.00185 cm/año, tardando así 540.5 años para la depositación de 1 cm de sedimento. Así mismo en la profundidad de 48 cm a 89 cm la tasa tomada fue de 0.0036 cm/año, tardando en 276.26 años la depositación de cada cm de sedimento. De la profundidad de 90 cm a 273 cm la tasa tomada fue de 0.014 cm/año, tardando 69.32 años para la depositación de cada cm de sedimento. De la profundidad de 274 cm a 500 cm la tasa de sedimentación tomada fue de 0.017 cm/año, tardando 58.37 años para la depositación de cada cm de sedimento.

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos del fechamiento con radiocarbono AMS de las 6 muestras, con el respectivo código que el laboratorio les asignó, así como las respectivas fechas calibradas y su ubicación se observa en la Figura 3.

Tabla 1. Fechas de radiocarbono AMS.

Muestra	Profundidad (cm)	Código del Laboratorio	Edad AMS ¹⁴C (A.P.)	Edad Calibrada (A.P)
16-18	17	Beta-277504	1,400±40	1,325
36-38	37	Beta-280151	3,610±40	3,955
46-48	47	Beta-283602	8,330±40	9,360
88-90	89	Beta-269217	17,640±90	20,963
272-274	273	Beta-269218	28,960±230	33,718
374-376	375	Beta-277505	34,520±120	39,672

IV.3 CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT) y CARBONO INORGÁNICO TOTAL (CIT)

Los valores de COT se muestran en la Figura 3 y varían en el intervalo de 0.28-4.39 %. Los valores más altos se encuentran en los primeros 40 cm de profundidad (0.7-2.8 %) y en el intervalo de 387-500 cm (1.5-4.39 %) del perfil sedimentario, mientras que en el intervalo de 40-387 cm los valores son medios (0.28-1.57 %).

La curva de COT indica los niveles de productividad del lago, encontrando así dos eventos de mayor productividad, el primero registrado ca. 2 mil años cal A.P. y el segundo ca. 42-44 mil años cal A.P.

Asimismo, los valores del CIT se muestran en la misma figura y varían entre 0.4 y 2.59 %. Los valores más altos se encuentran en los primeros 37 cm (0.66-2.59 %), en el intervalo 230-277 cm (0.66-1.67 %) y en el intervalo 427-461 cm (0.53-2.13 %). En el resto del perfil sedimentario, los valores se mantienen entre 0.4-1.15 %.

La curva de CIT indica la presencia de calcita autigénicamente precipitada, así como la calcita en las valvas de los ostrácodos. Es un reflejo indirecto de la abundancia total de las especies de ostrácodos, pudiéndose observar mayor abundancia y/o presencia de calcita (autigénica o biogénica) ca. 2 mil años cal A.P., 27 mil años cal A.P., 29 mil años cal A.P., 43 mil años cal A.P. y 44 mil años cal A.P.

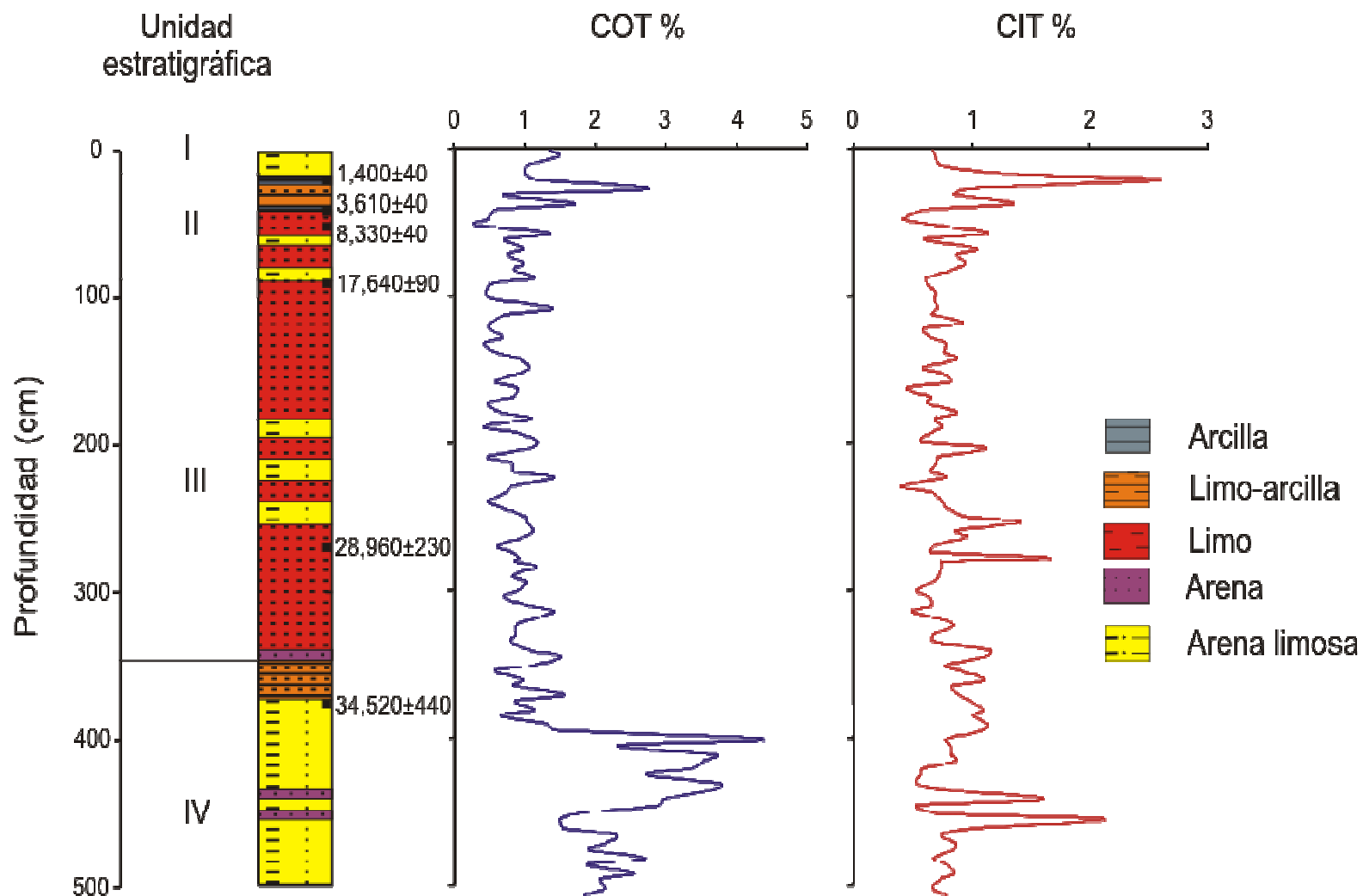


Figura 3. Columna estratigráfica con la ubicación de las 6 muestras fechadas mediante radiocarbono AMS, concentraciones de Carbono Orgánico Total (COT) y Carbono Inorgánico Total (CIT) en porcentaje.

IV.4 OSTRÁCODOS

IV.4.1 Especies

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 enlistan las especies de acuerdo con el arreglo propuesto por Delorme (1971 a, b y e), con una breve descripción, según 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. 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 patzcuaro Tressler, 1954

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).

Subclase OSTRACODA Latreille, 1806

Orden PODOCOPIDA Müller, 1894

Suborden PODOCOPINA Sars, 1866

Superfamilia CYPRIDACEA Baird, 1845

Familia CYPRIDIDAE Baird, 1845

Subfamilia CYPRIDOPSINAE Kaufmann, 1900

Género *Cypridopsis* Brady, 1868

Cypridopsis vidua (Müller, 1776) Brady, 1868

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 una amplia variedad 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).

Subclase OSTRACODA Latreille, 1806

Orden PODOCOPIDA Müller, 1894

Suborden PODOCOPINA Sars, 1866

Superfamilia CYTHERACEA Baird, 1850

Familia LIMNOCYTHERIDAE Klie, 1938

Género *Limnocythere* Brady, 1868

Limnocythere bradburyi Forester, 1985

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 (5-32°C). 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 va de 1000-100,000 ppm (Palacios-Fest *et al.*, 2002).

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).

Subclase OSTRACODA Latreille, 1806

Orden PODOCOPIDA Müller, 1894

Suborden PODOCOPINA Sars, 1866

Superfamilia CYTHERACEA Baird, 1850

Familia LIMNOCYTHERIDAE Klie, 1938

Género *Limnocythere* Brady, 1868

Limnocythere ceriotuberosa Delorme, 1967

Se encuentra en lagos moderadamente salinos (500-10000 ppm), con un intervalo de temperatura entre 4°C y 32°C, también se han encontrado en sedimentos glaciales y postglaciales. Lagos alcalinos ricos en Mg²⁺, ligeramente escasos en Ca²⁺ y dominados por Na⁺, Cl⁻ o SO₄²⁻ (Palacios-Fest *et al.*, 2002).

Subclase OSTRACODA Latreille, 1806

Orden PODOCOPIDA Müller, 1894

Suborden PODOCOPINA Sars, 1866

Superfamilia CYTHERACEA Baird, 1850

Familia LIMNOCYTHERIDAE Klie, 1938

Género *Limnocythere* Brady, 1868

Limnocythere platyforma Delorme, 1971

Vive en aguas con intervalo de temperatura entre 4°C y 15°C, su tolerancia de salinidad va de 100 a 1000 (ppm). Lagos alcalinos ricos en Mg²⁺, ligeramente escasos en Ca²⁺ y dominados por Na⁺, Cl⁻ o SO₄²⁻ (Palacios-Fest *et al.*, 2002).

LÁMINA I

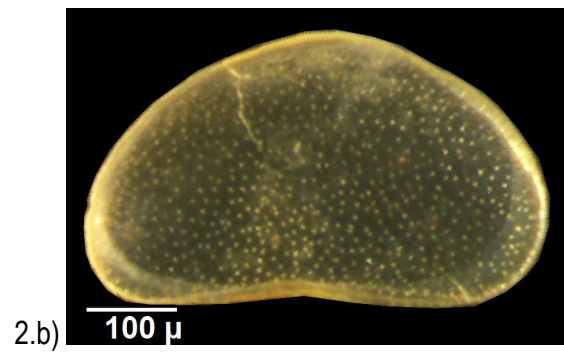
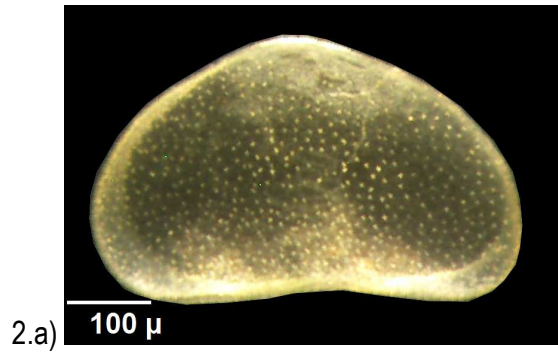
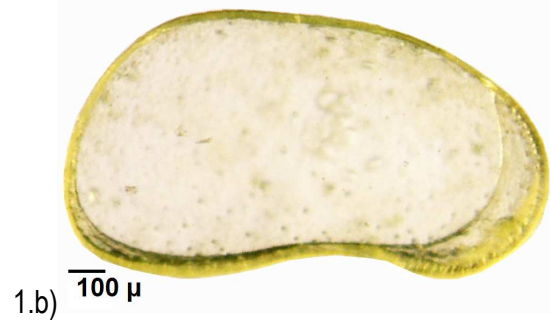
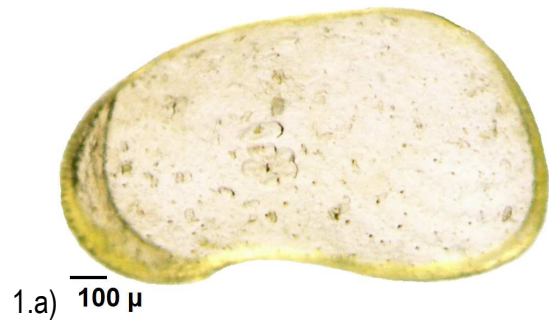


LÁMINA II

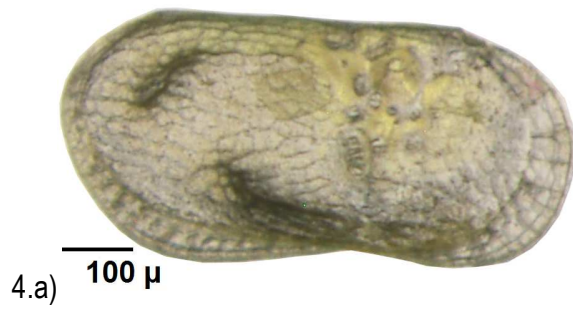


LÁMINA I

1. *Candona patzcuaro* Tressler, 1954.
 - a) Vista lateral externa, valva izquierda, hembra, 32X.
 - b) Vista lateral interna, valva izquierda, hembra, 32X.
 - c) Vista lateral externa, valva derecha, macho, 32X.
 - d) Vista lateral interna, valva derecha, macho, 32X.
2. *Cypridopsis vidua* (Müller, 1776) Brady, 1868.
 - a) Vista lateral externa, valva izquierda., 63X.
 - b) Vista lateral interna, valva izquierda, 63X.
3. *Limnocythere bradburyi* Forester, 1985.
 - a) Vista lateral externa, valva izquierda, hembra, 50X.
 - b) Vista lateral interna, valva izquierda, hembra, 50X.

LÁMINA II

4. *Limnocythere ceriotuberosa* Delorme, 1967.
 - a) Vista lateral externa, valva derecha, hembra, 50X.
 - b) Vista lateral interna, valva derecha, hembra, 50X
5. *Limnocythere platyforma* Delorme, 1971.
 - a) Vista lateral externa, valva derecha, hembra, 63X.
 - b) Vista lateral interna, valva derecha, hembra, 63X.
 - c) Vista dorsal, valva derecha, hembra, 63X.

IV.4.2 Abundancia de las especies

La abundancia total de los ostrácodos encontrados en el perfil sedimentario varía entre 2 y 1441 valvas/g (Figura 4). Los primeros 44 cm carecen de preservación de ostrácodos (la abundancia es nula). En el intervalo entre 45-225 cm de profundidad, la abundancia registrada es baja (2-400 valvas/g) y en el intervalo de 226-500 cm la abundancia registrada es alta (45-1441 valvas/g).

En la Figura 5 se observa la abundancia de cada especie, siendo *Candona patzcuaro* la más abundante a lo largo del perfil sedimentario con un intervalo entre 2-890 valvas/g, registrándose menor abundancia en las profundidades: 105 cm (ca. 22 cal ka A.P.) con 23% (7 valvas/g) de abundancia, 175-195 cm (27-28 cal ka A.P.) y 445 cm (43 cal ka A.P.) con 40% (29 valvas/g) y 275-285 cm (34-35 cal ka A.P.) con 43% (196 valvas/g).

Limnocythere platyforma es la segunda especie en mayor abundancia con un intervalo entre 0-470 valvas/g. No se registraron ostrácodos de esta especie en las profundidades: 115 cm (22 cal ka A.P.), 145 cm (25 cal ka A.P.), 175-185 cm (27-28 cal ka A.P.), 225-235 cm (31 cal ka A.P.) y 255 cm (33 cal ka A.P.). Los valores más altos se registraron en 245 cm (32 cal ka A.P.) con 33% (471 valvas/g), 285 cm (35 cal ka A.P.) con 28% (285 valvas/g), 365 cm (39 cal ka A.P.) con (174 valvas/g), 385 cm (40 cal ka A.P.) con 22% (145 valvas/g), 445 cm (44 cal ka A.P.) con 38 % (133 valvas/g).

Cypridopsis vidua se encuentra en un intervalo entre 0-261 valvas/g ocupando el tercer lugar de abundancia. No se registraron ostrácodos de esta especie en las profundidades de 145 cm (25 cal ka A.P.), 175 cm (27 cal ka A.P.), 215 cm (30 cal ka A.P.) y 245 cm (32 cal ka A.P.). Los valores más altos se registraron en 65 cm (14 cal ka A.P.) con 17% de abundancia (9 valvas/g), 75 cm (17 cal ka A.P.) con 15% (5 valvas/g), 115 cm (23 cal ka A.P.) con 33% (16 valvas/g), 195 cm (29 cal ka A.P.) con 24% (21 valvas/g), 395 cm (41 cal ka A.P.) con 17% (48 valvas/g), 445 cm (44 cal ka A.P.) con 20% (69 valvas/g) y 465 cm (45 cal ka A.P.) con 36% (3 valvas/g).

Limnocythere bradburyi ocupa el penúltimo lugar de abundancia con un intervalo entre 0-207 valvas/g. No se registraron ostrácodos de esta especie en las profundidades de 115-165 cm (23-26 cal ka A.P.), 205-225 cm (29-31 cal ka A.P.), 245 cm (32 cal ka A.P.) y 445-475 cm (44-45 cal ka A.P.). Los valores más altos se registraron en: 75 cm (17 cal ka A.P.) con 30% de abundancia (9 valvas/g), 175 cm (27 cal ka A.P.) con 60% (43 valvas/g) y 185 cm (28 cal ka A.P.) con 51% (95 valvas/g).

Finalmente *Limnocythere ceriotuberosa* se encuentra entre el intervalo de 0-84 valvas/g. No se registraron ostrácodos de esta especie en las profundidades: 75 cm (17 cal ka A.P.), 145 cm (25 cal ka A.P.), 165-185 cm (26-28 cal ka A.P.), 265-305 cm (34-35 cal ka A.P.), 375 cm (40 cal ka A.P.) y 445-465 cm (44-45 cal ka A.P.). Los valores más altos se registraron en 85 cm (20 cal ka A.P.) con 15% de abundancia (5 valvas/g), 95 cm (21 cal ka A.P.) con 22% (43 valvas/g), 105 cm (22 cal ka A.P.) con 44% (13 valvas/g), 115 cm (23 cal ka A.P.) con 27% (13 valvas/g), 195 cm (29 cal ka A.P.) con 18% (16 valvas/g) y 315 cm (37 cal ka A.P.) con 14% (7 valvas/g).

Las especies *C. vidua*, *L. bradburyi* y *L. ceriotuberosa* se encuentran con mayor abundancia en la profundidad de 45-225 cm (12-32 cal ka A.P.) del perfil sedimentario, mientras que la mayor abundancia de *L. platyforma* se registra entre los 265-500 cm (32-45 cal ka A.P.) (Figura 5).

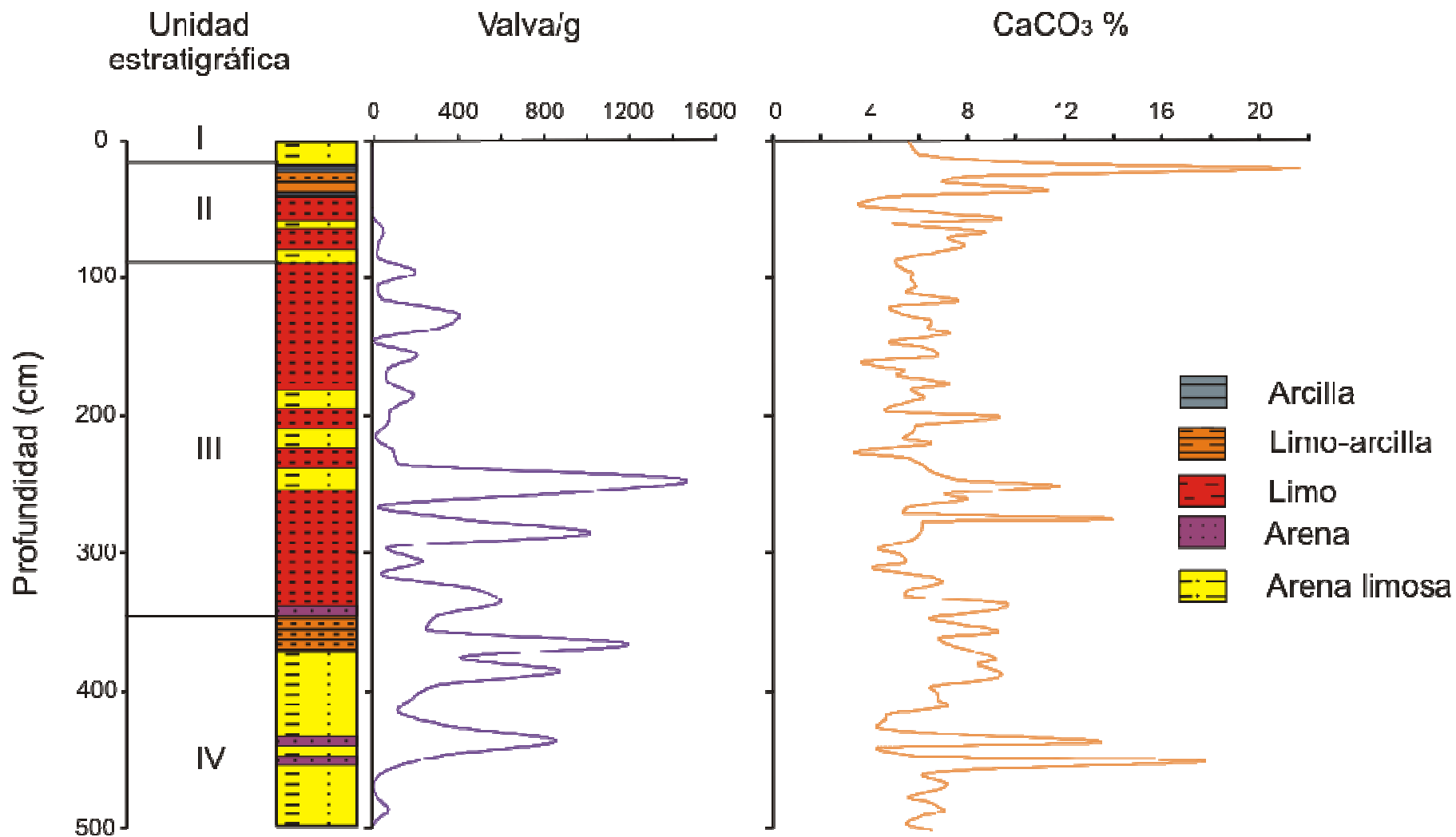


Figura 4. Columna estratigráfica de la secuencia sedimentaria, abundancia total de ostrácodos (valva/g) y abundancia de carbonato de calcio (CaCO₃) calculado de CIT en %.

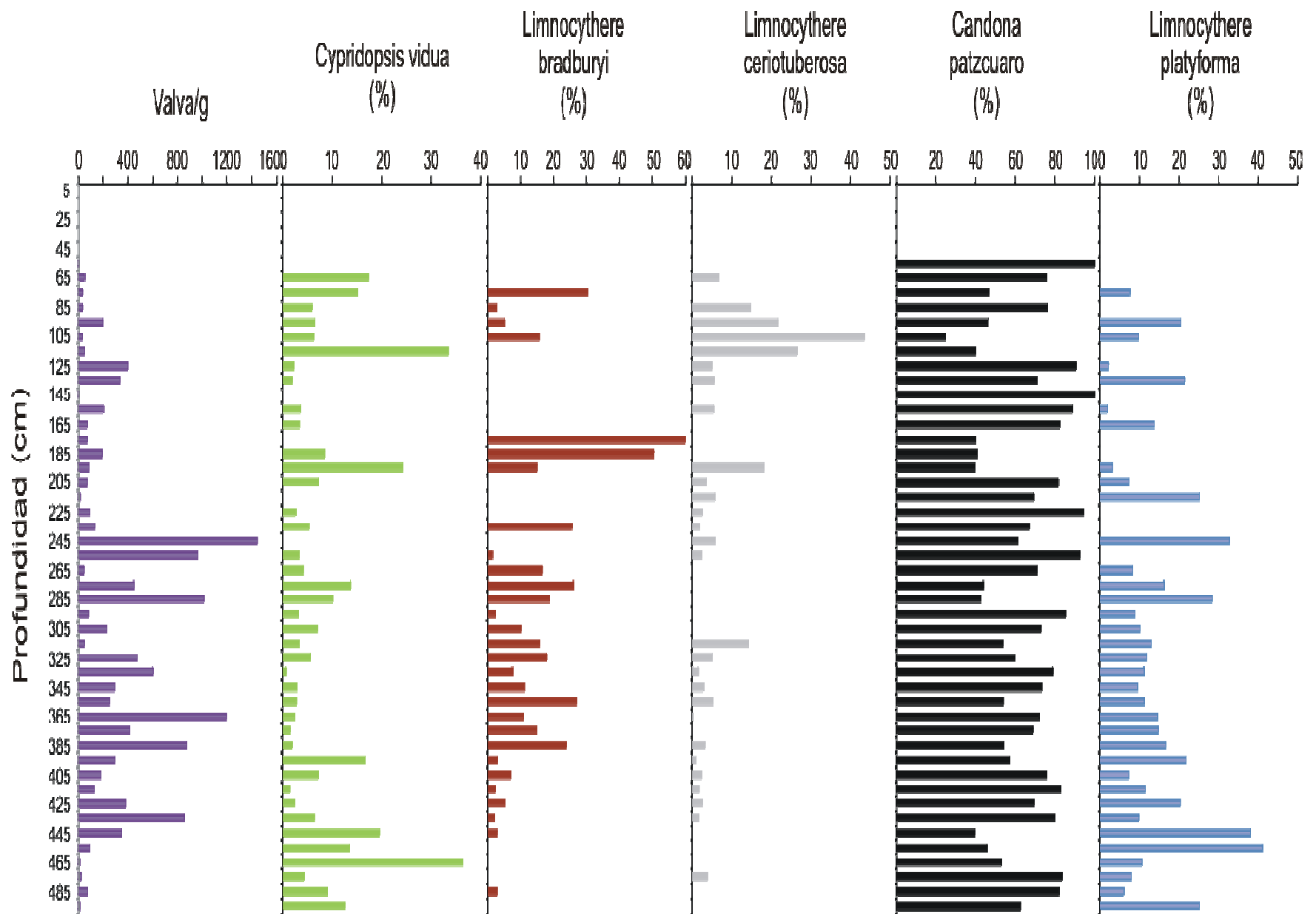


Figura 5. Abundancia total de ostrácodos (valva/g) y de las especies (en %) encontradas en el perfil sedimentario.

V. DISCUSIÓN

Para la reconstrucción paleoambiental, se dividió el perfil en 3 diferentes zonas (Figura 6) considerando la abundancia total de ostrácodos y la abundancia por especie. Los resultados se comparan también con el Índice de Alteración Química (IAQ) (Roy *et al.*, 2010), medida cuantitativa de la meteorización que afecta la geoquímica de los elementos mayores y la mineralogía de los elementos siliciclásticos (Nesbitt y Young, 1982; Johnsson *et al.*, 1988; McLennan, 1993). Altos valores de IAQ reflejan la liberación de los cationes lábiles (por ejemplo: Ca^{2+} , Na^+ , K^+) en relación a los componentes insolubles y residuales (Al^{3+} , Ti^{4+}) durante la meteorización (Nesbitt y Young, 1982). Por el contrario, valores bajos de IAQ indican la ausencia casi total de alteración química y en consecuencia podría reflejar condiciones frías y/o áridas. Los datos de IAQ del perfil sedimentario (Roy *et al.*, 2010) fueron calculados mediante la siguiente ecuación: $[\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] \times 100$ (Nesbitt y Young, 1982). El valor de IAQ cerca de 50 significa ausencia de alteración química, valores entre 50-60 es alteración química baja, 60-80 es intermedia y más de 80 es altamente alterado.

Zona 1: Esta zona abarca el periodo de los últimos 12 cal ka A.P. (primeros 44 cm de profundidad). Esta zona se caracteriza por la ausencia de preservación de ostrácodos y altos valores de CaCO_3 calculados por el CIT los cuales indican presencia de calcita autigénicamente precipitada (Figura 4). Los valores bajos (54-58) el IAQ (Figura 6) indican al menos dos eventos secos con alta salinidad durante ca. 2 cal ka A.P. (profundidad de 21 cm) y ca. 4 cal ka A.P. (profundidad de 37 cm). La presencia de un hiatus en la sedimentación (ausencia de sedimentos) en el periodo de ca. 4-8 cal ka A.P. sugiere posible actividad eólica alrededor de los 4 cal ka A.P. lo cual pudo causar la erosión de los sedimentos depositados entre ca. 4-8 cal ka AP.

Zona 2: Esta zona abarca el periodo de 12-32 cal ka A.P. (45-225 cm de profundidad). Los valores de COT se mantienen en el intervalo de 0.28-1.4%, señalando una productividad media del lago media. La abundancia total de ostrácodos es baja (2-400 valvas/g), mientras que la abundancia de las especies *C. vidua*, *L. bradburyi* y *L. ceriotuberosa* es alta con relación a *L. platyforma*. Dado que *C. patzcuaro* es la especie más abundante no se tomó en cuenta para la interpretación. Las tres primeras especies son de salinidad alta (1,000-10,000 ppm, 13-32 °C). Los valores del IAQ se mantienen en el intervalo de 59-64, lo cual indica un grado de alteración intermedio de los sedimentos. Todos estos resultados sugieren que la Zona 2 fue un periodo relativamente más húmedo que la Zona 1 con una alta tasa de evaporación y salinidad que pudo permitir el dominio de las especies *C. vidua*, *L. bradburyi* y *L. ceriotuberosa* principalmente durante 14-17 cal ka A.P. (65-75 cm), 20-23 cal ka A.P. (85-115 cm) y 26-30 cal ka A.P. (165-205 cm).

Zona 3: Abarca el periodo de 32-45 cal ka A.P. (226-500 cm de profundidad). Los valores de COT son altos (0.6-4.0%) indicando una mayor productividad en el lago. El IAQ se encuentra en un intervalo de 49-80. La abundancia total de ostrácodos es alta (45-1441 valvas/g), mientras que la abundancia de las especies *C. vidua*, *L. bradburyi* y *L. ceriotuberosa* disminuye, la abundancia de *L. platyforma* aumenta, siendo esta última la especie encontrada con menor tolerancia de salinidad (100-1,000 ppm) y temperatura (4-15 °C). Todos estos resultados sugieren un periodo mucho más húmedo-frío con mayor aporte de flujo de agua a la cuenca y aporte de materia orgánica de los alrededores. Durante 40-45 cal ka A.P. (385-485 cm), se tiene mayor abundancia de *C. vidua* y *L. platyforma*, lo que sugiere junto con el IAQ que marca valores de 49, el periodo más frío (13-15°C), con condiciones húmedas y de baja salinidad (100-500 ppm) en el registro del perfil sedimentario.

V.1 COMPARACIÓN CON OTROS ARCHIVOS DE PALEOAMBIENTE GENERADOS DE BABÍCORÁ

Para la interpretación de las 3 diferentes zonas identificadas en este trabajo, se compara con los registros de ostrácodos, polen y diatomeas previamente generados en esta laguna (Palacios-Fest *et al.*, 2002; Metcalfe *et al.*, 2002). Los registros de ostrácodos por Palacios-Fest *et al.* (2002)

abarcan los últimos $28,465 \pm 268$ ^{14}C años A.P. (32.7 cal ka A.P.- presente). Considerando la abundancia de diferentes especies e índice de paleosalinidad y temperatura, se dividieron en 2 diferentes zonas. La primera abarca entre $28,465 \pm 268$ y $10,976 \pm 115$ ^{14}C años A.P. (32.7-12.9 cal ka A.P.) y la segunda los últimos $10,976 \pm 115$ años ^{14}C A.P. (últimos 12.9 cal ka A.P.). La primera zona de Palacios-Fest *et al.* (2002) es comparable con la Zona 2 de este trabajo y la segunda zona abarca el mismo intervalo de tiempo que la Zona 1 de este trabajo.

Para 32.7-12.9 cal ka AP, Palacios-Fest *et al.* (2002) sugieren condiciones moderadas de salinidad con temperaturas bajas (5.6-9.1 °C) en la parte sur de la cuenca, mientras que hacia la parte central, el agua se convirtió gradualmente más salina con temperaturas entre 7.6 y 9.9 °C, así como hacia el oeste con tolerancia baja a media salinidad. Durante el periodo justo antes del máximo glacial [$24,470 \pm 765$ a $16,342 \pm 200$ ^{14}C años A.P. (29.3-19.5 cal ka A.P.)] sugieren una humedad atmosférica efectiva alta, con aumento de condiciones frías/húmedas. Para el periodo de $16,342 \pm 200$ a $10,976 \pm 115$ ^{14}C años A.P. (19.5-12.9 cal ka A.P.) en la parte central del paleolago las condiciones de salinidad descienden ligeramente mientras que la temperatura del agua aumenta a cerca de 7.7-9.3 °C. Estos resultados no concuerdan con los resultados de la Zona 2 propuestos en este trabajo ya que se registra mayor abundancia de las especies de ostrácodos (*C. vidua*, *L. bradburyi* y *L. ceriotuberosa*) con temperaturas de hasta 32° C.

En los últimos 12.9 cal ka A.P., Palacios-Fest *et al.* (2002) interpretan condiciones de fluctuación con base en la química de las conchas de ostrácodos. Durante el Pleistoceno Tardío y principios del Holoceno (últimos 12 cal ka A.P.), el lago se redujo considerablemente. Con la disminución del nivel del lago, la zona occidental se convirtió en lacustre mientras que en la parte sur se acumularon depósitos palustres y de agua estancada. En la parte central se registra un aumento de temperatura de 8.2-21.3°C. Durante el Holoceno Medio (9-4 cal ka A.P.) la humedad efectiva disminuyó significativamente, la temperatura del agua llegó a los 21.3°C. Durante el Holoceno Tardío (en los últimos 5 cal ka A.P.), la química de ostrácodos muestra una disminución aguda de la temperatura a ca. 8.2°C. El aumento de la humedad efectiva a baja temperatura, probablemente es resultado de inviernos fríos alrededor del paleo-lago [entre 4346 ± 105 ^{14}C años A.P. y $1,300 \pm 65$ ^{14}C años A.P. (5-1.2 cal ka A.P.)].

Los archivos de polen y diatomeas de Metcalfe *et al.* (2002) abarcan los últimos 65 ka e indican un aumento en la concentración del agua por evaporación y condiciones de alta energía, probablemente desecación periódica y/o deflación durante 54.6-38.5 ka. Este periodo también está marcado por periodos de agua bastante profunda. Posteriormente se estableció un lago profundo, bajo en sales. Este periodo se compara con la Zona 3 de este trabajo (32-45 cal ka AP).

Durante 29-10.5 cal ka A.P., las diatomeas indican un lago más turbio. El registro de polen indica un cambio hacia condiciones más frías y secas, los pastizales prácticamente desaparecen. Durante este periodo se registran fuertes variaciones de susceptibilidad magnética. Cerca de los 21 cal ka A.P. registraron inestabilidad de captación en el lago, alrededor de los 15 cal ka A.P. presentaron cambios a aguas menos profundas y más salinas. La ausencia de polen indica mayor oxidación. Este periodo es comparable a la Zona 2 de este trabajo (12-32 cal ka AP).

En los últimos 10.5 cal ka A.P., Metcalfe *et al.* (2002) registran ausencia en la preservación de diatomeas y polen. Este periodo es comparable a la Zona 1 de este trabajo. Ellos sugieren menor disponibilidad de humedad y periodos de desecación durante este periodo y reportan un alto porcentaje de calcita (40-50%) indicativo del aumento de evaporación y una posible interrupción en el depósito de sedimentos durante el Holoceno Medio.

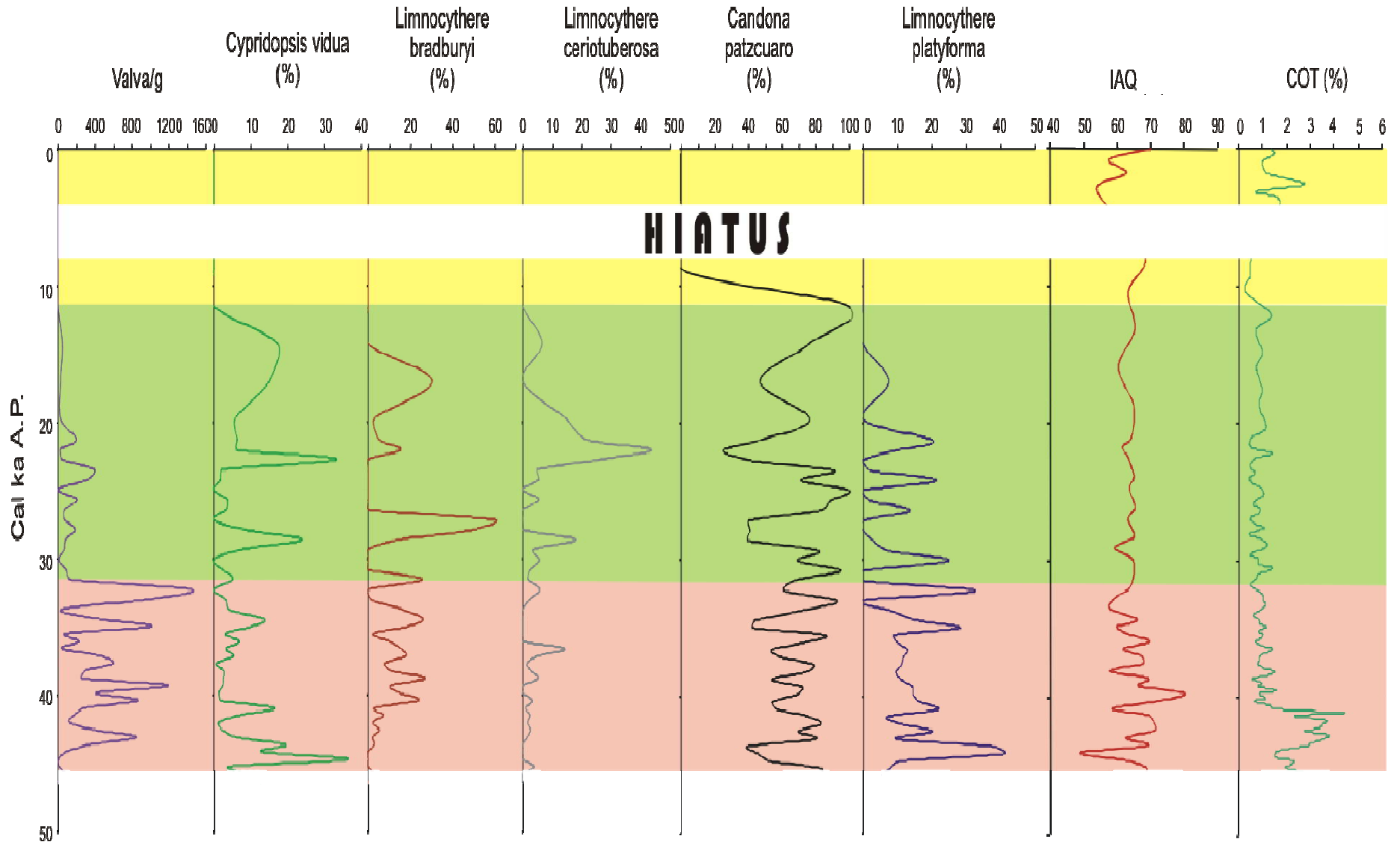


Figura 6. Abundancia total de ostrácodos (valvas/g) y ostrácodos por especie (%), Índice de Alteración Química (IAQ), Carbono Orgánico Total (COT). Zona 1 (color amarillo), Zona 2 (color verde), Zona 3 (color rosa).

VI. CONCLUSIONES

- ✓ En los sedimentos de los primeros 496 cm del paleo-lago Babícora se identificaron 5 especies de ostrácodos: *Candona patzcuaro* Tressler (2-890 valvas/g), *Cypridopsis vidua* Brady (0-261 valvas/g), *Limnocythere bradburyi* Forester (0-207 valvas/g), *Limnocythere ceriotuberosa* Delorme (0-84 valvas/g) y *Limnocythere platyforma* Delorme (0-470 valvas/g).
- ✓ A partir del estudio de las afinidades ecológicas, como salinidad y temperatura, de las especies encontradas, fue posible reconstruir las condiciones climáticas de los últimos ca. 45 cal ka A.P. en la región de Babícora, ubicada en la parte occidental del desierto de Chihuahua, México.
- ✓ Durante el periodo de 45-32 cal ka A.P. (Zona 3) se encontraron condiciones húmedas, frías (13-15 °C) y con salinidad entre 100-500 ppm, lo que indica que en este periodo hubo más aporte de agua a la cuenca.
- ✓ Posteriormente en el periodo de 32-12 cal ka A.P. (Zona 2) se registraron condiciones cálidas con alta tasa de evaporación (13-32° C) y salinidad (1,000-10,000 ppm).
- ✓ Mientras que en los últimos 12 cal ka A.P. (Zona 1) se registraron dos eventos secos con alta salinidad. El primer evento fue identificado en ca. 4 cal ka A.P. y el segundo evento está registrado en los sedimentos depositados durante ca. 2 cal ka A.P. Así mismo, se identifica actividad eólica alrededor de los 4 cal ka A.P., lo cual pudo causar la erosión de los sedimentos depositados entre ca. 4-8 cal ka AP.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CITADAS

- Allen, B. D. y Anderson R. Y. (1993). Evidence from Westem 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.
- Baird, W. (1845). Arrangement of the British Entomostraca, with a list of species, particularly noticing those which have as yet been discovered within the bounds of the Club. En: *Hist. Berwicksh. Nat. Club* 2:145-158.
- Boomer, I., Home, D. J. y Slipper, I. J. (2003). The use of ostracods in palaeoenvironmental studies, or what can you do with an ostracod shell? En: Park, E. L. yA. J. Smith (eds.). *Bridging the gap. Trends in the Ostracode Biological and Geological Sciences. Paleontological Society Papers*. 9: 153-179.
- Bradbury, J. P. (1971). Paleolimnology of Lake Texcoco, México. Evidence from diatoms. En: *Limnology and Oceanography*. 16: 180-200.
- Bradbury, J. P. (1997a). Sources of glacial moisture in Mesoamerica. En: *Quaternary International*. 43(44): 97-110.
- Bradbury, J. P. (1997b). A diatom record of climate and hydrology for the past 200 KA from Owens Lake, California with comparison to other Great Basin lakes. En: *Quaternary Science Reviews*. 16: 203-291.

- Bradbury, J. P. (2000). Limnologic history of Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México for the past 48,000 years: Impacts of climate and man. En: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 163: 69-95.
- Bradbury, J. P., Grosjean, M. A., González, S., Stine, S., y Sylvestre, F. (2000). Full- and late-glacial lake records along the PEP1 transect: Their role in developing interhemispheric paleoclimate interactions. En: *Interhemispheric Climate Linkages* (V. Markgraf, Ed.), pp. 265-289. Academic Press, San Diego.
- Bradley, R. S. (1999). *Paleoclimatology. Reconstructing Climates of the Quaternary*, 2nd ed. International Geophysics Series, Volume 64. San Diego, London, Boston, New York, Sydney, Tokyo, Toronto: Academic Press.
- Bradley, R. S. y Eddy, J. A. (1991). Records of past global changes. En: *Global Changes of the Past* (ed. R.S. Bradley) University Corporation for Atmospheric Research, Boulder. pp. 5-9.
- Brady, G. S. (1868). A synopsis of the Recent British Ostracoda. En: *Intell. Obser.* 12: 110-130.
- Caballero-Miranda, M. E., y Ortega-Guerrero, B. (1998). Lake levels since about 40,000 years ago at Lake Chalco, near México City. En: *Quaternary Research*. 50: 69-79.
- Caballero-Miranda, M. E., Lozano, S., Ortega, B., Urrutia, J., y Macías, J. L. (1999). Environmental characteristics of Lake Tecocomulco, northern basin of México, for the last 50,000 years. En: *Journal of Paleolimnology*. 22: 399-411.
- Carreño, A. L. (1990). Ostrácodos lacustres del paleolago de Texcoco. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*. 3(1): 117-135.
- Chivas, A. R., De Deckker, P. y Shelley, J. M. G. (1983). Magnesium, strontium and barium partitioning in nonmanne 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., De Deckker, P. y Shelley, J. M. G. (1985). Strontium content of ostracods indicates lacustrine palaeosalinity. En: *Nature*. 316: 251-253.

- Chivas, A. R., De Deckker, P. y Shelley, J. M. G. (1986a). Magnesium content of nonmarine ostracode shells: A new palaeosalinometer and palaeothermometer. En: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 54: 43-61.
- Chivas, A. R., De Deckker, P. y Shelley, J. M. G. (1986b). Magnesium and strontium in non-marine ostracod shells as indicators of palaeosalinity and palaeotemperature. En: *Hydrobiologia*. 143: 135-142.
- Clement, A. C., Seager, R. y Caneo, M. A. (2000). Suppression of El Niño during the mid-Holocene by changes in the Earth's orbit. En: *Paleoceanography*. 15(6): 731-737.
- Curry, B. (1999). An environmental tolerance index for ostracods as indicators of physical and chemical factors in aquatic habitats. En: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 148: 51-63.
- Danielopol, D. L., Ito, E., Wansard, G., Kamiya, T., Cronin, T. M., y Baltanás, A. (2002). Techniques for Collection and Study of Ostracoda. En: J. A. Holmes, A. R. Chivas (Eds.). *The Ostracoda: Applications in Quaternary Research*. Washington DC: The American Geophysical Union. pp. 65-97.
- Davis, O. K. (1984). Multiple Thermal Maxima During Holocene. *Science*. 225: 617-619.
- Delorme, D. L. (1967). New freshwater Ostracoda from Saskatchewan, Canada. En: *Canadian Journal of Zoology*. 46(5): 859-876.
- Delorme, D. L. (1971a). Freshwater ostracodes of Canada. Part 11. Subfamily Cypridopsinae and Herpetocypridinae, and family Cyclocyprididae. En: *Canadian Journal of Zoology*. 48: 253-266.
- Delorme, D. L. (1971b). Freshwater ostracodes of Canada. Part 111. Family Candonidae. En: *Canadian Journal of Zoology*. 48: 1099-1127.
- Delorme, D. L. (1971c). Freshwater ostracodes of Canada. Part V. Families Limnocytheridae, Loxoconchidae. En: *Canadian Journal of Zoology*. 49: 43-64.

- Delorme, D. L. (1989). Methods in Quaternary ecology #7: Freshwater ostracodes. En: 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 Forester, R. M. (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.
- Engstrom, D. R. y Nelson, S. R. (1991). Paleosalinity from trace metals in fossil ostracodes compared with observational records at Devils Lake, North Dakota, USA. En: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 83: 295-312.
- Forester, R. M. (1983). Relationship of two lacustrine ostracode species to solute composition and salinity: Implications for paleohydrochemistry. En: Geology. 11: 435-438.
- Forester, R. M. (1985). *Limnocythere bradburyi* n. sp; a modern ostracode from Central México and possible Quaternary paleoclimatic indicator. En: 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. En: Memories of the Entomological Society of Canada. 155: 181-201.
- Hartmann, G. y Puri, H. S. (1974). Summary of neontological and paleontological classification of Ostracoda. En: Mitteilungen aus dem Hamburgischen Zoologischen Museum und Institut. 70: 7-73.

- Hawley, J. W. (1969). Notes on the geomorphology and Late Cenozoic geology of northwestern Chihuahua. En: Guidebook of the Border Region, Chihuahua and the United States. 20: 132-138.
- Holmes, J. P. (1992). Nonmarine ostracodes as Quaternary paleoenvironmental indicators. En: 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.
- Johnsson, M. J., Stallard, R. F. y Meade, R. H. (1988). First-cycle quartz arenites in the Orinoco River basin, Venezuela and Colombia. En: Journal of Geology. 96: 263-277.
- Kaufmann, A. (1900). Cypriden und Darwinuliden der Schweiz. En: Revue Suisse de Zoologie. 8: 209-423.
- Latreille, P. A. (1806). Genera crustaceorum et insectorum secundum ordinem naturalem in familias disposita, iconibus exemplisque plurimis explicata. Parisiis: A. Koenig.
- Lozano-García, M. S., Ortega-Guerrero, B., Caballero-Miranda, M., y Urrutia-Fucuguachi, J., 1993. Late Pleistocene and Holocene paleoenvironments of Chalco Lake, central México. En: Quaternary Research 40: 332-342.
- Maddocks, R. F. (1982). Ostracoda. En Hessler, R. R., Marcotte, B. M., Newman, W. A. y Maddocks, R. F., editoriales, Evolution within the Crustacea. En Abele, L. G., editorial, Biology of the Crustacea, Volume 1. Systematics, the fossil record and biogeography, New York: Academic Press. pp. 221-39.
- McLennan, S. M. (1993). Weathering and global denudation. En: Journal of Geology. 101: 295-303.
- Menking, K. M. y Anderson, R. Y. (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.

- Metcalfe, S. E., O'Hara, S. L., Caballero M. y Davies S. J. (2000). Records of Late Pleistocene-Holocene climatic change in México - a review. En: *Quaternary Science Reviews*. 19: 699-721.
- Metcalfe, S. E., Bimpson, A., Courtice, A. J., O'Hara, S. L. y Taylor, D. M. (1997). Climate Change at the monsoon/Westerly boundary in Northern Mexico. En: *Journal of Paleolimnology*. 17: 155-171.
- Metcalfe, S. E., Say, A., Black, S., McCulloch, R. y O'Hara, S. (2002). Wet conditions during the Last Glaciation in the Chihuahuan Desert, Alta Babicora Basin, México. En: *Quaternary Research*. 57: 91-101.
- Meyer, E. R. (1973). Late Quaternary paleoecology of the Cuatro Ciénegas basin, Coahuila, Mexico. En: *Ecology*. 54: 982-995.
- Moore, R. C. (1961). Treatise on invertebrate paleontology, part Q, Arthropoda 3, Crustacea – Ostracoda. En: Geological Society of America and University of Kansas Press.
- Müller, G. W. (1894). Die ostracoden des Golfes von Neapel und der angrenzenden Meeres-Abschnitte. En: *Fauna Flora des Golfes Neapel, Monograph*. 21: 404.
- Müller, O. F. (1776). *Zoologie Danicae prodromus, seu animalium Daniae et Norvegiae indigenarum, characteres, nomina, et synonyma imprimis popularium*. En: *Haveniae, Typis Hallageriis*. pp. 198-199.
- Nesbitt, H. W. y Young, G. M. (1982). Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutitas. En: *Nature*. 299: 715-717.
- Nordt, L. (2003). Late Quaternary fluvial landscape evolution in desert grasslands of northern Chihuahua, México. En: *GSA Bulletin*. 115(5): 596-606.
- Ortega-Ramirez, J. R. 1995. Los paleoambientes holocénicos de la Laguna de Babicora, Chihuahua, México. En: *Geofísica Internacional*. 34(1): 107-116.

- Ortega-Ramírez, J. R., Urrutia-Fucugauchi, J. y Valiente-Banuet, A. (2000). The Laguna de Babícora 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., Urrutia-Fucugauchi, J. y Valiente-Banuet, A. y Mortera-Gutiérrez, C. (1998). Paleoclimatic Changes during the late Pleistocene-Holocene in Laguna Babícora, near the Chihuahuan Oesert, México. En: 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. En: 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. En: GEOS. 16(3): 130-136.
- Palacios-Fest, M. R. y Dettman, D. L. (2001). Temperature controls monthly variation in Ostracode valve Mg/Ca: *Cypridopsis vidua* from a small lake in Sonora, México. En: Geochimica et Cosmochimica Acta. 65(15): 2499-2507.
- Palacios-Fest, M. R., Cohen, A. S. y Anadón, P. (1994). Use of ostracodes as paleoenvironmental tools in the interpretation of ancient lacustrine records. En: Revista Española de Paleontología. 9(2): 145-164.
- Palacios-Fest, M. R., Carreño, A. L., Ortega-Ramírez, J. R. y Alvarado-Valdéz, G. (2002). A paleoenvironmental reconstruction of Laguna Babícora, Chihuahua, México, based on ostracode paleoecology and trace element shell chemistry. En: Journal of Paleolimnology. 27: 185-206.
- Palacios-Fest, M. R., Cohen, A. S., Ruíz, J. y Blank, B. (1993). Comparative paleoclimatic interpretations from nonmarine ostracodes using faunal assemblages, trace elements shell chemistry and stable isotope data. En: Geophysical Monograph. 78: 179-190.

- Reimer, P. J., Baillie, M. G., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P.G., Bronk-Ramsey, C., Buck, C. E., Burr, G. S., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hajdas, I., Heaton, T. J., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kaiser, K. F., Kromer, B., McCormac, F. G., Manning, S. W., Reimer, R. W., Richards, D. A., Southon, J. R., Talamo, S., Turney, C. S. M., Van der Plicht, J. y Weyhenmeyer, C. E. (2009). IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP. En: *Radiocarbon*. 51(4): 1111–50.
- Reyes-Torres, A. y Vázquez-Rodríguez, S. D. (2003). Determinación taxonómica y geoquímica de la concha de los ostrácodos fósiles pertenecientes al Plioceno presentes en Sanctorem Hidalgo, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores, Zaragoza, UNAM. Distrito Federal.
- Roy, P. D., Caballero, M., Lozano, R. y Smykatz-Kloss, W. (2008). Geochemistry of Late Quaternary sediments from Tecocomulco lake, central México: implication to chemical weathering and provenance. En: *Chemie der Erde-Geochemistry*. 68,4:383-393.
- Roy, P. D., Caballero, M., Lozano, R., Pi, T., Morton, O. (2009). Late Pleistocene-Holocene geochemical history inferred from Lake Tecocomulco sediments, Basin of México, México. En: *Geochemical Journal*. 43: 49-64.
- Roy, P. D., Pérez-Cruz, L. L., Chávez-Lara, C. M., Salas de León, D. A. y Romero, F. M. (2010). Periodicities of solar forcing in a century scale high resolution sedimentary register from Chihuahua Desert, México. En: *Reunión Anual 2010 de la Unión Geofísica Mexicana*.
- Roy, P. D., Caballero, M., Lozano, M. S., Morton, O., Lozano, R., Jonathan, M. P., Sánchez-Zavala, J. L. y Macías, M. C. (2011). Provenance of sediments deposited at paleo-lake San Felipe, western Sonora Desert: implications to regimes of winter and summer rainfall during last 50 cal kyr BP. En: *Journal of Arid environments*.
- Ruíz, F., González-Regalado, M. L., Muñoz, J. M., Pendón, J. G., Rodríguez-Ramírez, A., Cáceres, L. y Rodríguez-Vidal, J. (2003). Population age structure and ostracods: Applications in coastal hydrodynamics and paleoenvironmental analysis. En: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 199: 51-69.

- Sars, G. O. (1866). Oversight of Norges marine Ostracoder, in Forhandling i Videnskabs-Selskabet i Christina. En: Norske Vidensk. Akad. Forhandling. pp. 1-130.
- Stuiver, M. y Reimer, P.J. (1993). Extended ^{14}C data base and revised CALIB 3.0 ^{14}C age calibration program, En: Radiocarbon. 35: 215-230.
- Tressler, W. L. (1954). Fresh-water Ostracoda from Texas and México. En: Journal of the Washington Academy of Science. 44: 138-149.
- Turpen, J. B. y Angell, R. W. (1971). Aspects of molting and calcification in the ostracod *Heterocypris*. En: Biological Bulletin. 140: 331-338.
- Urrutia-Fucugauchi J., Ortega-Ramírez, J. y Cruz-Gatica, R. (1997). Rock-magnetic study of Late Pleistocene-Holocene sediments from the Babícora lacustrine basin, Chihuahua, northern México. En: Geofísica Internacional. 36(2): 77-86.
- Van Devender, T. R. (1990). Late Quaternary vegetation and climate of the Chihuahuan Desert, United States and México. En: Betancourt, J. L., Van Devender, T. R. y Martin, P. (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 Spaulding, W. G. (1979). Development of Vegetation and Climate in the Southwestern United States. En: 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 Haynes, C. V. (2001). Late Quaternary arroyo formation and climate change in the America Southwest. En: Geology. 29(5): 399-402.

Watts, W. A., y Bradbury, J. P. (1982). Paleoeological studies at Lake Patzcuaro on the west-central Mexican plateau and at Chalco in the Basin of Mexico. En: Quaternary Research. 17: 56-70.

Xia , J., Engstrom, D. R. y Ito, E. (1997). Geochemistry of ostracode calcite: Part 2. The effect of water chemistry and seasonal temperature variation on *Candona rawsoni*. En: Geochimica et Cosmochimica Acta. 61: 383-391.