



*Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología*  
Universidad Nacional Autónoma de México



Registro de cambios paleoambientales en sedimentos  
del lago "La Preciosa", Pue. con base  
en el estudio de ostrácodos

## **TESIS**

Que para obtener el grado académico de

**Maestría en Ciencias**  
(Limnología)

Presenta

**Diana Juárez Bustos**

### **DIRECTOR DE TESIS**

Dra. Gloria Vilaclara Fatjó

### **COMITÉ TUTORAL**

Dra. María Luisa Machain Castillo  
Dra. Margarita Caballero Miranda  
Dra. María del Socorro Lozano García  
Dr. Arturo Carranza Edwards



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## DEDICATORIA

A mis padres por apoyarme en todo momento y circunstancia (especialmente con Daniela), muchas gracias por su ayuda, preocupación, comprensión y principalmente por su cariño. Los quiero mucho.

A mis hermanos Víctor (Flaco) y Edgar (Chochodotococo) por ser como son.

A mis abuelos, tíos, cuñadas y sobrinos (más los enanos que vengan), les agradezco esos momentos de convivencia.

A la Sra. Enedina por todo el cariño que nos dio...la extrañamos.

A la familia Rodríguez por considerarme parte de ustedes.

A mis amigos Martín y Gloria por impulsarme y no dejarme flaquear así como por su sinceridad.

A todos, todos, todos mis amigos por ser tan especiales.

A mis compañeras del Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología (Gaby, Lupita, Norma y Chantal) por su apoyo incondicional...y por aguantarme.

**Y muy especialmente le dedico este trabajo a mis dos amores:  
mi amorcito que es Alejandro y mi amor enano que es Daniela  
por que son parte esencial de mi vida.**

**LOS AMO.**

## AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Gloria Vilaclara Fatjó por su dirección, comentarios, sugerencias y estímulos recibidos durante la realización de este trabajo.

A la Dra. María Luisa Machain Castillo por su asesoría al ayudarme a conocer mejor al grupo de los ostrácodos y su gran apoyo para el termino de la tesis.

A la Dra. Margarita Caballero Miranda, Dra. María del Socorro Lozano García y Dr. Arturo Carranza Edwards por la paciencia, asesoría y comentarios tan valiosos para la realización y, principalmente, para la culminación de esta tesis.

Al Dr. Martín Merino Ibarra, Coordinador del Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología por su paciencia, asesoría y apoyo, gracias a lo cual se elaboró y terminó la presente investigación.

Al M. en C Alejandro Rodríguez Ramírez por su apoyo en la identificación de las especies de ostrácodos encontradas, así como sus revisiones y recomendaciones para realizar esta tesis.

Al Dr. José Guzmán Mendoza, del Laboratorio de Microscopía Electrónica del Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM, a la M. en C. Jacqueline Cañetas Ortega, del Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido del Instituto de Física y al Serveis Científico-Tècnics de la Universidad de Barcelona (apoyo a través de la Dra. Gloria Vilaclara Fatjó), por la realización de las fotografías de microscopía electrónica de barrido.

Al Proyecto de Investigación en Limnología Tropical (PILT), UIICSE, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, así como al Laboratorio de Paleolimnología del Instituto de Geofísica de la UNAM, por las facilidades otorgadas para la obtención, revisión, preparación, procesamiento y análisis del material estudiado.

Al Dr. Rick Forester (del U. S. Geological Survey, Denver, Colorado), al Dr. Manuel R. Palacios-Fest (del Terra Nostra-Earth Sciences Research, Tucson, Arizona) y al Dr. Frederick M. Swain (de la Universidad de Minnesota) por el apoyo otorgado para corroborar la identificación de las especies y por la asesoría sobre temas específicos de los ostrácodos.

A la Dra. Ana Ma. Soler Arechalde, del Laboratorio de Magnetismo de Rocas del Instituto de Geofísica de la UNAM, por la realización de los análisis de susceptibilidad magnética.

A la M. en C. Ma. Susana Sosa Nájera, del Departamento de Palinología del Instituto de Geología de la UNAM, por la preparación de las muestras de polen para fechamiento por  $^{14}\text{C}$ -AMS.

A Rodolfo Robledo Torrano, Alejandro Rodríguez Ramírez, Teodoro Hernández Treviño y Susana Sosa Nájera por su ayuda en el sitio de muestreo para la extracción de los núcleos empleados para el análisis.

Al Taller de Equipo para Laboratorio de Enseñanza (TELE) de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, por la colaboración para realizar el diseño y elaboración de la plataforma de perforación.

A Jocelyn Turnbull, del INSTAAR Laboratory for AMS Radiocarbon Preparation and Research de la Universidad de Colorado en Boulder, por la realización de los fechamientos de  $^{14}\text{C}$ -AMS; dentro del programa “Descuento en fechados de AMS para Cuaternaristas Latinoamericanos por parte de la Fundación Nacional de Ciencias de Estados Unidos (NSF) y del Instituto Interamericano (IAI)”.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la realización de estudios de Maestría en el Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM; así como la participación a través del proyecto “Paleoclimas y paleoambientes del centro de México y sus implicaciones interhemisféricas” (CONACyT G-28528T).

A la Dirección General de Estudios de Posgrado (DGEP) por la beca complementaria otorgada para la realización de mis estudios de Maestría en el Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

# INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	2
I. RESUMEN.....	4
II. Introducción.....	5
II. 1) Generalidades.....	5
II. 2) Paleolimnología.....	6
II. 3) Ostrácodos.....	7
Fig. 1) Morfología básica de un ostrácodo.....	8
II. 4) Ecología de los ostrácodos de aguas continentales.....	11
III. ANTECEDENTES.....	12
III. 1) Paleolimnología y Cambio Ambiental en México.....	12
III. 2) Registros holocénicos en la zona oriental de la FVTM.....	13
III. 3) Estudios en México sobre ostrácodos de aguas continentales.....	14
IV. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....	16
V. ÁREA DE ESTUDIO.....	17
V. 1) Generalidades de la zona de estudio.....	17
Fig. 2) Localización de la zona de estudio.....	20
V. 2) Lago maar La Preciosa.....	21
VI. MATERIAL Y MÉTODOS.....	23
VI. 1) Muestreo de campo.....	23
VI. 2) Muestreo de laboratorio.....	24
VI. 3) Cronología.....	24
VI. 4) Susceptibilidad magnética.....	25
VI. 5) Pérdida por ignición (PPI).....	26
VI. 6) Análisis biológico.....	27
VI. 7) Análisis de correlación no paramétrica (r-Spearman).....	28
VII. RESULTADOS.....	30
VII. 1) Estratigrafía.....	30
VII. 2) Cronología.....	30
Tabla 1) Datos cronológicos.....	30
VII. 3) Susceptibilidad Magnética y Pérdida por ignición (PPI).....	31
VII. 4) Análisis biológico: Ostrácodos.....	32
VII. 4a) Clasificación taxonómica y descripción de las especies.....	32
Láminas con imágenes de los ostrácodos observados (1, 2, 3).....	39
VII. 4b) Distribución de las especies de ostrácodos en los núcleos.....	45
Fig. 3) Susceptibilidad magnética, pérdida por ignición y distribución de los ostrácodos, indicando datos de abundancia absoluta y relativa en el núcleo LPIII.....	46
Fig. 4) Susceptibilidad magnética, pérdida por ignición y distribución de los ostrácodos, indicando datos de abundancia absoluta y relativa en el núcleo LPGII.....	47
VII. 5) Análisis de correlación no paramétrica (r-Spearman).....	48
Tabla 2) Datos del Análisis de Correlación no Paramétrica.....	48
VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	50
VIII. 1) Núcleo litoral (LPIII).....	50
VIII. 2) Núcleo central (LPGII).....	52
VIII. 3) Resumen de la relación general de las especies de ostrácodos entre sí.....	55
VIII. 4) Consideraciones finales.....	56
IX. CONCLUSIONES.....	57
X. COMENTARIOS FINALES.....	59
XI. LITERATURA CITADA.....	60
ANEXO 1.....	67

## I. RESUMEN

La existencia de numerosas cuencas lacustres, específicamente las que se encuentran a lo largo de la Faja Volcánica Transmexicana, hacen del centro de México un sitio adecuado para realizar estudios paleolimnológicos. Este tipo de análisis genera información para el conocimiento y utilización de los ecosistemas lacustres, lo cual es muy importante debido a la cada vez mayor sobreutilización del recurso acuático.

Las investigaciones paleolimnológicas se fundamentan, entre otros, en el estudio de los organismos incluidos en los sedimentos lacustres. Uno de ellos son los ostrácodos, microfósiles con caparazón calcáreo que los hace útiles como indicadores paleoambientales.

La Cuenca de Oriental ha sido pobremente estudiada y actualmente se da en ella una fuerte extracción de agua de los mantos freáticos para uso agrícola; por estas razones se utilizó el lago "La Preciosa" (Edo. de Puebla) como la zona de estudio que pudiera ayudarnos a entender que ha ocurrido en el pasado reciente de la región. El objetivo de la investigación fue determinar los cambios paleoambientales registrados en sedimentos del lago La Preciosa, Puebla, con base en el análisis de los ostrácodos preservados en ellos.

Se colectaron dos núcleos, uno de litoral (LPIII de 51 cm) y el otro de gravedad (LPGII de 72 cm), a los que se realizaron la descripción estratigráfica, fechamiento por  $^{14}\text{C}$ , susceptibilidad magnética y análisis de ostrácodos. Se obtuvo una edad calibrada de 3,963-4,087 AP en la base del núcleo de gravedad. Se registró la presencia de cuatro especies: *Candona patzcuaro*, *Limnocythere itasca*, *Darwinula stevensoni* y *Potamocypris cf. unicaudata*.

Al considerar la distribución de las especies de ostrácodos a lo largo de los núcleos se observan ambientes heterogéneos por condiciones locales dentro del mismo lago, a pesar de su pequeño tamaño, con la presencia de un gradiente de salinidad y con la formación de microhábitats que responden particularmente a los procesos alogénicos, endogénicos o autigénicos.

En general, se ve un cambio en el lago hacia condiciones de mayor salinidad y se detectan etapas de erosión al final de las secuencias. Se concluye que La Preciosa muestra una tendencia reciente hacia el incremento en su salinidad así como una disminución en el nivel lacustre, lo cual parece señalar una posible tendencia del clima local hacia una mayor aridez.

## II. INTRODUCCIÓN

### II. 1) Generalidades

Las cuencas lacustres son sistemas que pueden registrar variaciones en el ambiente regional y tendencias de cambio climático a escala más global. La interacción entre geósfera, atmósfera, hidrósfera y biósfera dejan una huella única en los sedimentos de cada lago; por su tamaño y ubicación -y a diferencia de los océanos-, la respuesta de los lagos a los cambios ambientales es más rápida, y la facilidad con que pueden variar su proporción iónica y salinidad con los cambios climáticos hace que los sedimentos lacustres sean potencialmente registros sensibles a variaciones ambientales regionales que permiten enriquecer el conocimiento sobre la variabilidad ambiental a más grande escala (Anadón *et al.*, 1994).

Las fluctuaciones registradas en los sedimentos lacustres son, en parte, resultado de la propia evolución del lago, la cual depende básicamente de su profundidad original y de su tasa de azolve (Margalef, 1983). Además se presenta la influencia, de manera importante, de los cambios geológicos y climáticos que llegan a darse en las cuencas, los cuales -si son suficientemente intensos- alterarán la evolución lacustre y dejarán señales del cambio en la composición de los sedimentos. En condiciones adecuadas, estos sedimentos pueden ofrecer un registro detallado y de alta resolución que ayuda a interpretar la variabilidad en cuanto a temperatura, precipitación, viento y estacionalidad (Schnurrenberger *et al.*, 2001).

Todo conocimiento extraído de los sedimentos lacustres resulta clave en la limnología aplicada, para saber qué esperar en relación con la distribución y suministro del recurso acuático continental. Las predicciones acerca de la precipitación y evaporación futuras, en el marco del calentamiento global generado por incrementos en el CO<sub>2</sub> atmosférico, son inciertas. Hay consenso en que el efecto invernadero ocasionará alteraciones en la distribución mundial de la precipitación, causando que algunas zonas de la Tierra se vuelvan más húmedas y otras más secas, alterando la distribución global de ríos, lagos y humedales (Carpenter *et al.*, 1992).

En este marco de cambio global, las cuencas áridas son más sensibles a los cambios de precipitación que las cuencas húmedas (Carpenter *et al.*, 1992), lo que las hace especialmente adecuadas para registrar los cambios climáticos regionales. A estos cambios naturales se suma la influencia humana directa, que modifica las cuencas y las contamina, pues los seres humanos son un componente interactivo de los ecosistemas acuáticos al responder activamente a los cambios en el recurso acuático, incrementándolos y ejerciendo una retroalimentación poderosa que queda también registrada en los sedimentos lacustres (Carpenter *et al.*, 1992; Roberts, 1992).

### II. 2) Paleolimnología

La paleolimnología centra su interés en el estudio de la evolución lacustre, analizando el registro sedimentario. Es una ciencia multidisciplinaria que trata con diversos aspectos -biológicos, químicos, físicos, geológicos, etc.- útiles para la reconstrucción e interpretación de la historia lacustre, incluida la de su cuenca. Dicha historia encuentra puntos de aplicación de suma importancia en el cambio climático global, las fluctuaciones de corto alcance temporal y los procesos locales (Smol, 1992; Smol *et al.*, 1995), reflejándose en cambios en la eutrofización, acidificación, régimen de mezcla-estratificación de la columna de agua, lo cual puede incidir en la entrada de nutrientes en la zona fótica y habilitar cambios en la sucesión planctónica (Alcocer *et al.*, 2001; Hutchinson, 1957; Margalef, 1983), entre otros componentes de la evolución lacustre.

Los cambios pueden quedar registrados en los sedimentos depositados, conservando potencialmente una evidencia de las fluctuaciones a lo largo del tiempo. Para poder conocer y entender esta información se utilizan indicadores (también llamados “proxies”) que permiten interpretar las fases pasadas en las condiciones del sistema lacustre (Wetzel, 1981) y su cuenca de captación, incluyendo eventos climáticos (fases áridas y húmedas), volcánicos (hidrotermalismo, aporte de materiales piroclásticos, Kurenkov, 1966) y tectónicos (fallamientos, subsidencia, etc., Israde y Garduño, 1999). Entre los indicadores que se han empleado están los análisis mineralógicos, los constituyentes químicos orgánicos e inorgánicos y los restos de organismos preservados en los sedimentos.

Los datos geoquímicos y mineralógicos ayudan en la interpretación de los ambientes antiguos, al aportar información de las fases de erosión, de evaporación y el estado trófico de un lago. Este tipo de datos son de gran utilidad en la reconstrucción de las condiciones pasadas y de los cambios ocurridos dentro de los ecosistemas lacustres, así como de la historia de la cuenca de drenaje correspondiente, básicamente debido a que el fondo de los lagos es el sitio de depositación final de la materia orgánica y mineral que es transportada hacia el lago a partir de la cuenca de drenaje, así como de la materia que se forma *in situ* dentro del cuerpo de agua. Los sedimentos acumulados en el fondo de los lagos presentan restos de organismos o partes de los mismos, que vivieron en algún momento en él o que fueron arrastrados de la cuenca, y que poseen estructuras resistentes a la descomposición orgánica y a la disolución en el propio medio. La información que pueden aportar los microfósiles -polen, esporas, espículas de esponjas, diatomeas, algunos crustáceos (como los ostrácodos), etc.- y otros indicadores ecológicos -varvas, inclusiones piritosas, pigmentos, etc.- es considerable (Gall, 1983; Gray, 1988; Grimm *et al.*, 1998; Kennett, 1982; Margalef, 1983; Raup y Stanley, 1978; entre otros).

### II. 3) Ostrácodos

El grupo de microfósiles calcáreos más abundantes en ambientes acuáticos continentales es el de los ostrácodos. El análisis de estos organismos en los sedimentos ha sido utilizado como herramienta en estudios paleolimnológicos y es importante en la evaluación de las condiciones de los lagos durante el Cuaternario. Estos estudios se encuentran fundamentados en los conocimientos sobre requerimientos ecológicos de las especies y la composición de las comunidades -a partir de ostrácodos contemporáneos-, así como su relación con el registro estratigráfico (Carbonel *et al.*, 1988; Danielopol *et al.*, 1986; Delorme, 1990; Delorme *et al.*, 1977; Holmes, 1992; Kùlköylüoglu y Vinyard, 2000; Lister, 1988; Löffler, 1986, 1997).

Los factores fundamentales para su fosilización y preservación son su tamaño pequeño y la calcificación de las valvas. Además, un aspecto muy importante y que les confiere la propiedad de ser útiles como indicadores ambientales, es que el carbonato de calcio se forma en equilibrio con el agua donde habitan, por lo tanto, están íntimamente ligados con las características físico-químicas del ambiente (Delorme, 1969, 1990; Forester, 1987; Holmes, 1992; Löffler, 1997; Lowe y Walker, 1997; Machain y Gío, 1993; Palacios-Fest *et al.*, 1994; Turpen y Angell, 1971 en Lister, 1988).

Los ostrácodos están bien representados en ambientes marinos desde el Cámbrico (hace 510-570 millones de años) y hay evidencia de que invadieron ambientes continentales durante el Carbonífero (hace 320-350 millones de años). En el curso de su evolución, este grupo ha presentado una gran radiación ecológica, llevándolos a adaptarse con gran éxito a todo tipo de ambientes acuáticos: cuencas oceánicas, estuarios, pantanos, ríos, lagos, aguas encharcadas, manantiales sulfurosos, etc. Son organismos bentónicos, y la mayoría son herbívoros y/o detritívoros, con unas pocas especies carnívoras (Barnes, 1989; Bronshtein, 1988; Carbonel *et al.*, 1988; Delorme, 1990; Horne *et al.*, 2002).

La Clase Ostracoda incluye todos los representantes de los crustáceos inferiores (Entomostraca) cuyo cuerpo se encuentra dentro de un caparazón bivalvo comprimido lateralmente e impregnado de carbonato de calcio (calcita con bajo contenido en Mg, Holmes, 1992; Horne *et al.*, 2002). El tamaño es generalmente pequeño, 0.2 a 7.3 mm en los ostrácodos de agua dulce (hasta 30 mm alcanzan algunos marinos), aunque en Norteamérica, el intervalo de tamaño máximo va de 0.4 a 5.0 mm, variando comúnmente entre 0.6 y 2.0 mm (Bronshtein, 1988; Delorme, 1990; Holmes, 1992; Horne *et al.*, 2002; Moore, 1961).

Las valvas (Fig. 1), secretadas por la epidermis, son ligeramente asimétricas y se unen por una charnela o bisagra dorsal. En las valvas quedan marcadas las impresiones de los músculos abductores (cicatrices musculares), cuyo número y arreglo son importantes para la diferenciación

entre familias y géneros. El cuerpo se divide en región cefálica -cabeza- y torácica -tronco, que termina generalmente en una furca- y presenta siete pares de apéndices (rara vez hasta ocho); el cuerpo y los apéndices están cubiertos por quitina. La cabeza posee cuatro pares de apéndices - dos pares de antenas (anténulas y antenas), un par de mandíbulas y un par de maxilares-, útiles para desplazarse y comer. El tronco tiene, en general, tres pares de apéndices que sirven para la locomoción, alimentación y limpieza de la concha (Barnes, 1989; Bronshtein, 1988; Holmes, 1992; Horne *et al.*, 2002; Meisch, 2000; Moore, 1961).

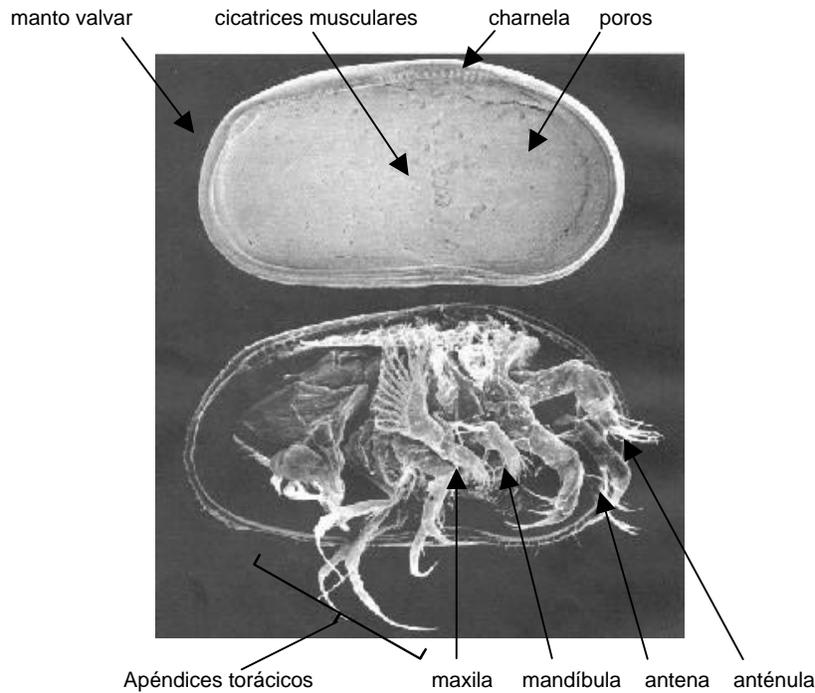


Fig. 1. Morfología básica de un ostrácodo (modificado de De Deckker y Forester, 1988)

La clasificación taxonómica de los ostrácodos considerada en este documento es la planteada por Moore (1961) y la información se complementa con datos de Bronshtein (1988), Delorme (1970a, 1970b, 1970c, 1971) y Meisch (2000). Con base en ella, se determinó que la Subclase Ostracoda se divide en cinco órdenes, de los cuales los tres primeros son los más primitivos y todos fósiles: Archaeocopida, Leperditicopida y Palaeocopida.

Otro de los órdenes es Myodocopida, en el cual se presentan organismos marinos, con caparazones delgados, frágiles y lisos; son planctónicos o parcialmente planctónicos, existiendo algunos bentónicos; se originan en el Paleozoico (periodo Ordovícico) y existen algunos representantes en la actualidad (Horne *et al.*, 2002). Se divide en el Suborden Myodocopina con 7 familias extintas y 5 con representantes en la actualidad, y en el Suborden Cladocopina con una familia con individuos actuales (Moore, 1961).

El grupo más diverso y relevante para este trabajo es el Orden Podocopida, que es un grupo presumiblemente derivado del Orden Palaeocopida durante el Ordovícico. Fueron los primeros definidos con base en las partes blandas del organismo; tienen muchos representantes vivos en aguas dulces, salobres y marinas; se divide en (Moore, 1961):

- 1) Suborden Podocopina. Es el grupo más diverso, con especies de agua dulce, salobre y marinas, aunque tiene el mayor número de organismos de agua dulce; con cuatro Superfamilias:
  - A) Bairdiacea. Son principalmente marinos; aparecieron en el Ordovícico; presenta tres familias de las cuales una está extinta y dos tienen representantes actuales.
  - B) Cypridacea. Representantes de agua dulce y marinos, aunque presentan el mayor número de especies continentales; algunos organismos surgieron desde el Silúrico, pero la mayoría se reportan en el Jurásico; se divide en siete familias, de las cuales tres tienen representantes de agua dulce y marina (una de estas familias es Cyprididae, de la cual se encontraron organismos en La Preciosa) y las cuatro restantes presentan organismos sólo de agua dulce.
  - C) Darwinulacea. Especies continentales, principalmente de agua dulce y algunas de ambientes salobres; origen en el Ordovícico (se presenta la Familia Darwinulidae, de la cual se encontraron organismos en La Preciosa).
  - D) Cytheracea. Es un grupo muy diverso (26 familias) del que algunos organismos surgieron desde el Ordovícico, pero la mayoría se reportan a partir del Jurásico y Cretácico. Se presentan especies extintas y actuales que son principalmente marinas, aunque también hay representantes continentales:
    - Cinco familias extintas y de hábitats marinos.
    - Una familia extinta, de agua salobre o marina.
    - Veinte familias con representantes actuales de las que doce son marinas, cuatro tienen algunos representantes de aguas salobres (pero la mayoría son de aguas marinas), una es de agua dulce o salobre (se trata de Limnocytheridae, de la cual se encontraron organismos en La Preciosa), otra de zonas intersticiales y dos son de aguas subterráneas.
- 2) Suborden Metacopina. Prácticamente es un grupo extinto de organismos marinos que surgieron en el Ordovícico, con tres superfamilias.
- 3) Suborden Platycopina. Con especies marinas, principalmente bentónicas, que aparecieron en el Jurásico; se presenta una familia.

La identificación a nivel específico se basa generalmente en las características del caparazón -tamaño, ornamentación, cicatrices musculares y morfología de la charnela-. La observación de los apéndices en los ostrácodos actuales es útil como criterio taxonómico (Holmes, 1992). Sin embargo, diversos factores complican la identificación (Delorme, 1990):

- 1) La mayoría de las especies presentan dimorfismo sexual.
- 2) Algunas especies carecen de machos (partenogenéticas).
- 3) En algunas especies, la valva izquierda es diferente de la derecha.
- 4) No es posible identificar los estadios juveniles a nivel de especie, los cuales pueden o no presentar dimorfismo sexual.
- 5) Obviamente, no es posible examinar apéndices en los ostrácodos fósiles y subfósiles.

En los ostrácodos no todas las especies se reproducen sexualmente, se han reconocido diferentes procesos de reproducción. Al igual que otros crustáceos de agua dulce, se reproducen principalmente por partenogénesis, es decir, las hembras ponen huevos fértiles que dan lugar a nuevas generaciones de la especie, sin que se produzcan machos en la población. Existe otro tipo de reproducción "mixta", que se conoce como partenogénesis geográfica, en la cual existen poblaciones de determinada especie en las que únicamente existen hembras y la reproducción se realiza partenogenéticamente, mientras que en otras poblaciones de esa misma especie -generalmente localizadas en latitudes más bajas- es posible encontrar tanto machos como hembras reproduciéndose de manera sexual. Al parecer, este último tipo de reproducción está ligado a las condiciones ambientales del lugar y, principalmente, a condiciones de estrés ambiental, es decir, la generación de machos que copulan con las hembras es lo que permite que los huevos con recombinación sexual sean más resistentes a condiciones ambientales adversas, como son la desecación y el congelamiento (Holmes, 1992; Horne *et al.*, 2002; Meisch, 2000; Moore, 1961).

Las hembras colocan los huevos sobre algún substrato (por ejemplo hojas) o los retienen e incuban dentro de cámaras de cría. En cualquier caso, las primeras larvas de ostrácodo que salen de los huevos son del tipo metanauplio. Como en los demás crustáceos, el crecimiento se da por mudas, mediante un procedimiento denominado ecdisis, por el cual abandonan la envoltura que se queda pequeña y segregan una nueva más grande. Progresivamente, el organismo va creciendo y desarrollando mayor cantidad de características morfológicas, por lo cual pasa por: a) A8, larvas metanauplio, b) A7-A3, juveniles sin una diferenciación morfológica visible, c) A2-A1, preadultos con los órganos sexuales en desarrollo, y d) A, adultos con órganos sexuales maduros (Bronstein, 1988; Delorme, 1990; Holmes, 1992; Horne *et al.*, 2002; Meisch, 2000; Moore, 1961).

## **II. 4) Ecología de los ostrácodos de aguas continentales**

Los ostrácodos de agua dulce han sido menos estudiados que los marinos, principalmente por la dificultad para identificar las especies y porque poseen un caparazón más delgado, por lo que pueden ser fácilmente destruidos por acción mecánica y/o corrosión química (Delorme, 1990; Lowe y Walker, 1997).

Se sabe que viven comúnmente en el litoral de lagos y ríos, aunque también pueden encontrarse en el bentos profundo de lagos (Griffith *et al.*, 1993), donde se alimentan de algas y detritos orgánicos que se encuentran fundamentalmente en la interfase sedimento/agua, en sedimentos ricos en materia orgánica, arcillosos o limosos (Delorme, 1990).

Son muy diversos los factores que controlan la presencia, abundancia, distribución, diversidad y, en algunos casos, el tamaño y/o la morfología de los ostrácodos (Curry, 1999; De Deckker y Forester, 1988; Delorme, 1969, 1982, 1990; Forester, 1983, 1986; Forester y Brouwers, 1985; Holmes, 1992; Löffler, 1986, 1997; Lowe y Walker, 1997; Neale, 1988; Palacios-Fest *et al.*, 1994; Peypouquet *et al.*, 1980, 1981, 1983), siendo algunos de estos:

- 1) El suministro de alimento (diatomeas, desmidiáceas, detritos, algas filamentosas, protozoos, rotíferos y otros animales pequeños) y la predación a que se ven sometidos (principalmente por peces ramoneadores).
- 2) La variación del tipo de sustrato.
- 3) La energía mecánica asociada con el movimiento del agua al afectar la aereación, la turbidez y el suministro de alimento (la mayoría de los ostrácodos prefieren aguas tranquilas, aunque algunas especies -en géneros como *Potamocypris* e *Ilyocypris*- se asocian con aguas corrientes o con una alta inversión de energía mecánica).
- 4) La temperatura y la composición química de las aguas. Estos factores pueden llegar a acoplarse estrechamente con variaciones en el clima regional y, por ende, también lo hace la composición de la fauna de ostrácodos.
- 5) Existe una mejor preservación de las valvas cuando el contenido alcalino del medio es alto.

Los factores mencionados y el hecho de que la depositación y la preservación de los organismos depende directamente de las condiciones ambientales del momento, hace del análisis de los ostrácodos una herramienta generalmente útil en la interpretación de paleoambientes, con base en el conocimiento de los requerimientos ecológicos de cada especie. Lo anterior va a depender de la combinación de los diferentes grupos como resultado de factores tectónicos, climáticos y limnológicos (Bradbury, 1988; Carbonel *et al.*, 1988; Holmes, 1992; Lister, 1988).

### III. ANTECEDENTES

#### III. 1) Paleolimnología y Cambio Ambiental en México

En el caso del centro México, los estudios paleolimnológicos son posibles debido a la presencia de diversas cuencas lacustres en la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). Estos estudios han permitido documentar fluctuaciones importantes en los niveles lacustres de la zona, asociándolos con cambios climáticos regionales. Existe una amplia controversia en la interpretación de estos registros ya que, en general, hay problemas de resolución o de insuficientes fechamientos que limitan la interpretación de los cambios climáticos de corto plazo (Street-Perrott y Harrison, 1985). Entre los resultados que se han obtenido se menciona que durante la transición del Holoceno Medio al Holoceno Tardío (ca. 4,000 años antes del presente [AP]), las condiciones climáticas actuales ya se habían establecido sobre la mayor parte de México. El Holoceno tardío está caracterizado por una marcada variabilidad climática, tanto en el centro de México como en Yucatán. Destaca la presencia de un evento de intensa sequía entre ca. 2,000 y 1,000 años AP en ambas regiones, que se ha asociado con la caída de las culturas clásicas Maya y Teotihuacana (Hodell *et al.*, 1991; Fritz *et al.*, 2001; Metcalfe *et al.*, 2000). El impacto humano es detectable en sedimentos lacustres del centro de México desde hace aproximadamente 5,000-4,000 años AP (Bradbury, 2000; Curtis *et al.*, 1998) y puede enmascarar las tendencias climáticas más recientes. En general, el efecto más notable de la actividad humana es que, aparentemente, los cambios hacia un clima más árido en el centro y norte del país se aceleran (Metcalfe *et al.*, 2000).

Debido al clima imperante actualmente y al que prevaleció en épocas pasadas, México posee numerosos lagos (extintos y actuales) a lo largo de la FVTM, en los que existen depósitos de sedimentos los cuales han sido investigados desde el siglo pasado por Ehrenberg (1846, 1854, 1866, 1869), hasta los más recientes (Bradbury, 1971, 1989, 1997, 2000; Byrne *et al.*, 1996; Caballero y Ortega, 1998; Caballero *et al.*, 1999; Israde y Garduño, 1999; Lozano y Ortega, 1994, 1998; Lozano *et al.*, 1991, 1993; Martínez *et al.*, 1998; Metcalfe, 1986, 1987, 1992, 1995; Metcalfe *et al.*, 1989, 1991, 2000; Ohngemach, 1977; Ohngemach y Straka, 1978, 1983; Straka y Ohngemach, 1989). Estos estudios se pueden dividir en los realizados en lagos de la parte este, centro y oeste de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). Para los fines de este trabajo, se limita la revisión a aquellos registros de la zona oriental de la FVTM que tengan un control cronológico radiométrico y a los últimos 10,000 años.

### III. 2) Registros holocénicos en la zona oriental de la FVTM

Los datos de trabajos paleoambientales realizados en la zona oriental de la FVTM son muy escasos:

En la década de los 70, se inició un proyecto denominado “Proyecto Puebla-Tlaxcala” patrocinado por la Fundación Alemana para la Investigación Científica. Como parte de este proyecto, Ohngemach (1977) , Ohngemach y Straka (1978, 1983) y Straka y Ohngemach (1989) llevan a cabo análisis palinológicos en varias secuencias: en el maar seco Xalapasquillo, Pue.; en el cráter Tlaloc ubicado en el volcán La Malinche, Tlax.; en el lago Acuitlapilco, Tlax.; en Totolcingo (El Carmen), y en Zacatepec, Pue. De estos análisis se obtuvo una secuencia de cambios en la vegetación de la zona Puebla–Tlaxcala para los últimos 35,000 años. En general, este registro carece de un control cronológico confiable debido a que en su tiempo no era posible realizar fechamientos de radiocarbono por acelerador de partículas, y debido al bajo contenido orgánico de los sedimentos, las fechas se realizaron en muestras que abarcaban un amplio intervalo estratigráfico. Así mismo, las fechas reportadas se realizaron en sedimento sin tratamiento previo, lo cual es problemático en esta región por el importante aporte de carbonatos Cretácicos a los sistemas lacustres que genera fechas aparentemente más antiguas que la edad real del sedimento. Sin embargo, con las debidas reservas, los datos de polen parecen indicar diversas fluctuaciones en el clima.

También de este proyecto (“Proyecto Puebla-Tlaxcala”), Heine (1973, 1975, 1988) y Klaus (1973) realizaron análisis de geomorfología glacial, con lo que deducen las variaciones más importantes del clima que se han dado en la región Puebla-Tlaxcala en los últimos miles de años. Entre los 12,000 y los 10,000 años AP reinó un clima más cálido y seco. Siguen otros dos periodos fríos y húmedos entre los 10,000 y los 9,000 años AP, separados por un periodo de condiciones más cálidas y secas. Posterior a esta etapa, el clima se caracteriza por condiciones cálidas y secas, y a los 2,000 años AP se registra una fase húmeda y más fría. Se menciona que desde el siglo XVI al XIX el clima fue más húmedo y/o más frío que en la actualidad.

Caballero y colaboradores (2003) llevaron a cabo estudios en el lago maar de Alchichica, Puebla, analizando núcleos litorales de sedimentos y aplicando análisis de diatomeas, pigmentos fósiles, pérdida por ignición y fechamientos por radiocarbono. De esta manera obtuvieron una secuencia correspondiente a ca. 2,300 años, para la cual únicamente se tienen datos biogénicos de los últimos ca. 300 años, debido a la mala preservación del material. La información indica que el lago no ha sufrido cambios importantes, manteniéndose oligo-mesotrófico, salino y alcalino como en la actualidad. Además, no se detectaron eventos que indiquen claramente cambios climáticos ni paleoambientales importantes.

Rodríguez (2002) analizó sedimentos del lago La Preciosa, Pue., efectuando estudios de fechamientos por  $^{14}\text{C}$ , análisis de diatomeas, pérdida por ignición, susceptibilidad magnética, difracción de rayos-X y análisis químico de sedimentos. En este estudio se registraron diferencias importantes de microhábitats dentro del lago en un intervalo de tiempo de entre ca. 3,000 a 5,500 AP. En general, se detecta un mayor aporte de sedimentos (erosión) y un incremento en la salinidad del lago, lo que se interpreta como una tendencia hacia un clima más árido de la localidad, posiblemente asociado con impacto humano reciente.

### III. 3) Estudios en México sobre ostrácodos de aguas continentales

Aunque se han reportado ostrácodos lacustres para México desde el siglo XIX, son realmente pocos los estudios que se han realizado sobre ellos. Entre las primeras referencias se encuentran las de Río de la Loza y Cravieri (1858 en Machain y Gío, 1993), que reportan la presencia de ostrácodos en pozos del Valle de México, además de nombrar las primeras especies mexicanas (*Clamyothecha azteca* Saussure, 1858 y *Cypris mexicana* Ehrenberg, 1869 en Machain y Gío, 1993). Posteriormente, el registro se remonta a estudios realizados en los cenotes de Yucatán, donde Furtos (1936) lleva a cabo un registro taxonómico con la diagnosis de 23 especies, de las cuales 13 son descritas por primera vez como especies nuevas.

Krutak (1972) investiga las relaciones entre la talla de la testa en los ostrácodos y el tamaño de grano en sedimentos superficiales de la laguna Mandinga en Veracruz, concluyendo que la longitud total de la valva es una medida a partir de la cual se pueden inferir las medidas estadísticas de tendencia central del tamaño de grano del sedimento y, por lo tanto, es posible estimar el tamaño de grano original de rocas sedimentarias diagenéticamente alteradas.

Forester (1985) describe *Limnocythere bradburyi* n. sp. a partir de muestras de siete lagos diseminados a lo largo de la FVTM y menciona las características ambientales en que aparece esta especie; concluye que el clima regional donde se puede presentar es templado y húmedo, con temperaturas en invierno por arriba de  $0^{\circ}\text{C}$ , en verano inferiores a  $30^{\circ}\text{C}$ . Los lagos donde se desarrolla son de agua dulce a ligeramente salina durante el verano-otoño y ligeramente salina durante el invierno-primavera, coincidiendo con las épocas de lluvia y sequía respectivamente.

Carreño (1990) realiza un estudio de ostrácodos del paleolago Texcoco en un núcleo de 80 m, registrando abundancias relativas y asociaciones, lo que le permite inferir que en general se trata de un lago alcalino con tres fases divididas de la siguiente manera: 1) En la base del núcleo existía un ambiente de agua dulce y profunda característico de condiciones climatológicas lluviosas (se infiere un aumento en la precipitación), húmedas y frías -tentativamente relacionadas

con el final del glacial Illinoniano tardío-. Entre las especies que se presentan están *Candona patzcuaro* y *Candona michoa*. 2) Más arriba no se registran fósiles, por lo que considera se trata de un periodo interglacial, tal vez en el Sangamoniano, después del Winsconsiniano (100,000 años). 3) En la parte superior, el conjunto de ostrácodos (*Limnocythere itasca* y *Limnocythere sappensis*) muestra cambios más o menos cíclicos de temperatura, tal vez estacionales, indicados por el aumento y la disminución de salinidad en el lago, sin llegar a detectarse condiciones hipersalinas.

Machain y colaboradores (1992), Alcalá y colaboradores (1994) y Gío y colaboradores (1994) realizaron análisis micropaleontológicos y de isótopos estables en una secuencia de sedimentos en la península de Yucatán, conformados por turba, material calcáreo y arcillas, en la cual estudiaron las comunidades de ostrácodos, gasterópodos y foraminíferos, detectando variaciones en su abundancia y distribución asociados a cambios en la salinidad del cuerpo de agua, así como al nivel lacustre a lo largo del tiempo. Durante el Holoceno medio, entre los 7,000 a los 5,600 años AP, se registran condiciones dulceacuicolas; a los 5,600 años AP cambia a condiciones mesohalinas, probablemente asociado a un incremento en el nivel del océano; a los 4,800 años AP se observa un cambio en el tipo de sedimento, dominando la turba y una estabilización del nivel lacustre. Después de los 3,400 años AP, nuevamente se registró un aumento en el nivel, con dominancia de especies dulceacuícolas, manteniéndose así hasta cerca de los 500 años AP, cuando nuevamente es rellenada con material turboso proveniente del manglar presente en la zona. Este último cambio hacia condiciones dulceacuícolas a partir de los 4,400 años AP lo asocian con el aumento de la deforestación en la zona.

El registro paleolimnológico del lago de Pátzcuaro (Bridgwater *et al.*, 1999) para los últimos 4,100 años AP, basado en análisis isotópicos y las asociaciones de ostrácodos, indica que existieron condiciones de humedad en la parte central de México aproximadamente de los 3,600 a los 2,390 años AP, entre los 1,330 y 1,120 años AP y desde los 220 años AP hasta el presente, y estas fases húmedas estuvieron intercaladas por periodos prolongados de sequía.

Por último, Palacios-Fest y colaboradores (2002) estudian la paleoecología de la Laguna de Babícora en Chihuahua; desarrollan un índice de paleosalinidad a partir de las asociaciones de ostrácodos que encuentran, infiriendo que el lago ha estado fluctuando entre condiciones oligo y mesohalinas durante los últimos 25,000 años; además, utilizan la relación Mg/Ca en las testas para inferir paleotemperaturas y sugerir que éstas variaron entre 5.6 y 21.3°C, lo cual coincide con el intervalo anual de temperatura actual (registros de 1970 a 1980), que va de 3.5°C en invierno a 20°C en verano.

## IV. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Como ya se ha visto en la introducción, las investigaciones que se efectúan dentro del área de la paleolimnología son muy importantes para el conocimiento de los ecosistemas acuáticos continentales y de su entorno, ya que al analizar los cambios temporales -así como las posibles causas por las que se dan las fluctuaciones y desaparición de los cuerpos de agua-, se puede inferir la dinámica y características de los ecosistemas acuáticos continentales actuales, además de conocer las tendencias de cambio del ambiente y el clima que rodeó los lagos.

Como ya se ha mencionado, las investigaciones paleolimnológicas realizadas en las zonas oeste y centro indican que la región central de México ha sufrido importantes cambios climáticos durante el Holoceno. Tomando en cuenta la importancia que representa llevar a cabo estudios paleolimnológicos que generen información para el conocimiento y utilización de los ecosistemas lacustres mexicanos -y sabiendo que la información disponible es relativamente escasa, e incluso en ocasiones controversial-, se considera relevante realizar este mismo tipo de análisis en la zona oriental de la FVTM. Además, la zona de la Cuenca de Oriental ha sido pobremente estudiada y, actualmente, su recurso acuático está siendo sobreutilizado, dada la importante extracción de agua de los mantos freáticos para uso agrícola (Alcocer *et al.*, 1998; Rodríguez, 2002).

Por lo anterior, con este trabajo se plantea:

### **Objetivo general**

- Determinar los cambios paleoambientales registrados en sedimentos del lago La Preciosa, Puebla, con base en el análisis de los ostrácodos.

### **Objetivos particulares**

- Identificar a nivel específico los ostrácodos presentes en los sedimentos lacustres y determinar su abundancia.
- Determinar las condiciones ecológicas en que dichas especies de ostrácodos se presentan.
- Comparar estos resultados con otros proxies, como análisis de pérdida por ignición y susceptibilidad magnética.
- Deducir cambios paleoambientales en la zona con base en los datos analizados.

## V. ÁREA DE ESTUDIO

### V. 1) Generalidades de la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra dentro de la denominada Faja Volcánica Transmexicana (FVTM, Fig. 2a), caracterizada por rocas volcánicas acumuladas en episodios volcánicos sucesivos iniciados a mediados del Terciario (hace 35 millones de años) y continuados hasta el presente (Carrasco y Gómez, 1997).

La FVTM consiste en una cadena de estratovolcanes que atraviesan el país sobre los paralelos 19-20° N, extendiéndose este-oeste desde Veracruz (Golfo de México) a Nayarit (Océano Pacífico), alcanzando una longitud de cerca de 1,000 km y con 20-150 km de ancho (Carrasco y Gómez, 1997). Dentro de esta provincia geológica existen numerosas cuencas cerradas ocupadas por lagos; una de esas cuencas es la de Oriental, que se localiza en el extremo E de la FVTM (INEGI, 1987).

La Cuenca Oriental (Fig. 2a y 2b) tiene una altitud media de 2,300 m s.n.m. (Reyes, 1979) y está situada entre los 19°42' - 18°57' N y los 98°02' - 97°09' W (Arriaga *et al.*, 1998), abarcando parte de los estados de Puebla, Tlaxcala y Veracruz. Está rodeada por sistemas montañosos importantes, entre los que destacan la Sierra Madre Oriental, el Pico de Orizaba y, cerrando la cuenca al norte, la gran caldera de Teziutlán. La Cuenca Oriental es de tipo endorreico, sin cursos de agua que desemboquen en su exterior, aunque se ha propiciado la formación de lagos cuando la humedad de la zona es adecuada. Su paisaje está compuesto por extensos llanos que se alternan con sierras y edificios volcánicos relativamente jóvenes, del Terciario Superior y Cuaternario, y con lomeríos formados también por rocas ígneas extrusivas y que, en general, no han sufrido perturbaciones desde su formación originada por fenómenos corticales profundos (INEGI, 1995; S.P.P., 1986).

De acuerdo con Gasca (1981) el basamento de la zona está formado principalmente por calizas del Cretácico, que siguen la orientación de los plegamientos que forman la Sierra Madre Oriental y se interdigitan de una manera particular, pues el relleno por sedimentos piroclásticos ha peneplanizado la cuenca de tal forma que en la actualidad se presentan estas unidades como accidentes topográficos aislados. Su origen primario es por depositación en ambiente marino, como se refleja por las rocas de composición calcárea en los niveles inferiores, pasando progresivamente a depósitos terrígenos en la columna estratigráfica. De los afloramientos más importantes de esta unidad, se encuentra la Sierra de Techacalco. Sobreyaciendo estas rocas

cretácicas se observan rocas volcánicas postorogénicas, petrográficamente denominadas riolitas sódicas, principalmente del Oligoceno. También se presentan manifestaciones volcánicas de tipo piroclástico más jóvenes -Mioceno- de la misma composición, por lo que se considera que es un área en la que se han manifestado varias fases eruptivas a través del tiempo. Los afloramientos riolíticos más relevantes son Las Derrumbadas, el Cerro Pizarro y La Sierra Blanca (Gasca, 1981). Posteriormente, desde el Mioceno medio hasta el Plioceno tardío se da un periodo de emisiones volcánicas de tipo andesítico que constituyen el mayor porcentaje volumétrico de rocas volcánicas localizadas en la Cuenca de Oriental (Gasca, 1981); se encuentran ampliamente distribuidas, formando algunas de las sierras y picos más altos que configuran el límite de la cuenca, sobresaliendo el Cofre de Perote (4,281 m s.n.m.) y el Pico de Orizaba o Citlaltépetl (5,747 m s.n.m.).

Finalmente, durante el Pleistoceno y Holoceno temprano existió gran actividad volcánica basáltica, dando lugar a derrames y numerosos conos cineríticos, así como a la formación de los maars distribuidos dentro de la cuenca (Gasca, 1981). En cuanto a su edafología, en general predominan suelos con sustrato calizo tipo Rendzina, además de Regosol, Litosol, Feozem, Andosol y Cambisol (INEGI, 1995).

En las partes más bajas de las planicies de la Cuenca de Oriental se localizan dos extensas zonas lacustres (Tepeyahualco o laguna de “El Salado” y Totolcingo o laguna de “El Carmen”) que actualmente permanecen secas gran parte del año (Fig. 2b). Además de estos lagos, la cuenca contiene once cráteres de explosión o maars (Gasca, 1981; Casique *et al.*, 1982), seis de ellos con lago (axalapazcos) y los demás actualmente secos (xalapazcos).

Los seis axalapazcos son lagos maars permanentes (Vilaclara *et al.*, 1993), que se originaron por actividad volcánica débil y localizada, generalmente en regiones donde el vulcanismo llegó a su fin, formando sólo huecos mediante explosiones freáticas al entrar en contacto los materiales volátiles volcánicos con los acuíferos de profundidades someras. En este caso, el volcán arroja escaso material volcánico que forma una pequeña cresta a su alrededor, sin llegar a construir un cono (Bradbury, 1998; Yarza, 1971). Estos maars se encuentran diseminados en dos grupos (Fig. 2): uno localizado al sur formado por Aljojuca y Tecuitlapa, y otro al norte compuesto por Alchichica, Quechulac, Atexcac y La Preciosa (Ordóñez, 1906; Vilaclara *et al.*, 1993).

El aporte de agua de estos lagos procede en su mayoría de la precipitación pluvial en el caso de Totolcingo y Tepeyahualco, y por las aguas del manto freático infiltradas a través del muy permeable suelo de la zona en el caso de los lagos maars (Álvarez, 1950; Gasca, 1981), cuyas principales fuentes provienen de las altas montañas cercanas (Ramírez y Novelo, 1984; Vilaclara *et al.*, 1993).

El clima de esta zona es variable y está influido notablemente por la altitud, la exposición de los vientos secos y la sombra orográfica que producen los macizos montañosos (Ramírez y Novelo, 1984). Estos volcanes detienen los vientos húmedos (alisios) provenientes del Golfo de México, lo cual provoca el establecimiento de un clima de tipo semiárido tropical (lluvias en verano) dentro de la cuenca (García, 1988; Vilaclara *et al.*, 1993), con una temperatura media anual de 12°-16°C y una precipitación total anual de 400-800 mm (Arriaga *et al.*, 1998; García, 1988). La región norte -donde se localiza la zona de estudio- posee un clima semiárido templado con escasas lluvias en verano y poca oscilación térmica [tipo BS<sub>1</sub>Kw(i')], con una temperatura media anual de 14.5°C; el periodo de lluvias (con precipitación no mayor de 400 mm al año) va desde fines de abril hasta octubre (García, 1988).

Las características limnológicas de los lagos localizados en la cuenca son variables. En general la salinidad va de 0.4-8.5 g/l, pH = 8-9, O. D.= 0-6.5 mg/l, la temperatura anual promedio de las aguas en columna es de 14.5-21°C, el intervalo de conductividad oscila de 750 a 13,000 µS/cm. Todos presentan elevada concentración de cloruros, carbonatos-bicarbonatos y sodio: son aguas dulces a salinas, alcalinas con dominancia de sodio (Vilaclara *et al.*, 1993).

En los seis lagos se pueden observar gradientes en los descriptores fisicoquímicos, ya que existen aquellos que aún se encuentran en etapas profundas y oligotróficas (como Alchichica y La Preciosa), lagos maars menos profundos y eutroficados (como Tecuitlapa) y la desaparición de la fase lacustre (como el Xalapazquillo). Este último, al igual que los lagos de inundación (como Tepeyahualco y Totolcingo), se consideran extremos finales de la evolución de lagos más profundos y extensos que existieron en el pasado. (Alcocer *et al.*, 2001; Álvarez, 1950; Heine, 1973; Vilaclara *et al.*, 1993, 2002).

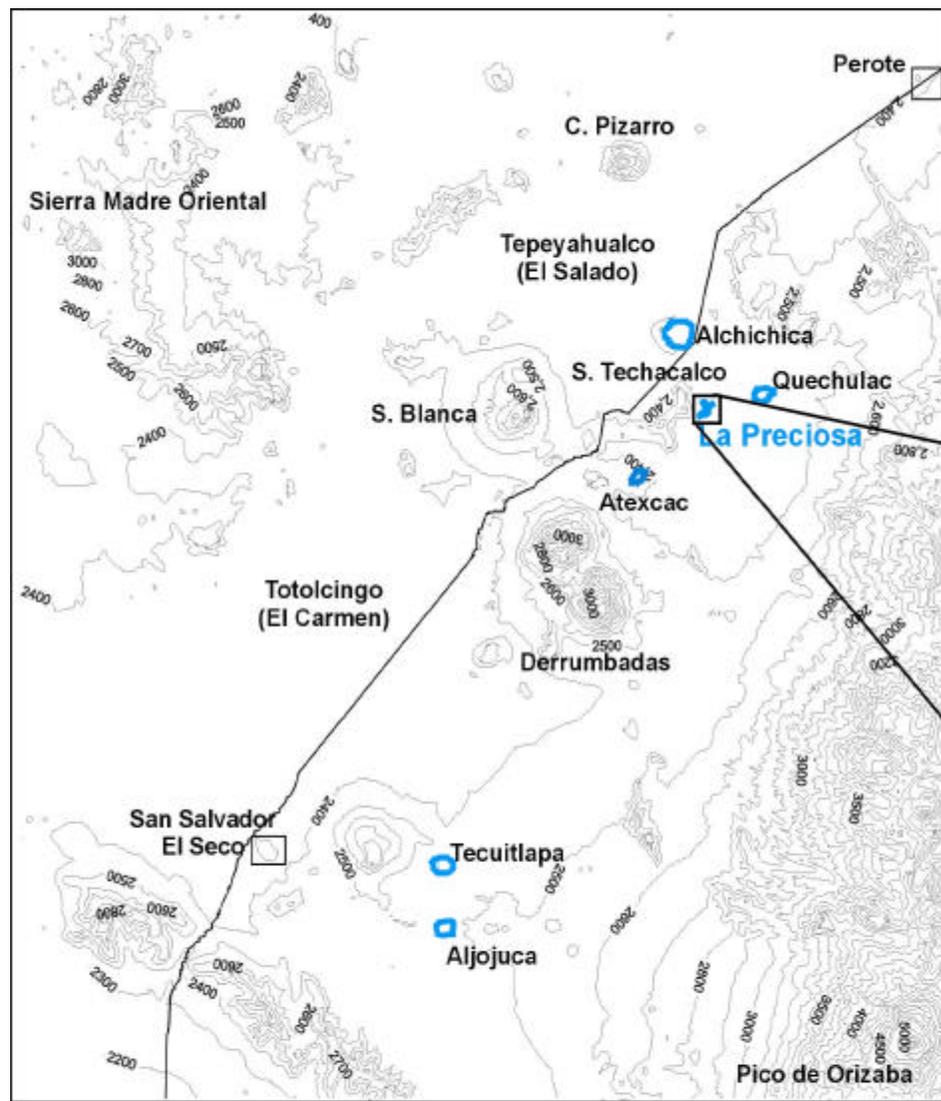


Fig. 2b

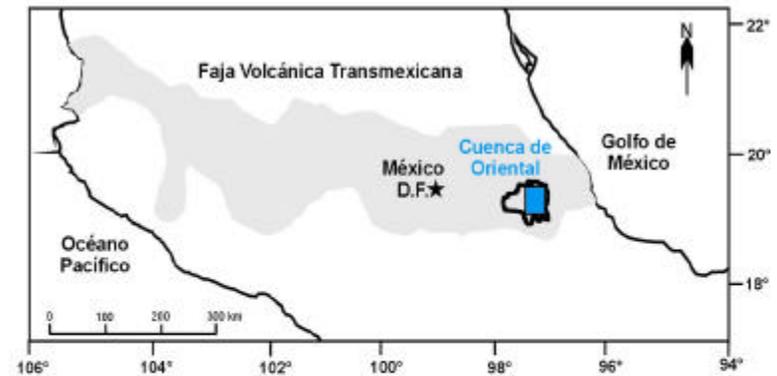


Fig. 2a

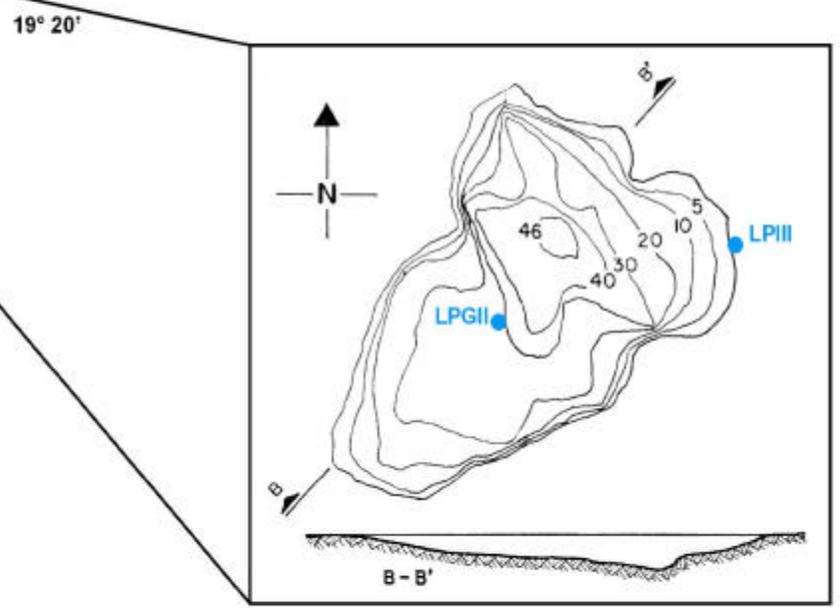


Fig. 2c

Fig. 2) Localización de la Faja Volcánica Transmexicana (2a), Cuenca de Oriental (2b) y lago La Preciosa, indicando batimetría y sitio de extracción de los núcleos de litoral LPIII y de gravedad LPGII (2c).

## V. 2) Lago maar La Preciosa (Fig. 2c y Anexo 1: figura A).

El lago La Preciosa, también conocido como Las Minas, en el estado de Puebla, se originó -al igual que los otros maars de la zona- por explosiones freáticas al entrar en contacto los materiales volátiles volcánicos con los acuíferos de profundidades someras (Gasca, 1981).

La Preciosa se localiza a los 19° 21' 23" N y a 97° 22' 27" W; la forma que presenta es más o menos triangular, aparentemente debido a varias erupciones volcánicas simultáneas (Gasca, 1981). Su cuenca está formada por cenizas semiconsolidadas de pómez y material andesítico muy fino (Alcocer, 1995; Reyes, 1979; Úbeda y Estrada, 1994). El tipo de suelo que circunda el lago es de aluvión, caracterizado por tener un relieve en planicie, permeabilidad mediana, con suelo areno-arcilloso (Úbeda y Estrada, 1994).

De acuerdo con Ordóñez (1906), el contorno de este axalapazco está formado por materiales cineríticos arrojados durante la explosión que precedió a la formación del lago, conformado básicamente por fragmentos de pizarras, calizas, rocas verdes intrusivas y basaltos. Una gran extensión de los bordes está muy poco elevada sobre la llanura y presenta una pendiente exterior apenas perceptible. Solamente por el lado noroeste hay una cresta encorvada, relativamente alta, constituida por capas inclinadas de tobas grises, con superficies escalonadas por la erosión y con pendientes fuertes que se levantan, en parte, desde las aguas del lago.

La forma irregular del axalapazco, así como la desigualdad de sus bordes -y teniendo en cuenta que la cavidad se formó en una superficie plana- hace suponer que no sólo la erosión ha sido la causa de estas irregularidades, sino que también han intervenido otros fenómenos. Cabe pensar que la acumulación de tobas en el borde oeste y noroeste de la cavidad debe haberse originado por una inclinación natural del tubo de erupción hacia esta dirección; a su vez, quizá la forma irregular y los estrangulamientos que presenta el axalapazco hayan sido determinados por dos o más explosiones causadas en puntos muy próximos y casi simultáneos (Ordóñez, 1906).

Como resultado de estas explosiones y los posteriores asentamientos, La Preciosa posee una longitud máxima de 1,340 m, anchura máxima de 920 m, línea de costa de 3,850 m, área superficial de 0.78 km<sup>2</sup>, volumen de 16.2 X 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, profundidad máxima de 45.5 m en la zona noroeste y en la parte sur una profundidad media de 20.7 m (Arredondo *et al.*, 1983; Úbeda y Estrada, 1994).

Las características limnológicas del lago en estudio (principalmente considerando la salinidad) son intermedias respecto a los otros cinco lagos maar cercanos: Alchichica y Atexcac poseen aguas atalashalinas, mientras que Quechulac, Aljojuca y Tecuitlapa son dulceacuólicas. La Preciosa es un lago considerado oligotrófico, posee una salinidad de 1.3-1.4 g/l, por lo cual no se clasifica todavía como un lago salino desde el punto de vista biológico (la frontera es de 3 g/l, Williams, 1996), pero tampoco se puede considerar estrictamente dulceacuólica (para usos humanos, la frontera es de 1 g/l, APHA, 1985). La conductividad es de 2,150  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y el pH de 8.7, considerándose como un lago alcalino, con tendencia hacia la atalashalinidad, con dominancia de sodio y magnesio sobre potasio y calcio, y de cloruros y bicarbonatos sobre sulfatos y carbonatos (Vilaclara *et al.*, 1993, 2002). Estas características confirman *a priori* la conveniencia de escoger este lago como indicador de cambios paleoambientales y recientes, puesto que se encuentra en situación que puede acercarse al límite entre aguas salinas y no salinas.

## VI. MATERIAL Y MÉTODOS

El presente estudio se engloba en una investigación más amplia, “Paleoclimas y paleoambientes del centro de México y sus implicaciones interhemisféricas”, apoyado por CONACyT G-28528T y “Registro de fluctuaciones climáticas de variación corta en sedimentos lacustres de la Cuenca de Oriental, México” apoyado por CONACyT 075PÑ-1297. En este marco de referencia, el trabajo se enfocó en estudiar la distribución de los ostrácodos en dos núcleos y su comparación con otros “proxies” de cambio ambiental en la zona.

### VI. 1) Muestreo de campo (Anexo 1: figura A, B, C)

Durante junio de 1998, en el lago La Preciosa, Pue., se perforaron cuatro núcleos litorales (LPI de 42 cm, LPII de 44 cm, LPIII de 51 cm, LPIV de 18 cm) y tres núcleos de gravedad (LPGI de 61 cm, LPGII de 72 cm y LPGIII de 67 cm). La finalidad de recuperar núcleos en el centro del lago recae en el hecho de que es posible inferir de manera más exacta los eventos sucedidos en el interior del lago al presentarse un registro sedimentario continuo y una menor interferencia por procesos alóctonos.

Al revisar los núcleos recuperados en el litoral se observó que tenían una secuencia estratigráfica muy similar, por lo que el núcleo más largo -LPIII de 51 cm (19° 22' 02" N y 97° 23' 17" W)- fue seleccionado como secuencia maestra. En el caso de los núcleos de gravedad también se eligió el más largo -LPGII de 72 cm (19° 22' 01" N y 97° 23' 18" W)-, el cual fue obtenido bajo un mayor tirante de agua (profundidad de 25 m) y, además, se pudo fechar.

El equipo de perforación en litoral es un muestreador de suelos marca Eijelkamp que sólo puede operarse “en seco” (Anexo 1: figura B). Consta de una camisa de acero inoxidable dentro de la cual se coloca el tubo muestreador de PVC. La camisa se introduce en los sedimentos mediante presión manual o mediante el uso de un motor de percusión. La camisa se recupera mediante un sistema de palanca y un balero de seguridad (balero cónico). Finalmente, se extrae el tubo de PVC y se sella.

En el caso de los núcleos de gravedad (Anexo 1: figura C), no se contaba con experiencia en la extracción de sedimentos bajo un tirante de agua considerable; para ello fue necesario seleccionar, construir e implementar el uso de un equipo totalmente nuevo. El equipo empleado fue un nucleador de gravedad tipo mini-Kullenbergh ([http://lrc.geo.umn.edu/Core\\_Facility/Core\\_Retrieval/LRC-ETH\\_Kullenberg\\_System/lrceth\\_kullen\\_berg\\_system.html](http://lrc.geo.umn.edu/Core_Facility/Core_Retrieval/LRC-ETH_Kullenberg_System/lrceth_kullen_berg_system.html)). El uso de este

equipo presentó algunas dificultades, teniendo que readaptar algunas piezas para su buen funcionamiento. Este sistema consta de un mecanismo de pistón que se coloca dentro de un tubo muestreador de PVC. El tubo de PVC va unido a un sistema de gatillo que dispara la caída del lastre cuando el equipo se encuentra aproximadamente a 50 cm del fondo. Como parte complementaria de este equipo de perforación, se diseñó una plataforma en colaboración con el Taller de Equipo para Laboratorio de Enseñanza (TELE) de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM; la plataforma es bastante ligera para ser transportada con facilidad, y con suficiente flotabilidad como para permitir recuperar el equipo; básicamente consiste en un marco de aluminio, una base de madera y cámaras de neumáticos para permitir la flotación.

## **VI. 2) Muestreo de laboratorio**

Los núcleos seleccionados para los diversos estudios (LPIII y LPGII) se dividieron en mitades longitudinales para fotografiarlos, realizar su descripción y hacer una estimación del carácter granulométrico con base en la observación y el tacto (Carranza, 1997). Una mitad fue conservada como referencia y la otra muestreada cada dos centímetros o ajustándose a la estratigrafía. Las muestras separadas se emplearon para diversos análisis: a) cronológico; b) ostrácodos; c) susceptibilidad magnética; d) pérdida por ignición.

Este proceso se realizó en el Laboratorio de Paleolimnología del Instituto de Geofísica.

## **VI. 3) Cronología**

En todo estudio paleolimnológico es necesario contar con un marco cronológico de referencia. En sedimentos lacustres del Cuaternario tardío (ca. últimos 50,000 años), éste procede frecuentemente de aplicar la técnica del radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ). Al realizar dicho análisis en sedimento total se pueden tener errores por contaminación y, por lo tanto, fechas “incorrectas” debido a la presencia de carbono antiguo o moderno. El primer caso se puede dar por la existencia de rocas calizas cretácicas, mientras que el segundo caso puede resultar de reaccionar con el agua de lluvia o con agua subterránea (Bradley, 1999; Brown *et al.*, 1989; Lowe y Walker, 1997; Terasmae, 1984). En la Cuenca de Oriental se presentan afloramientos de rocas Terciarias carbonatadas, por lo que la entrada de material impide usar los carbonatos para fechar debido al efecto del carbono “viejo”. En este tipo de ambientes, los organismos acuáticos asimilan el carbono disponible, lo que ocasiona una dilución en la cantidad de  $^{14}\text{C}$  presente en sus cuerpos, dando una relación  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  menor y, por tanto, proporcionándoles una edad aparente que en algunos casos puede llegar a ser más antigua por varios miles de años (Bradley, 1999; Lowe y Walker, 1997; Williams *et al.*, 1993).

Este problema se pudo evitar al aislar y utilizar únicamente los granos de polen presentes en la muestra para su posterior fechamiento por AMS (Brown *et al.*, 1989). La elección de las muestras a fechar se hizo de acuerdo con la presencia de suficiente polen para realizar el análisis del radiocarbono. Se intentó obtener material del núcleo de litoral, pero no fue posible recuperar polen. Finalmente, la muestra que se logró fechar porque contenía suficiente polen fue la del núcleo LPGII a 70-72 cm, que corresponde a la parte final del mismo (Tabla 1). La extracción de polen fue realizado en el Departamento de Palinología del Instituto de Geología, por la M. en C. Ma. Susana Sosa Nájera.

El material obtenido fue enviado para su fechamiento, al INSTAAR Laboratory for AMS Radiocarbon Preparation and Research, de la Universidad de Colorado en Boulder ([http://www.colorado.edu/INSTAAR/Radiocarbon DatingLab](http://www.colorado.edu/INSTAAR/RadiocarbonDatingLab)).

#### **VI. 4) Susceptibilidad magnética**

La susceptibilidad magnética es una medida de la concentración y tipo de minerales magnéticos presentes en una muestra. Estos datos constituyen un elemento útil en estudios paleoambientales, ya que facilitan establecer correlaciones entre secuencias sedimentarias provenientes de una misma cuenca. Así mismo, debido a que una gran parte de la fracción magnética presente en los sedimentos lacustres ha sido transportada por las corrientes que drenan la cuenca, el tipo y la cantidad de minerales magnéticos presentes en una muestra pueden variar y están relacionados con los procesos de intemperismo y erosión de la región (Thompson *et al.*, 1975).

Dichas variaciones pueden deberse a procesos tales como la sucesión vegetal y el desarrollo de suelos (Oldfield *et al.*, 1978 y 1983 en Ortega, 1992), debido a que los periodos con pobre desarrollo de una cubierta vegetal, inestabilidad del suelo y soliflucción están caracterizados por aumentos en los valores de susceptibilidad magnética. Los episodios con un amplio desarrollo de bosques y maduración del suelo originan valores mínimos de susceptibilidad (Ortega, 1992). Se sabe que los cambios en la susceptibilidad de los sedimentos lacustres están correlacionados positivamente con variaciones en la cantidad de material alóctono presente (Barendregt, 1984; Ortega *et al.*, 2000; Thompson *et al.*, 1975).

La susceptibilidad magnética de los núcleos se midió en la mitad intacta mediante un susceptibilímetro Bartington de anillo y se expresó en unidades adimensionales en S.I. ( $k \times 10^{-5}$  S.I.). Este análisis se realizó en el laboratorio de Magnetismo de Rocas del Instituto de Geofísica de la UNAM por la Dra. Ana Ma. Soler Arechalde.

## VI. 5) Pérdida por ignición (PPI)

Esta técnica estima la cantidad de carbono orgánico e inorgánico que puede estar presente en una muestra. El contenido de materia orgánica autógena y alogénica presente en los sedimentos es un indicador burdo de la productividad pasada, es decir, de la biomasa presente en la cuenca (Mackereth, 1966; Digerfeldt, 1972; Cato, 1977 y Håkansson, 1983 en Bengtsson y Enell, 1986).

El contenido de carbonatos indica periodos de condiciones favorables para el depósito de este tipo de sales, normalmente relacionado con la naturaleza del material que conforma la cuenca, con la química de la columna de agua (alcalinidad elevada, pH básicos), porque al contener una gran cantidad de sales o minerales en situación de sobresaturación, éstos tienden a precipitar y formar compuestos ricos en carbonatos, etc. Tales fenómenos suceden generalmente asociados con procesos de aumento de temperatura y evaporación más intensos (Jones y Browser, 1978; Kelts y Hsü, 1978).

La cantidad de materia orgánica y de carbonatos presentes en la muestra se determina de manera relativamente rápida. Consiste en quemar una cantidad conocida de sedimento seco a 550°C por dos horas y expresar la diferencia de peso como porcentaje de materia orgánica presente; de la misma forma, una segunda calcinación a 925°C por dos horas permite extrapolar el porcentaje de carbonatos presentes.

La determinación se realizó, en el Laboratorio de Paleolimnología del Instituto de Geofísica, mediante el siguiente protocolo (Bengtsson y Enell, 1986):

- a) Calentar un crisol de porcelana por 1 hr. a 550°C en una mufla.
- b) Enfriar a temperatura ambiente en un desecador y determinar el peso del crisol con una exactitud de  $\pm 0.1$  mg ( $x_1$ ).
- c) Transferir un volumen de muestra fresca al crisol en un horno de convección a  $105 \pm 2^\circ\text{C}$  por aproximadamente 12 hrs. para deshidratar la muestra y obtener un peso constante ( $x_2$ ).
- d) Colocar el crisol con la muestra seca en una mufla durante 2 hrs. a 550°C y determinar el peso de las cenizas más el crisol ( $x_3$ ).
- e) Colocar el crisol con la muestra calcinada en una mufla a 925°C durante 4 hrs. y determinar el peso de las cenizas más el crisol ( $x_4$ ).

Cálculos:

$$x_2 - x_1 = w_1$$

$$x_3 - x_1 = w_2$$

$$x_4 - x_1 = w_3$$

Si tenemos que  $w_1 = 100\%$  de la muestra, entonces:

$$\%M.O. = w_2(100) / w_1$$

$$\%CO_3 = [(w_2 - w_3) 1.36]100 / w_1$$

Donde :

$w_1$  = Peso de sedimento seco

$w_2$  = Peso sedimento seco posterior a calcinación a 550°C, sin materia orgánica.

$w_3$  = Peso sedimento seco posterior a calcinación a 925°C, sin materia orgánica ni carbonatos.

$\%M.O.$  = Es el porcentaje de materia orgánica presente en la muestra.

$\%CO_3$  = Es el porcentaje de carbono inorgánico expresado como carbonatos presentes en la muestra (1.36 es el factor de corrección resultado del peso molecular del  $CO_3$  entre el peso molecular del  $CO_2$ ).

## VI. 6) Análisis biológico

Para la extracción de ostrácodos a partir de los sedimentos en el Laboratorio de Paleolimnología del Instituto de Geofísica, primeramente se tomaron muestras de los horizontes donde se observó algún cambio estratigráfico (9 muestras de LP III y 8 muestras de LP GII), siendo éstas las que se procesaron mediante el siguiente protocolo (Machain com. pers., 1999; Vázquez, 1996):

- a) Se secó el sedimento en cápsulas de porcelana en un horno a 40°C.
- b) Se separaron 3 g de material seco.
- c) Se lavó con agua corriente a poca presión a través de un juego de tamices (No. 60, 100 y 250) con apertura de malla de 240, 140 y 66 micras, lo que permitió retener las testas de los ostrácodos y eliminar el sedimento menor a 66  $\mu m$ . Cabe mencionar que entre muestra y muestra, los tamices se lavaban y se les adicionaba azul de metileno al 1%, que tiñe el carbonato de calcio, es decir, las conchas de la muestra previa. Esto sirve para reconocer alguna fuente de contaminación.
- d) Se colocó el material obtenido en cápsulas de porcelana y se secó en horno a 40°C.
- e) Se pesó el material seco y se guardó en bolsitas.
- f) Se realizó la separación de los ostrácodos mediante un microscopio estereoscópico marca Olympus modelo SZ11, usando una charolita con numeración en donde se fue vaciando poco a poco el sedimento (mientras menor fue la cantidad, mejor se pudieron separar los organismos; se recomienda una sola capa cada vez) y se fue buscando por cuadrantes, separando los organismos con ayuda de un pincel 10/0.

- g) Se identificaron las especies encontradas y se realizó una colección de referencia en laminillas micropaleontológicas de cada horizonte muestreado.
- h) Se efectuó un conteo de todas las valvas para determinar las abundancias absolutas y relativas de cada especie registrada.

Para la determinación taxonómica, se utilizó como herramienta auxiliar un microscopio electrónico de barrido (MEB) Cambridge-Leica 440, con distancia de trabajo (dt) de entre 9 y 15 mm; el manejo del microscopio y la toma de las microfotografías fue realizado por el Dr. José Guzmán Mendoza, del Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM. Asimismo, se empleó otro MEB Cambridge-Leica 360, con dt entre 3 y 6 mm, de los Serveis Científic-Tècnics de la Universidad de Barcelona, España; el manejo del microscopio y la toma de las microfotografías fue realizado por la Dra. Gloria Vilaclara Fatjó, de la FES-Iztacala, UNAM.

Las referencias bibliográficas utilizadas para la determinación taxonómica y para conocer las preferencias ecológicas fueron principalmente: Anadon *et al.*, 1994; Bridgwater *et al.*, 1999a, 1999b; Bronshtein, 1988; Carreño, 1990; De Deckker y Forester, 1988; De la Vega *et al.*, 2000; Delorme, 1969, 1970a, 1970b, 1970c, 1971, 1990; Ducasse *et al.*, 1983; Flores, 1965; Forester, 1987; Furtos, 1933, 1936; Gandolfi *et al.*, 2001; Heaton *et al.*, 1995; Henderson, 1990; Holmes, 1992, 1998; Horne *et al.*, 2002; Kaufman *et al.*, 2002; Külköylüoglu y Vinyard, 2000; Lamb *et al.*, 2000; Löffler, 1986, 1997; Lowe y Walker, 1997; Meisch, 2000; Mezquita *et al.*, 1999; Moore, 1961; Neale, 1988; Palacios-Fest *et al.*, 1993; Peypouquet *et al.*, 1980, 1981, 1983; Porter *et al.*, 1999; Rinderhasen *et al.*, 2000; Schwalb *et al.*, 1995; Schwalb y Dean, 1998; Smith, 1993; Smith *et al.*, 2002; Tressler, 1954; Vance *et al.*, 1997; Van Doninck *et al.*, 2003; Whatley y Maybury, 1990. Además, para corroborar que la identificación de las especies fuera correcta, se contó con el apoyo de especialistas en el área: Rick Forester -del U. S. Geological Survey, Denver, Colorado- y Manuel R. Palacios-Fest -del Terra Nostra-Earth Sciences Research, Tucson, Arizona-.

#### **VI. 7) Análisis de correlación no paramétrica (r-Spearman)**

Se llevó a cabo un análisis de correlación no paramétrica (r-Spearman, r-S) mediante el programa Statistica/v 5.0, con el fin de encontrar tendencias de variación conjunta o contrapuesta entre los diferentes proxies registrados en los núcleos. La correlación no paramétrica permite inferir la tendencia de datos que no siguen una distribución normal (no se distribuyen según la curva de Gauss), y que varían en forma semejante (correlación positiva) o contraria (correlación negativa). Cuanto más cercana a uno sea la correlación, más fuerte es ésta, mientras que las

correlaciones cercanas a cero indican una falta de relación entre variables. Para que la correlación se considere significativa, la probabilidad ha de quedar dentro del 90% (o nivel de significancia  $p < 0.1$ ) (Sokal y Rohlf, 1969; StatSoft Inc., 1998).

Es importante hacer notar que las correlaciones sólo indican una tendencia de cambio entre pares de variables y no implican obligatoriamente la existencia de relación directa y/o causal entre ellas; ésta puede existir o bien puede deberse a que ambas se relacionan no entre sí, sino con algún otro factor no considerado en el análisis.

Para datos biológicos es común encontrar correlaciones relativamente bajas pero significativas; por tal motivo, para la descripción e interpretación de los datos en este trabajo se tomaron en cuenta solamente las especies con correlaciones cuyo valor absoluto supera el 0.4 con un nivel de significación  $p < 0.1$ . Se realizaron los siguientes análisis:

- 1) Comparación del número absoluto de las especies de ostrácodos (en núm. total de individuos/g de sedimento seco), tanto por separado en cada núcleo (litoral LPIII y gravedad LPGII) como considerando ambos núcleos a la vez.
  
- 2) Comparación entre ostrácodos (en núm. total de individuos/g sedimento seco) y otros descriptores como: abundancia total de diatomeas (en núm de frústulas/g peso seco, datos de Rodríguez, 2002), susceptibilidad magnética (en SI), carbono inorgánico (en %), minerales (como evaporitas, micas, plagioclasas, etc., medidos en % de área bajo el difractograma, datos obtenidos de difracción de rayos X en Rodríguez, 2002). Al igual que en los análisis anteriores, se compararon los resultados de los dos núcleos por separado (3a) y juntos (3b).

## VII. RESULTADOS

### VII. 1) Estratigrafía

**LPIII.** Núcleo de litoral con longitud total de 51 cm (Fig. 3)

Extraído en la orilla Noreste del lago (Fig. 2).

00-06 cm	Limo arenoso, color café claro, el grano de las arenas es más fino en la base.
06-14 cm	Zona limo arcillosa, color café claro que pasa a gris conforme aumenta la profundidad. La cantidad de macrorrestos vegetales aumenta en la base.
14-27 cm	Arena fina, negra, con presencia de macrorrestos vegetales con mayor densidad en la parte superior.
27-45 cm	Arena gris (granos claros y oscuros) con macrorrestos vegetales color rojo.
45-51 cm	Arena gris mezclada con limos. Existe un progresivo cambio de tonalidad del sedimento, mostrándose más claro hacia la parte más profunda.

**LPGII.** Núcleo de gravedad con longitud total de 72 cm (Fig. 3).

Extraído a 25 m de profundidad (Fig. 2).

0-1 cm	Arena y limo café oscuro. Presencia de testas de ostrácodos.
1-15 cm	Arcilla color café grisáceo que se torna café oscuro al oxidarse.
15-17 cm	Lente de gravas pequeñas en una matriz arenosa.
17-23 cm	Arcilla color café grisáceo que se torna café oscuro al oxidarse.
23-39 cm	Arcilla color café oscuro con gravas de hasta 5 mm.
39-72 cm	Arcilla de color café gris-verdoso.

### VII. 2) Cronología

Muestra	Tipo de material	Profundidad	Clave laboratorio*	Edad de radiocarbono	Intervalo de Edad calibrada
LPGII	Polen	70-72 cm	NSRL-11636	3,680 ± 50 AP	3,963-4,087 AP

**Tabla 1.** Datos principales de la muestra enviada a fechar al INSTAAR Laboratory for AMS Radiocarbon Preparation and Research de la Universidad de Colorado en Boulder. La calibración de la edad de la muestra se realizó con el programa "Radiocarbon Calibration Program CALIB Rev. 4.3" (2000).

### **VII. 3) Susceptibilidad Magnética y Pérdida por ignición (PPI).**

#### **Núcleo LPIII (Fig. 3)**

En general, la susceptibilidad magnética en este núcleo es relativamente alta comparando con el núcleo LPGII. Se muestran valores bajos en un inicio desde los 50 cm hasta los 35 cm, con valor máximo de  $26 \times 10^{-5}$  SI, aumentando ligeramente hasta  $31 \times 10^{-5}$  SI a los 26 cm. A partir de este punto, se registra un aumento considerable hasta un máximo de  $54 \times 10^{-5}$  SI a los 20 cm, a partir del cual comienza a bajar progresivamente hasta  $20 \times 10^{-5}$  SI a los 11 cm y así hasta disminuir a  $2 \times 10^{-5}$  SI en la superficie del núcleo.

En cuanto a la PPI, la materia orgánica prácticamente se mantiene estable, con valores bajos de alrededor de 4-5% desde los 50 cm hasta los 30 cm, para a continuación disminuir hasta 3% a los 20 cm. A partir de este punto, nuevamente comienza a aumentar hasta llegar a su máximo de 8% a los 10 cm.

El porcentaje de carbonatos muestra una relación inversa con la susceptibilidad magnética, registrando valores de hasta 35% a los 49 cm, disminuyendo de manera paralela conforme aumentaba la susceptibilidad, llegando a un valor mínimo de 8% a los 20 cm; a partir de este punto, nuevamente comienza a aumentar para llegar a un valor de 26% a los 11 cm.

#### **Núcleo LPGII (Fig. 4)**

En este núcleo, la susceptibilidad magnética es en general baja, comenzando a los 61 cm con valores de  $7 \times 10^{-5}$  SI y continuando hasta los 40 cm con lecturas entre  $7-10 \times 10^{-5}$  SI. Aquí se inicia un ligero aumento, llegando hasta la lectura máxima registrada de  $17 \times 10^{-5}$  SI a los 30 cm, punto a partir del cual comienza otra vez a disminuir hasta  $13 \times 10^{-5}$  SI a los 23 cm, para nuevamente subir hasta  $17 \times 10^{-5}$  SI a los 16 cm. Finalmente, a partir de ahí comienza a disminuir ligeramente, llegando a  $13 \times 10^{-5}$  SI a los 11 cm, manteniéndose en ese intervalo hasta la parte superior del núcleo.

La PPI da como resultado valores muy homogéneos a lo largo de todo el núcleo; la materia orgánica inicia con un valor de 8% a los 60 cm, manteniéndose estable y disminuyendo ligeramente a 7% a los 11cm y a 5% en la parte superior del núcleo.

En cuanto a los carbonatos, las lecturas también son muy homogéneas. El valor inicial es relativamente alto, con un 26% a los 60 cm, disminuyendo a 24% a los 37 cm. A 11 cm el valor es de 19%, para finalmente caer hasta el 13% a 1 cm de la superficie.

## VII. 4) Análisis biológico: Ostrácodos

En los dos núcleos estudiados de La Preciosa (Fig. 3 y 4) se registró la presencia de cuatro géneros y cuatro especies. Su distribución dentro de los núcleos fue relativamente homogénea, tanto estratigráficamente como entre los núcleos estudiados.

### VII. 4a) Clasificación taxonómica y descripción de las especies

La clasificación que se utilizó es la propuesta en el "Treatise on Invertebrate Paleontology" (Moore, 1961) y, cuando fue necesario, se complementó con Delorme (1970a, 1970b, 1970c, 1971) y Meisch (2000). Las especies que se encontraron corresponden a:

PHYLUM Arthropoda Siebold & Stannius, 1845

SUBPHYLUM Mandibulata Clairville, 1798

CLASE Crustacea Pennant, 1777

SUBCLASE Ostracoda Latreille, 1806

ORDEN Podocopida Müller, 1894

SUBORDEN Podocopina Sars, 1866

**SUPERFAMILIA** Cypridacea Baird, 1845

**FAMILIA** Cyprididae Baird, 1845

**SUBFAMILIA** Candoninae Daday, 1900

**GÉNERO** *Candona* Baird, 1845 [\**Cypris reptans* Baird, 1835][=*Erpetocypris* Brady & Norman, 1889 (obj.); *Herpetocypris* Sars, 1890 (obj.)]

***Candona patzcuaro* Tressler, 1954** (Lámina 1 fig. 1-5, Lámina 2 fig. 1-2).

Su descripción corresponde a la del género (Delorme, 1970b; Moore, 1961; Tressler, 1954), pues entre los aspectos más significativos se tiene que la forma que presentan los adultos es reniforme y la de los juveniles ovalada. La valva tiene la zona dorsal arqueada y la ventral cóncava; extremos redondeados, el posterior más ancho; valva izquierda más larga que la derecha; superficie lisa y con puntos dispersos. De acuerdo con las características de la superfamilia y que coinciden con la especie encontrada en La Preciosa, las cicatrices musculares están divididas en dos grupos: uno con seis cicatrices que corresponden a músculos abductores y el otro, en posición más anteroventral, con dos pequeñas cicatrices de músculos mandibulares. Con respecto a los datos reportados sobre el tamaño de la especie observamos que los organismos encontrados en La Preciosa entran en el intervalo reportado por Delorme (1970b, que es en hembras una longitud de 0.99-1.2

mm, altura de 0.56-0.68 mm y anchura de 0.48-0.56 mm, mientras que los machos son de longitud de 1.12-1.35 mm, altura de 0.66-0.79 mm y anchura de 0.56-0.59 mm) y por Tressler (1954, reporta en machos longitud de 1.12-1.30 mm y altura de 0.68 mm), pues en los organismos encontrados las hembras adultas miden entre 0.97-0.98 mm de longitud y 1.12-1.23 mm los machos adultos, mientras que los juveniles van de 0.51-0.69 mm.

Se reportan desde el Terciario hasta la época reciente (Moore, 1961). Su reproducción es singámica y ocasionalmente pueden presentar reproducción por partenogénesis (Bronshtein, 1988; Delorme, 1970b; Moore, 1961). Presentan dimorfismo sexual muy marcado y un ciclo de vida largo (Bronshtein, 1988). Estos organismos viven en aguas alcalinas (Tressler, 1954), dulces o poco salinas, aunque toleran cambios de salinidad; en general, su presencia indica baja a moderada salinidad (han sido reportados en salinidad máxima 5.3‰, aunque el género tiene su óptimo a baja salinidad) (Forester, 1987; Moore, 1961; Palacios-Fest *et al.*, 1993). No tolera las aguas ácidas (Moore, 1961). Se encuentran en regiones semiáridas (Delorme, 1970b), con pH 8.6-9.0 (Carreño, 1990). Diversas especies de este género se han reportado en ambientes litorales, arenosos (Anadon *et al.*, 1994; Löffler, 1997; Moore, 1961) y sin vegetación (Heaton *et al.*, 1995).

Aunque el presente estudio no se ha enfocado en la distribución actual de los ostrácodos en La Preciosa, el ciclo de vida largo de *Candona patzcuaro* y su hábito litoral-bentónico disminuyen la probabilidad de encontrarlo en fondos de lagos mexicanos como La Preciosa, con relación morfométrica entre superficie y profundidad relativamente baja, y con varios meses al año con hipolimnion anóxico (comportamiento característico de lagos cráter comparativamente profundos en la Faja Volcánica Transmexicana, Alcocer *et al.* 2000). Asimismo, Porter y colaboradores (1999) mencionan que su presencia va a estar relacionada con niveles lacustres estables y sin grandes fluctuaciones estacionales debido a que requiere de al menos seis meses de condiciones relativamente estables para alcanzar la madurez.

**SUPERFAMILIA** Cypridacea Baird, 1845

**FAMILIA** Cyprididae Baird, 1845

**SUBFAMILIA** Cypridopsinae Kaufmann, 1900

**GÉNERO** *Potamocypris* Brady, 1870 [\**Bairdia fulva* Brady, 1868]

***Potamocypris* cf. *unicaudata* Schäfer, 1943** (Lámina 2 fig. 3)

No se ha podido determinar la especie con seguridad, porque los ejemplares fueron escasos y estaban mal preservados. No obstante, considerando la opinión de los especialistas en el grupo (Forester y Palacios-Fest, ambos com. pers., 2002), revisando las características para el género indicadas por Moore (1961) y para la especie descrita por Delorme (1970a) y Meisch (2000), se observa una estrecha semejanza entre los individuos encontrados en La Preciosa y la especie *Potamocypris unicaudata*. Se trata de organismos con valvas alargadas-reniformes, comprimidas, más delgadas en la parte media; dorso moderadamente arqueado; vientre cóncavo; márgenes terminales extendidos hacia abajo, la parte posterior ligeramente más estrecha; superficie densamente punteada. Sin embargo, al comparar los organismos de La Preciosa con las ilustraciones representadas por Moore (1961), observamos que los extremos no están tan extendidos hacia abajo, lo que hace que el vientre no se observe tan cóncavo como se ilustra, situación que -de todas formas- no se manifiesta tan marcada en los dibujos representados por Delorme (1970a) y Meisch (2000). Además, el tamaño de uno de los individuos adultos hallados y que está en las mejores condiciones, es de 0.68 mm de longitud, medida que es ligeramente menor a lo reportado para esta especie (longitudes de 0.71-0.89 mm, alturas de 0.43-0.55 mm y anchuras de 0.25-0.35 mm de acuerdo a Delorme [1970a]; y longitudes de 0.71-0.89 mm según Meisch [2000]). Considerando todo lo anterior, se decidió dejar como “*confer*” a los ejemplares encontrados en La Preciosa.

Se reportan del Cretácico hasta la época reciente. Los machos son difíciles de encontrar, su reproducción es generalmente partenogenética y a veces mixta. Habita cuerpos de agua dulce o poco salinos, se reporta en intervalos de salinidad de 0.1 a 4.2‰. Encontrada en aguas alcalinas, con pH 7.1-11.1. Habita entre plantas acuáticas y principalmente en zonas litorales a no más de 2 m de profundidad. (Delorme, 1970a; Flores, 1965; Meisch, 2000; Moore, 1961; Palacios-Fest com. pers., 2002). *Potamocypris unicaudata* es una especie nectónica, de zonas litorales con vegetación acuática, se puede asociar con filtraciones, salidas de aguas subterráneas o de agua del manto freático, además es indicativa de condiciones poco o nada salinas (Vance, *et al.*, 1997). Por otro lado, Smith (1993) y Smith y colaboradores (2002) encuentran que esta especie se relaciona con parámetros y especies eurihalinas que pueden tolerar mayor salinidad.

**SUPERFAMILIA** Darwinulacea Brady & Norman, 1889

**FAMILIA** Darwinulidae Brady & Norman, 1889

**GÉNERO** *Darwinula* Brady & Robertson, 1885 [*pro Darwinella* Brady & Robertson, 1872 (*non* Müller, 1865); \**Polycheles stevensoni* Brady & Robertson, 1870]

***Darwinula stevensoni* Brady & Robertson, 1870** (Lámina 2 fig. 4-6).

La descripción de los ejemplares de La Preciosa corresponde a la del grupo (Delorme, 1970b; Meisch, 2000; Moore, 1961), pues presenta valvas alargadas-ovaladas, lisas, con las características específicas que se mencionan sobre la valva, como: lustre aperlado, con margen dorsal convexo y ventral ligeramente cóncavo (casi recto), el extremo anterior está adelgazado y el posterior redondeado; valva derecha ligeramente más larga que la izquierda; charnela formada por la simple sobreposición de la valva derecha.

La cicatriz muscular comprende aproximadamente una docena de puntos alargados (Moore, 1961), aunque -según Horne y colaboradores (2002)- pueden ser de cinco a diez, arreglados radialmente, o -según Bronshtein (1988)- pueden ser nueve, y -de acuerdo a Meisch (2000)- pueden ser de 8 a 11. Al considerar esta última característica, se observa que los organismos de La Preciosa tienen once cicatrices musculares arregladas en forma de roseta. A diferencia del arreglo de las cicatrices, su número no se considera una característica para reconocer especies (Palacios Fest com. pers., 2002), lo cual es obvio al considerar las distintas cantidades reportadas por los autores.

Con respecto al tamaño, se observa que los organismos de La Preciosa están en el mínimo reportado para la especie, pues los adultos miden entre 0.65-0.67 mm de longitud (Delorme [1970c] reporta longitudes de 0.66-0.83 mm, alturas de 0.27-0.35 mm y anchuras de 0.24-0.36 mm; Meisch [2000] dice que pueden tener longitudes de 0.63-0.80 mm; y Bronshtein [1988] y Gandolfi y colaboradores [2001] indican una longitud de 0.75 mm).

Se cree que se originan en el Ordovícico, pero con seguridad se encuentran desde el Carbonífero a la época reciente (Gandolfi *et al.*, 2001; Holmes, 1998; Kùlköylüoglu y Vinyard, 2000; Moore, 1961; Palacios-Fest com. pers., 2002). No existen machos; su reproducción es por partenogénesis; la hembra retiene los huevos en una cavidad posterior y de esta manera pueden resistir condiciones adversas durante su desarrollo (Bronshtein, 1988; Delorme, 1970c; Gandolfi *et al.*, 2001; Kùlköylüoglu y Vinyard, 2000; Meisch, 2000; Moore, 1961). Presentan un ciclo de vida largo, pues puede ser de 1 año en zonas tropicales a 4 años en zonas frías (Gandolfi *et al.*, 2001; Palacios-Fest com. pers., 2002), aunque datos recientes en zonas templadas con inviernos fríos reducen el ciclo a 8 meses (Van Doninck *et al.*, 2003).

Pueden presentarse en lagos y cuerpos de agua estacionales que no llegan a desecarse (Holmes, 1998), aunque prefieren márgenes someros de lagos permanentes, predominando en la región litoral (Bronstein, 1988; Delorme, 1970c; Gandolfi *et al.*, 2001; Holmes, 1998; Mezquita *et al.*, 1999). También se menciona que esta especie se encuentra relacionada con descargas de acuíferos o con agua del manto freático y suele ser frecuente en manantiales (Kaufman *et al.*, 2002; Schwalb *et al.*, 1995; Schwalb y Dean, 1998). El género se encuentra en aguas tranquilas y/o con vegetación, donde el oleaje es mínimo (Moore, 1961); se han reportado también en fondos arenosos o arcillosos, como bentónicos (Gandolfi *et al.*, 2001; Kulköylüoglu y Vinyard, 2000; Meisch, 2000).

Son de agua dulce, aunque toleran una ligera salinidad; se consideran oligohalinos, pues son más fácilmente encontradas en bajas salinidades. Bridgwater y colaboradores (1999b) y De la Vega y colaboradores (2000) la consideran una buena indicadora de baja salinidad o de etapas poco salinas y cuerpos de agua permanentes. Delorme (1969) y Henderson (1990) mencionan que la tolerancia a la salinidad puede abarcar el intervalo máximo de 0.75-1.8‰, aunque según Holmes (1992) y Meisch (2000) pueden ser considerados mesohalinos, ya que llegan a tolerar hasta 15‰; habitan en zonas con pH de 8.8 a 9.1 (Carreño, 1990; Furtos, 1933, 1936; Holmes, 1998; Kulköylüoglu y Vinyard, 2000).

No resisten la desecación (Holmes, 1998). Son más comunes en aguas con elevado contenido de oxígeno (Kulköylüoglu y Vinyard, 2000; Mezquita *et al.*, 1999), siendo indicadoras de cuerpos de agua con fondo bien oxigenado (Lamb *et al.*, 2000). Son euritermales (pueden estar en casi todos los intervalos de temperatura), pero prefieren aguas cálidas (Bronstein, 1988; Gandolfi *et al.*, 2001; Holmes, 1992; Kulköylüoglu y Vinyard, 2000; Mezquita *et al.*, 1999). Bridgwater y colaboradores (1999b) asocian el incremento y decremento en su población con un aumento o disminución en los valores de  $^{18}\text{O}$ , indicando periodos muy húmedos con su incremento y etapas de marcada aridez con su decremento.

Como en el caso de *Candona patzcuaro*, su largo ciclo de vida restringe encontrarlo en zonas profundas de La Preciosa. Además, debido a que su caparazón es delicado -razón por la que no tolera oleaje fuerte (Moore, 1961)- y su hábito litoral, probablemente se encuentre en La Preciosa protegido por vegetación sumergida.

**SUPERFAMILIA** Cytheracea Baird, 1850

**FAMILIA** Limnocytheridae Klie, 1938

**GÉNERO** *Limnocythere* Brady, 1868 [\**Cythere inopinata* Baird, 1843]

***Limnocythere itasca* Cole, 1949** (Lámina 3 fig. 1-6).

Su descripción corresponde a la del género (Delorme, 1971; Moore, 1961), ya que los organismos hallados en La Preciosa son de valvas delgadas en comparación con *Candona patzcuaro*, aunque más grueso que el de *Darwinula stevensoni*. Las valvas presentan o no cuernos, retículos, tubérculos, nodos o espinas en la superficie; áreas marginales anchas, con numerosos canales radiales; vestíbulo poco desarrollado. Con respecto a las cicatrices musculares, se presentan cuatro abductoras, una oval mandibular enfrente y cicatrices adicionales posteriores.

Se observa que los organismos encontrados en La Preciosa entran en el intervalo descrito para la especie (Delorme [1971] reporta en las hembras una longitud de 0.61-0.76 mm, altura de 0.31-0.40 mm y anchura de 0.26-0.36 mm, y en los machos una longitud de 0.64-0.79 mm, altura de 0.31-0.43 mm y anchura de 0.26-0.33 mm), pues en los organismos encontrados en el sitio de estudio, las hembras adultas miden entre 0.59-0.62 mm de longitud y los machos adultos entre 0.62-0.66 mm. Las valvas halladas de las hembras son cortas y subrectangulares, mientras que las de los machos son largas y oblongas.

Al parecer, los individuos colectados -según Forester (com. pers., 2002)- son más ornamentados que el material encontrado en el lago Itasca, E.U., pero la forma y tamaño son similares. Se cree que estas diferencias se deben a variaciones morfológicas regionales o ecofenotípicas que pueden ser generadas por cambios físicos o químicos en el lago. Se han reportado cambios en el fenotipo reflejado por organismos lisos o protuberantes/nodosos, los cuales se considera que tiene que ver con la salinidad (Bridgwater *et al.*, 1999a, 1999b; Neale, 1988; Palacios Fest com. pers., 2002) o polimorfismo por alteraciones en las condiciones del agua provocados por cambios climáticos (Carbonel *et al.*, 1988; Ducasse *et al.*, 1983; Peypouquet *et al.*, 1980, 1981, 1983; Whatley y Maybury, 1990).

Se reportan desde del Jurásico a época reciente (Moore, 1961). Su reproducción es mixta, por lo cual pueden ser partenogenéticos. Presenta fuerte dimorfismo sexual (Delorme, 1971; Moore, 1961). Tienen un ciclo de vida corto, de aproximadamente 28 días (Palacios-Fest com. pers., 2002). Indican ambientes someros, alcalinos (con dominio de  $\text{Na}^+$  -  $\text{Mg}^{++}$  -  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{CO}_3^{=}$ ), tranquilos, lodosos o arenosos. Rinderhasen y colaboradores (2000) y Smith (1993) la encuentran en aguas muy diluidas y con valores de sulfatos muy bajos, aparentemente se trata de una especie poco tolerante a los sulfatos. Son de agua dulce o

salina (el intervalo de salinidad en que se han reportado es de 0.5 a 6.7‰), siendo un aspecto importante que esta especie se relaciona con aumentos de salinidad -a mayor salinidad, entonces se da un incremento en el número de organismos (Carreño, 1990; De Deckker y Forester, 1988; Delorme, 1969; Forester, 1987; Holmes, 1992; Meisch, 2000; Moore, 1961; Palacios-Fest *et al.*, 1993; Smith *et al.*, 2002)-, aunque se relaciona el desarrollo de nodos con salinidades menores (Ducasse *et al.*, 1983; Neale, 1988). Schwalb y Dean (1998) y Smith y colaboradores (2002) también registran este aumento en su abundancia, reemplazando especies afines a condiciones salinas, por tanto, indicando un cambio en las condiciones del ambiente a etapas de menor salinidad. Se puede considerar que *Limnocythere itasca* es una especie indicadora de salinidades medias y la presencia o ausencia de formas con variaciones morfológicas, nos habla de cambios ligeros en la concentración iónica del agua.

Comúnmente viven moviéndose a través de los intersticios de los sedimentos superficiales (Whatley y Maybury, 1990), aunque se ha reportado con hábito neotónico (Bridgwater *et al.*, 1999b; Forester com. pers., 2002; Ito com. pers., 2002). Dado su corto ciclo de vida y sus hábitos bentónico/neotónico, ésta es la única especie en los núcleos de La Preciosa que podría encontrarse en el núcleo profundo, ya sea por desarrollarse en el fondo durante la época de mezcla (cuando hay oxígeno disponible por encima de 2 mg.l<sup>-1</sup>, entre diciembre y principios de marzo en lagos cráter semejantes cercanos de la zona, Alcocer *et al.*, 2001), o bien porque sedimentó procedente de la columna de agua adyacente; de hecho Bridgwater y colaboradores (1999b) la asocian con condiciones de agua profunda y abierta.

# LÁMINA 1

Figura 1) ***Candona patzcuaro* Tressler 1954**

Adulto  
Macho  
Tamaño de 1,185  $\mu$ m (1.18 mm)  
Vista externa  
Valva derecha

Figura 2) ***Candona patzcuaro* Tressler 1954**

Preadulto A1  
Hembra  
Tamaño de 977  $\mu$ m (0.98 mm)  
Vista interna  
Valva derecha

Figura 3) ***Candona patzcuaro* Tressler 1954**

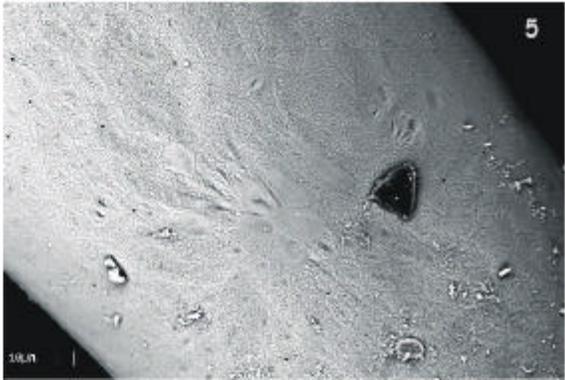
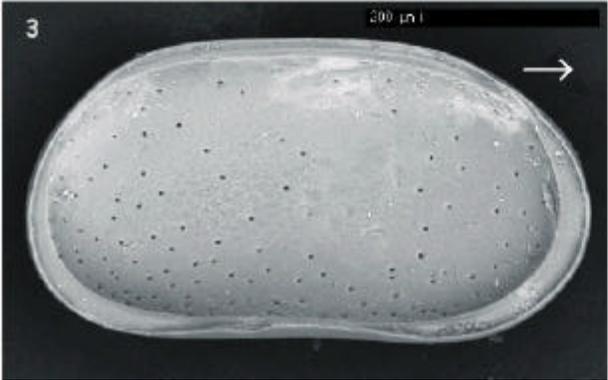
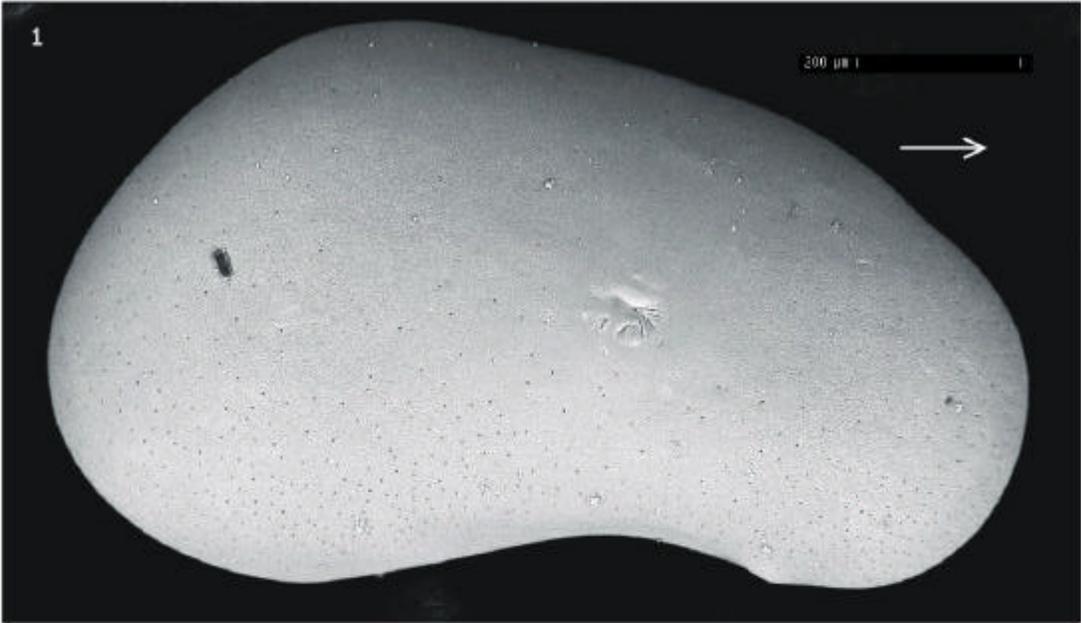
Juvenil  
Tamaño de 523  $\mu$ m (0.52 mm)  
Vista interna  
Valva izquierda

Figura 4) ***Candona patzcuaro* Tressler 1954**

Juvenil A3 o A4  
Tamaño de 692  $\mu$ m (0.69 mm)  
Vista externa  
Valva izquierda

Figura 5) ***Candona patzcuaro* Tressler 1954**

Juvenil A3 o A4  
Acercamiento a la cicatriz muscular  
Vista externa  
Valva izquierda



## LÁMINA 2

Figura 1) ***Candona patzcuaro* Tressler 1954**

Juvenil A3 o A4  
Tamaño de 654  $\mu$ m (0.65 mm)  
Vista externa  
Valva izquierda

Figura 2) ***Candona patzcuaro* Tressler 1954**

Juvenil A3 o A4  
Acercamiento a la cicatriz muscular  
Vista externa  
Valva izquierda

Figura 3) ***Potamocypris cf. unicaudata* Schafer 1943**

Tamaño de 631  $\mu$ m (0.63 mm)  
Vista externa  
Valva izquierda

Figura 4) ***Darwinula stevensoni* Brady & Robertson 1870**

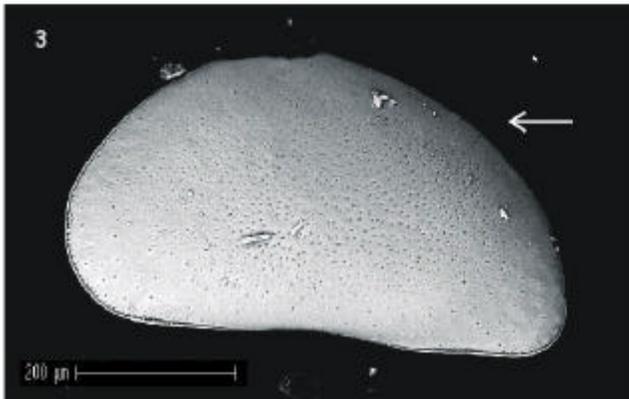
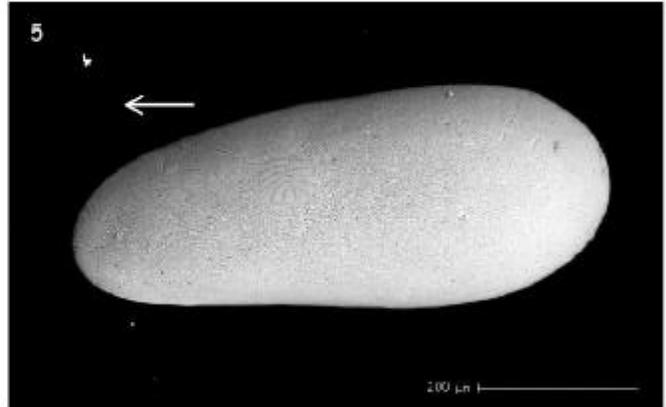
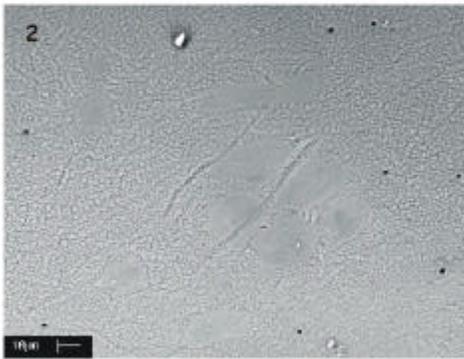
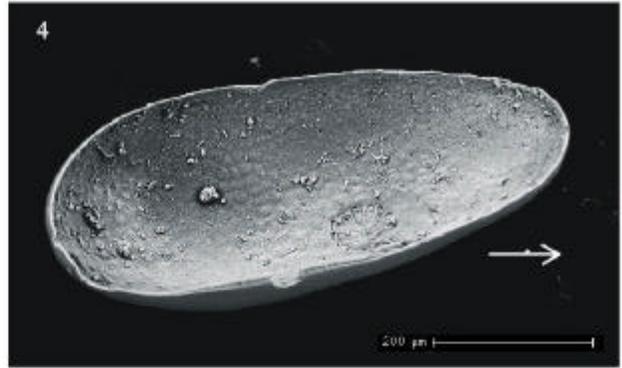
Adulto  
Tamaño de 654  $\mu$ m (0.65 mm)  
Vista interna  
Valva derecha

Figura 5) ***Darwinula stevensoni* Brady & Robertson 1870**

Adulto  
Tamaño de 669  $\mu$ m (0.67 mm)  
Vista externa  
Valva izquierda

Figura 6) ***Darwinula stevensoni* Brady & Robertson 1870**

Adulto  
Acercamiento a la cicatriz muscular  
Vista externa  
Valva izquierda



### LÁMINA 3

Figura 1) ***Limnocythere itasca* Cole 1949**

Adulto / Macho  
Ornamentación muy marcada  
Tamaño de 662  $\mu$ m (0.66 mm)  
Vista externa  
Valva izquierda

Figura 2) ***Limnocythere itasca* Cole 1949**

Adulto / Hembra  
Ornamentación muy marcada  
Tamaño de 615  $\mu$ m (0.61 mm)  
Vista externa  
Valva derecha

Figura 3) ***Limnocythere itasca* Cole 1949**

Adulto / Macho  
Ornamentación poco marcada  
Tamaño de 654  $\mu$ m (0.65 mm)  
Vista externa  
Valva izquierda

Figura 4) ***Limnocythere itasca* Cole 1949**

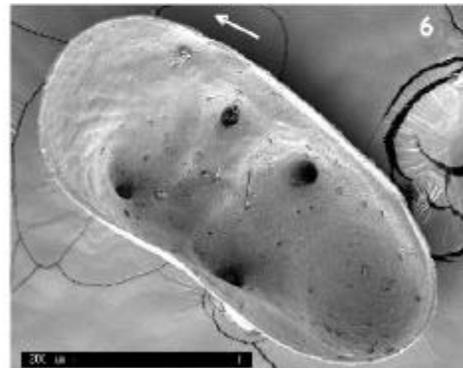
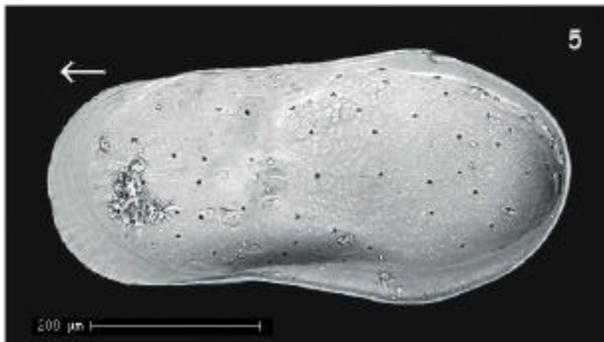
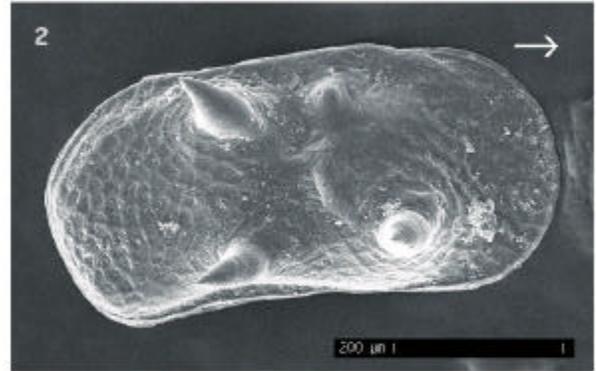
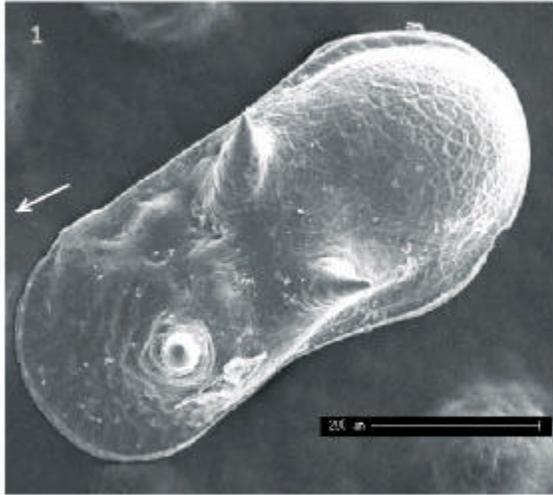
Adulto / Hembra  
Ornamentación poco marcada  
Tamaño de 600  $\mu$ m (0.60 mm)  
Vista externa  
Valva derecha

Figura 5) ***Limnocythere itasca* Cole 1949**

Adulto / Macho  
Ornamentación poco marcada  
Tamaño de 615  $\mu$ m (0.61 mm)  
Vista interna  
Valva derecha

Figura 6) ***Limnocythere itasca* Cole 1949**

Adulto / Macho  
Ornamentación muy marcada  
Tamaño de 531  $\mu$ m (0.53 mm)  
Vista interna  
Valva derecha



## VII. 4b) Distribución de las especies de ostrácodos determinadas en los núcleos.

### Núcleo LPIII

En este núcleo se registraron las cuatro especies: *Candona patzcuaro*, *Darwinula stevensoni*, *Limnocythere itasca* y *Potamocypris cf. unicaudata*. La secuencia se dividió, de acuerdo con los cambios en la abundancia de los organismos, en tres zonas (Fig. 3):

Zona III (45 a 51 cm): Se detecta la dominancia de *Limnocythere itasca* y poca presencia de *Darwinula stevensoni* y *Candona patzcuaro*. Además, se detecta una gran cantidad de organismos totales, llegando a alcanzar hasta 700 valvas por gramo de sedimento en algunas muestras.

Zona II (14 a 45 cm): Se presenta *Limnocythere itasca* como la especie dominante, seguida en abundancia por *Candona patzcuaro* y *Darwinula stevensoni*. También en esta zona se registra una presencia mínima de *Potamocypris cf. unicaudata*, que se detecta hacia la zona más reciente. De manera general, se observa una reducción muy marcada en la abundancia absoluta de organismos, no superando el 5% del máximo encontrado en la zona III.

Zona I (0 a 14 cm): Domina *Candona patzcuaro*, alternándose con *Limnocythere itasca* poco ornamentado y desaparece *Darwinula stevensoni*. En esta zona aumenta la abundancia absoluta de organismos en relación con la zona II, aunque no son tan abundantes como en la zona III.

De manera general, los cambios en la abundancia de los ostrácodos en este núcleo se registran y se relacionan con los cambios observados en la estratigrafía de la secuencia, notándose abundancias mayores en los horizontes compuestos por materiales finos como limos y arcillas. Por otro lado, la mínima abundancia se presenta en aquellos horizontes de material relativamente más gruesos, como lo son las arenas, con mayores valores de susceptibilidad magnética.

### Núcleo LPGII

En este núcleo también se registraron las cuatro especies encontradas en el núcleo de litoral (*Candona patzcuaro*, *Darwinula stevensoni*, *Limnocythere itasca* y *Potamocypris cf. unicaudata*). La secuencia es muy homogénea (Fig. 4), aunque se detecta un aumento en el número absoluto de organismos en la parte superficial del núcleo (0 a 1 cm), lo que no resulta tan evidente al momento de calcular los porcentajes. Con respecto a las especies, se observa una clara dominancia de *Candona patzcuaro* en toda la secuencia.

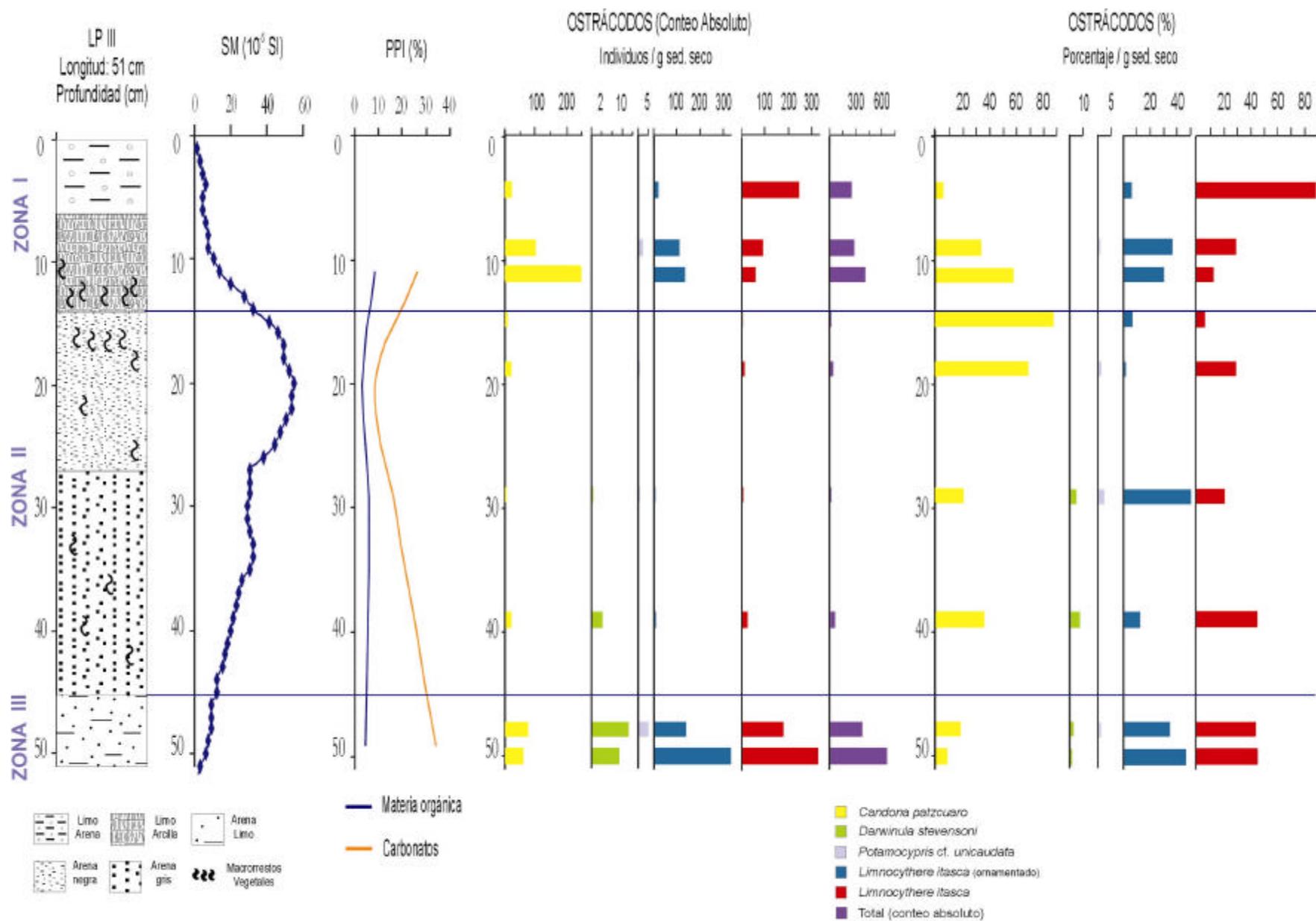


Fig. 3) Susceptibilidad magnética, pérdida por ignición y distribución de los ostrácodos, indicando datos de abundancia absoluta y relativa en el núcleo LP III.

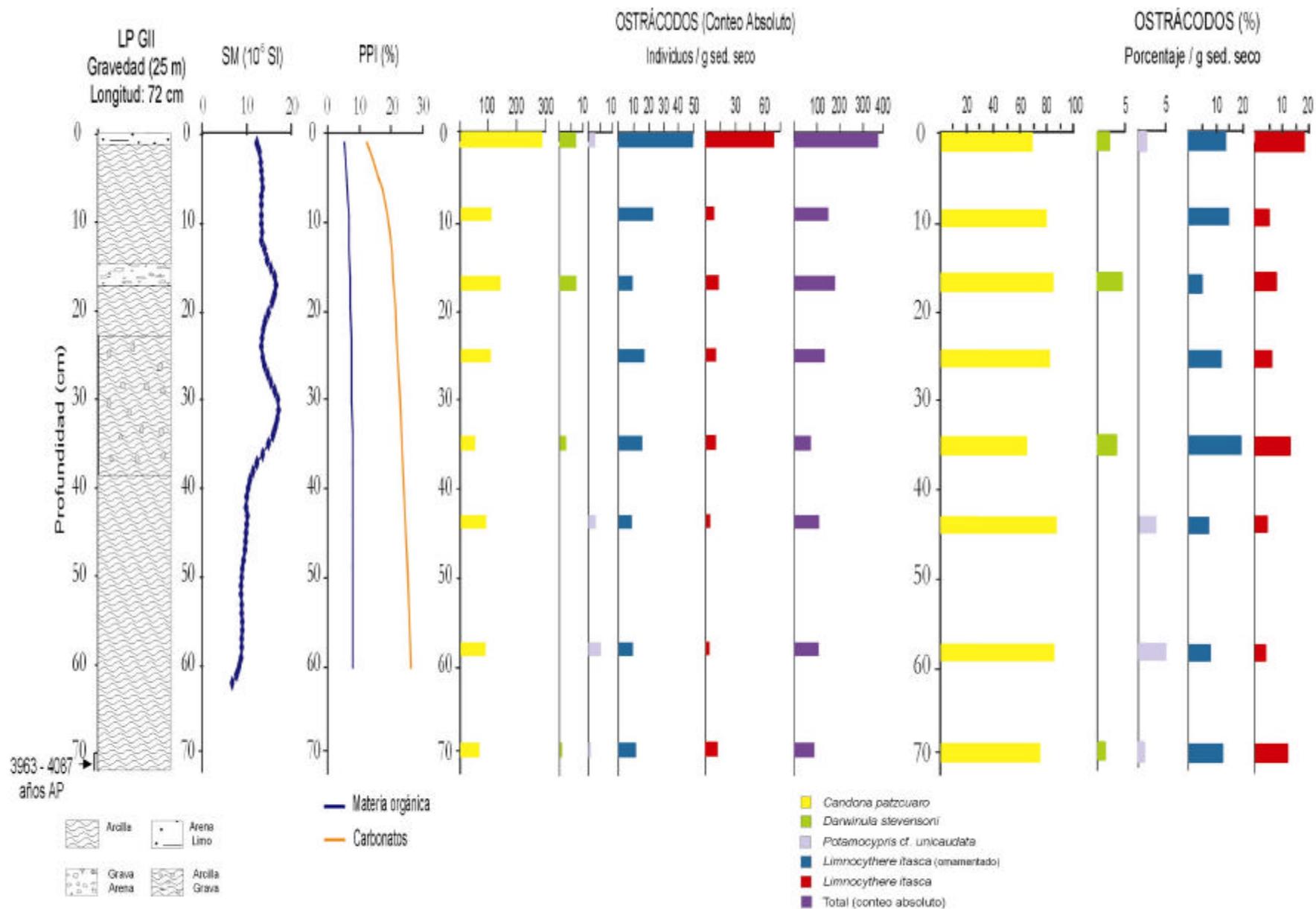


Fig. 4) Susceptibilidad magnética, pérdida por ignición y distribución de los ostrácodos, indicando datos de abundancia absoluta y relativa en el núcleo LPGII.

## VII. 5) Análisis de correlación no paramétrica (r-Spearman)

De acuerdo con cada uno de los análisis que se efectuaron, se encontró lo siguiente (Tabla 2):

	<i>Candona patzcuaro</i>			<i>Limnocythere itasca</i> ornamentado			<i>Limnocythere itasca</i> liso		
	LPIII	LPGII	Ambos núcleos	LPIII	LPGII	Ambos núcleos	LPIII	LPGII	Ambos núcleos
<i>Limnocythere itasca</i> ornamentado	0.68		0.51	1	1	1	0.85		0.74
<i>Darwinula stevensoni</i>								0.91	0.47
Carbono inorgánico				0.59		0.42			
Minerales asociados con evaporitas				0.65		0.44			
Feldspatos y plagioclasas					0.67				
Micas					0.72				
Susceptibilidad magnética						-0.62			-0.52
Abundancia total de diatomeas						-0.64			
Diatomeas de hábito litoral			-0.58			-0.59			
Diatomeas planctónicas			0.53						

**Tabla 2.** Datos obtenidos del análisis de correlación no paramétrica (r-Spearman  $p < 0.1$ ); los recuadros vacíos indican falta de correlación significativa.

1) Al comparar el número absoluto de las especies de ostrácodos encontradas en cada núcleo, se tiene que en el litoral (LPIII) se muestra una correlación positiva (o ambas están presentes o ambas están ausentes) entre *Candona patzcuaro* y *Limnocythere itasca* ornamentado ( $r-S = 0.68$ ) y entre *Limnocythere itasca* ornamentado y *Limnocythere itasca* liso ( $r-S = 0.85$ ); por otra parte, en el núcleo central (LPGII) se da una correlación positiva entre *Darwinula stevensoni* y *Limnocythere itasca* liso ( $r-S = 0.91$ ), correspondiente a la zona superior de la secuencia, que es donde aparece *Darwinula stevensoni*.

2) Al comparar el número absoluto de las especies de ostrácodos en los dos núcleos juntos se mantuvieron las tendencias observadas, pero con correlaciones más bajas, entre *Candona patzcuaro* y *Limnocythere itasca* ornamentado ( $r-S = 0.51$ ), entre *Limnocythere itasca*

ornamentado y *Limnocythere itasca* liso ( $r-S = 0.74$ ) y entre *Darwinula stevensoni* y *Limnocythere itasca* liso ( $r-S = 0.47$ ).

3a) Al comparar entre ostrácodos y otros descriptores por separado entre cada núcleo se observa que en el litoral (LP III) hay correlaciones positivas entre *Limnocythere itasca* ornamentado y el contenido de carbono inorgánico ( $r-S = 0.59$ ), así como con los minerales asociados con evaporitas ( $r-S = 0.65$ ). En el núcleo central (LPG II), las correlaciones son positivas entre *Limnocythere itasca* ornamentado y feldespatos más plagioclasas ( $r-S = 0.67$ ), así como con micas ( $r-S = 0.72$ ).

3b) Al comparar entre ostrácodos y otros descriptores en el conjunto de los dos núcleos, se obtuvieron las siguientes correlaciones negativas: entre la abundancia total de diatomeas y *Limnocythere itasca* ornamentado ( $r-S = -0.64$ ), diatomeas de hábito litoral y *Candona patzcuaro* ( $r-S = -0.58$ ), diatomeas de hábito litoral y *Limnocythere itasca* ornamentado ( $r-S = -0.59$ ), la susceptibilidad magnética y *Limnocythere itasca* ornamentado ( $r-S = -0.62$ ) y la susceptibilidad magnética y *Limnocythere itasca* liso ( $r-S = -0.52$ ). Las correlaciones positivas fueron entre las diatomeas planctónicas y *Candona patzcuaro* ( $r-S = 0.53$ ), el carbono inorgánico y *Limnocythere itasca* ornamentado ( $r-S = 0.42$ ), así como entre las evaporitas y *Limnocythere itasca* ornamentado ( $r-S$  de 0.44).

## VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### VIII. 1) Núcleo litoral (LP III)

Los datos observados en el núcleo litoral (LP III) indican dos cambios importantes en las características del lago: a los 14 cm (que determina la división entre Zona I y II) y a 45 cm (que define la Zona II y III). Estos cambios se ven reflejados en el tipo de sedimentos -que pasan de arenas a limos-, en las especies dominantes de ostrácodos y su abundancia absoluta, y en los valores de susceptibilidad magnética, máximos en la zona II (Fig. 3). Se ha de tomar en cuenta, además, que este núcleo fue obtenido en una zona plana, actualmente expuesta, muy diferente a las demás zonas litorales de la Preciosa, con fuerte pendiente hacia el fondo del lago.

En la Zona III (45 a 51 cm), al inicio de la secuencia -51 cm-, existe una dominancia de *Limnocythere itasca* (liso y ornamentado), mientras que se presenta en poca cantidad *Candona patzcuaro* y *Darwinula stevensoni*, manteniéndose esta condición relativamente estable. Con base en las afinidades ecológicas de las especies, esto indica una clara tendencia a condiciones de alcalinidad y salinidad ideal para estas especies. Además, se infiere que las características ambientales fueron idóneas (elevada reserva alcalina; Holmes, 1992; Löffler, 1986) para la presencia de los ostrácodos, lo cual es evidente por la gran cantidad de organismos encontrados (más de 700 organismos / g de sedimento seco).

En la Zona II (14 a 45 cm) se observa que a partir de los 27 cm las condiciones cambian, disminuyendo por un lado la cantidad de carbonatos presentes en los sedimentos y aumentando la susceptibilidad magnética, lo que evidencia un cambio en la textura del sedimento (de limo arcilloso a arena). Esto se halla asociado con un aumento de *Candona patzcuaro*, que tiene afinidad por sedimentos arenosos (Anadon *et al.*, 1994; Moore, 1961). Asimismo, se observa la disminución de *Limnocythere itasca* y el incremento de *Candona patzcuaro*, todo lo cual parece indicar un cambio a condiciones relativamente menos salinas. A pesar de que aparentemente una especie aumenta mientras la otra disminuye, el hecho es que consistentemente se encuentran juntas en los mismos niveles, lo que se manifiesta en la correlación positiva entre ambas especies ( $r-S = 0.68$ , ver tabla 2). Como se mencionó, la estratigrafía concuerda con los aumentos en la susceptibilidad magnética, lo que probablemente indica un aumento en la entrada de material alóctono (mayor arrastre y entrada de terrígenos al lago, probablemente asociado con la caída de material volcánico). Lo anterior pudo afectar las condiciones en las que se desarrollan algunas especies de ostrácodos, reflejándose en la disminución drástica de los mismos.

En la Zona I (0 a 14 cm), se observa un cambio en la estratigrafía que se caracteriza por el decremento en el tamaño de grano, pasando de un sedimento netamente arenoso a condiciones limo-arcillosas o limo-arenosas. Este cambio se interpreta como la disminución del aporte de sedimentos externos hacia el lago (evidente por la marcada disminución en la susceptibilidad magnética), permitiendo un tipo de sedimentación más autóctona y constituida básicamente por sedimentos finos, permitiendo el establecimiento de condiciones relativamente más estables que hacen que vuelva a aumentar la abundancia total de las especies de ostrácodos, los cuales son en general organismos bentónicos por excelencia. Primero domina *Candona patzcuaro*, lo que sugiere condiciones que pueden ir de baja a moderada salinidad (Forester, 1987; Palacios-Fest *et al.*, 1993), apoyado por la desaparición completa de *Darwinula stevensoni*, especie que se encuentra en zonas de baja salinidad (Carreño, 1990; Furtos, 1933, 1936; Holmes, 1998; Külköylüoglu y Vinyard, 2000). Esta tendencia se mantiene hasta los 6 cm, donde cambia al incrementarse marcadamente la abundancia de *Limnocythere itasca* (principalmente la forma lisa), lo que parece indicar un aumento en la salinidad del agua (Carreño, 1990; Forester, 1987), evidente también por la disminución de *Candona patzcuaro*, que es predominantemente dulceacuícola (Moore, 1961; Palacios-Fest *et al.*, 1993). Además, desaparece *Potamocypris cf. unicaudata*, especie bentónica-nectónica de hábitats litorales con vegetación (Delorme, 1970a; Meish, 2000; Palacios-Fest com. pers., 2002), lo que indica la disminución o pérdida de dicho hábitat que pudo deberse, entre otros factores, a un decremento en la extensión de la zona litoral, asociado con una disminución en el nivel lacustre, lo cual es consistente con el incremento en la concentración iónica registrada. Resulta interesante observar las correlaciones positivas de *Limnocythere itasca* con el contenido de carbono inorgánico y las evaporitas (carbonatos, principalmente), cuya precipitación asimismo se relaciona con un aumento en la concentración iónica (Rodríguez, 2002; Vilaclara *et al.*, 2002).

Los datos observados en la parte final de la columna también son consistentes con la rápida disminución de la zona litoral -evidente en material fotográfico de hace algunos años y por observación directa (Anexo 1: figura D)-, la cual estaba cubierta de agua en 1989, mientras que en 1999-2001 se observa que el agua se ha retirado, dejando seco el sitio donde se perforó (franja de regresión lacustre). Esta tendencia hacia un menor nivel lacustre está apoyada, además, porque: 1) Los registros limnológicos indican incrementos en los parámetros asociados con la salinidad durante los últimos 50 años (Álvarez, 1950; Ramírez y Novelo, 1984; Vilaclara *et al.*, 1993, 2002); 2) las marcas de nivel usadas por los pobladores de la región, que actualmente yacen fuera del ambiente lacustre (Anexo 1: figura D1); 3) la presencia de formaciones tipo estromatolitos expuestas en la parte norte (Anexo 1: figura D2), y 4) la morfología de la zona litoral (terrazas lacustres, Anexo 1: figura D3), la cual sugiere un nivel lacustre más alto en el pasado.

De manera general, los cambios en las agrupaciones de ostrácodos presentes en este núcleo, además de los cambios fisicoquímicos del agua, están asociados con un mayor aporte de material terrígeno. La abundancia absoluta de los ostrácodos se ve bastante disminuida en algún momento por la continua entrada de material terrígeno (efecto de dilución). Al aumentar el influjo de material grueso, como arenas y gravas, la susceptibilidad magnética se eleva drásticamente, no dejando lugar a duda del origen alóctono de este material. Es importante mencionar que la susceptibilidad magnética registrada en este núcleo es la más alta de los dos núcleos estudiados, lo que demuestra que fue recolectado de una zona con una dinámica de sedimentación muy diferente a la del resto del lago, dada su localización en la zona litoral. Esto explica la falta de correlación estratigráfica de ambos núcleos (Fig. 3) y es un reflejo de la marcada heterogeneidad en general en las condiciones dentro de este lago (Rodríguez, 2002).

## VIII. 2) Núcleo central (LPGII)

El núcleo de gravedad de La Preciosa resulta relativamente homogéneo en su estratigrafía, lo cual parece indicar una relativa estabilidad y que no se hayan observado registros claros de cambios ambientales periódicos.

De este núcleo se obtuvo el polen suficiente para enviar a fechar, por lo que a los 70-72 cm se calcula una edad de radiocarbono de  $3,680 \pm 50$  AP, que equivale a una edad calibrada de 3,963-4,087 AP. No se sabe si la tasa de sedimentación es constante debido a que no se cuenta con más fechas a lo largo del núcleo. Sin embargo, el lago se localiza en un área muy expuesta al viento y, por lo tanto, a un aporte significativo de material terrígeno externo. Por todo lo anterior, es probable que la tasa de sedimentación no sea tan constante.

La distribución de las cuatro especies de ostrácodos encontradas también es bastante homogénea en el núcleo LPGII (Fig. 4). Sin embargo, la interpretación de los registros de este núcleo es más difícil que para el núcleo litoral, pues indudablemente parte de los restos de ostrácodos encontrados provienen de arrastre de materiales procedentes de zonas litorales. Resulta incierto establecer *a priori* cuáles especies y formas pudieron vivir en el fondo de una columna de agua de 25 m, y cuáles con certeza provinieron de arrastres del litoral. La única con ciclo de vida tan corto y hábito de vida tan amplio que podría vivir en esas condiciones durante la mezcla (cuando se dan condiciones óxicas en el fondo de La Preciosa) es *Limnocythere itasca*, pero a pesar de que ambas formas son relativamente abundantes en el registro, no se observa una correlación entre ellas como la encontrada en el núcleo litoral. Las evidencias observadas,

junto con lo mencionado en la literatura, permiten afirmar que: la forma lisa se asocia con condiciones más mineralizadas que la ornamentada (Ducasse *et al.*, 1983; Neale, 1988), aunque los proxies asociados no indican condiciones de mayor salinidad para la zona pelágica de La Preciosa (Rodríguez, 2002); la forma ornamentada, además, correlaciona con materiales de arrastre; *Candona patzcuaro* y *Darwinula stevensoni* tienen un hábito netamente litoral y ciclos de vida largos, por lo que probablemente también llegaron por arrastre al núcleo LPGII. Por todo lo anterior, se podrían deducir dos escenarios:

A.- La forma lisa de *Limnocythere itasca* pudo ser la que vivía en el bentos/necton bajo la columna de agua (Bridgwater *et al.*, 1999b; Forester com. pers., 2002; Ito com. pers., 2002). Las demás especies llegaron al sedimento por arrastre, incluidos algunos de los ejemplares del propio *Limnocythere itasca* liso. La correlación observada de *Limnocythere itasca* ornamentado con materiales de arrastre podría indicar un hábito intersticial (Whatley y Maybury, 1990) de esta especie en los litorales de origen. La falta de correlación de la forma ornamentada con otras especies arrastradas podría atribuirse precisamente a los diferentes hábitos de vida bentónicos dentro de las especies litorales.

B.- Ninguna de las especies ni formas vivían en el fondo bajo la columna de agua, ni siquiera las de ciclo de vida corto, y todas ellas llegaron por arrastre al LPGII.

En ambas situaciones, la tendencia general es a considerar los sedimentos del núcleo central como integradores de condiciones litorales, y por ello, como indicadores de cambios más generales en La Preciosa. A ese respecto, se podría decir:

Dado que el registro está dominado por *Candona patzcuaro* en toda la secuencia, indicativo de una salinidad relativamente baja (menor a 5.3‰) y pH probablemente entre 8.6-9.0 (Carreño, 1990; Forester, 1987; Palacios-Fest *et al.*, 1993), las condiciones generales del lago no variaron en forma importante durante los ca. últimos 5000 años. Sin embargo, se observa una ligera alternancia con *Limnocythere itasca*, indicando pulsos de condiciones ligeramente más salinas y de aguas quizá más someras en los litorales (Carreño, 1990; Forester, 1987; Palacios-Fest *et al.*, 1993). Se ha de tomar en cuenta que en aguas continentales, la frontera biológica entre aguas dulces y salinas se considera que está alrededor de 3‰ (3 g/l; Williams, 1996) y actualmente La Preciosa tiene una salinidad de 1.3 a 1.4 g/l (Vilaclara *et al.*, 1993, 2002) todavía alejada de esta frontera, que es la característica de las aguas abiertas en el lago. Aunque no se tienen datos directos de cuál fue la salinidad en la zona litoral recientemente secada de donde se obtuvo el núcleo litoral, la presencia de especies de diatomeas indicadoras de más salinidad

(como *Mastogloia smithii*, documentada sólo en el núcleo litoral, Rodríguez, 2002) apunta hacia una mayor salinidad, por lo menos en esta zona del lago.

Se observa que hasta los 40 cm desde la base del núcleo se presenta *Potamocypris cf. unicaudata*, indicando presencia de vegetación acuática y aguas relativamente tranquilas en el litoral, con muy poco oleaje (Palacios-Fest com. pers., 2002). Después de los 40 cm y hasta 0 cm, desaparece *Potamocypris cf. unicaudata* y aparece *Darwinula stevensoni*, indicando un ambiente muy somero, también con mínimo oleaje, pero con una mayor concentración de oxígeno disuelto, lo que nos podría indicar una asociación con vegetación litoral que aminora el movimiento del agua y mejora la concentración de oxígeno (Holmes, 1998; Kulköylüoglu y Vinyard, 2000; Mezquita *et al.*, 1999). La muestra más superficial está asociada con un cambio en la estratigrafía, pues indica un leve aumento en la abundancia de las formas afines con una mayor concentración de sales, como *Limnocythere itasca*, con mayor abundancia de la forma lisa. Estos cambios probablemente están asociados con una disminución en el nivel lacustre que se puede observar gracias a los registros históricos y fotográficos (Anexo 1: figura D), en donde es evidente la disminución en este nivel, no sólo de este lago sino de todos los localizados en la Cuenca de Oriental. Otro ejemplo es el aumento de la zona litoral dado por la reducción del nivel lacustre en el Lago Alchichica, que está muy cercano a La Preciosa (Alcocer *et al.*, 1998). Probablemente esto se relacione con un abuso en la extracción del recurso en los mantos freáticos en la región.

En términos generales, la abundancia de ostrácodos se incrementa hacia la parte superior de la columna (0 a 1 cm), indicando condiciones más propicias para la presencia y preservación de estos organismos. Este aumento se ve reflejado en la abundancia absoluta de organismos (Fig. 4), con lo que se puede inferir que el pH del agua ha sido alcalino (presencia de *Candona patzcuaro*; Carreño, 1990) y existieron fluctuaciones en la salinidad apuntando hacia condiciones iónicas ligeramente más concentradas (presencia de *Limnocythere itasca*; Carreño, 1990; De Deckker y Forester, 1988; Forester, 1987; Palacios-Fest *et al.*, 1993); por lo tanto, se podría inferir que esta concentración iónica en el cuerpo de agua probablemente esté relacionada con un aumento en la aridez (es decir, evapotranspiración > precipitación) en la zona.

### VIII. 3) Resumen de la relación general de las especies de ostrácodos entre sí

Dada la alta correlación positiva entre las dos formas de *Limnocythere itasca*, lisa y ornamentada, en el núcleo litoral ( $r-S=0.85$ ), ésta se mantiene relativamente alta ( $r-S= 0.74$ ) al juntar los datos de ambos núcleos, lo cual señala que ambas formas sufren una cierta mezcla en los niveles muestreados; sin embargo, *Limnocythere itasca* ornamentado correlaciona positivamente con *Candona patzcuaro* ( $r-S=0.51$ ), mientras que la forma lisa lo hace con *Darwinula stevensoni* ( $r-S=0.47$ ).

Al realizarse el análisis de correlación por separado en el núcleo litoral y en el de gravedad, en el primero se reforzó la correlación positiva entre *Limnocythere itasca* ornamentado y *Candona patzcuaro* ( $r-S=0.68$ ), viéndose también reforzada la correlación positiva entre ambas formas de *Limnocythere itasca* ( $r-S= 0.85$ ), lo cual indica que tienden a vivir juntas en los mismos tiempos, a pesar de las diferencias en los hábitos de vida litorales.

La única correlación significativa en el núcleo de gravedad (entre *Darwinula stevensoni* y *Limnocythere itasca* liso,  $r-S=0.91$ ) -con base en la presencia de *Darwinula stevensoni* en la parte superior del núcleo-, posiblemente sea un artefacto del método, porque *Darwinula stevensoni* es la especie con valvas más frágiles (Bronshtein, 1988; Holmes, 1998; Külköylüoglu y Vinyard, 2000; Swain com. pers., 2004), y probablemente alcanzaba a quedar registrada en el núcleo central tras un arrastre azaroso, que la mayor parte de las veces pudo resultar en la destrucción de las valvas (y por lo tanto, en la falta de registro).

Tomando en cuenta estas asociaciones preliminares, sería muy interesante conocer la distribución *in vivo* de estas especies y formas en el lago, el cual presenta en general una tendencia hacia una mayor salinidad, pero con zonas claramente diferenciadas espacialmente, como la del núcleo litoral -más somera que el resto- que ha sufrido una fuerte desecación en los últimos años (Alcocer *et al.*, 1998). Sumando esta información a la evidencia aportada por marcas de nivel y de erosión (ver fotografías en anexo 1: figuras D), la disminución de nivel de agua posiblemente haya estado ocurriendo desde hace 100 a 150 años.

#### VIII. 4) Consideraciones finales

Como en otros proxies de los núcleos estudiados (Rodríguez, 2002), se observa que el comportamiento difiere fuertemente en ambos núcleos, lo cual refuerza la interpretación de la existencia de condiciones ambientales muy diferentes en las dos zonas de depositación, litoral y central (la cual se considera la integración de una zona litoral más amplia del lago, diferente de la zona litoral LP III por tener pendientes más pronunciadas). Tal diferencia en el comportamiento de los núcleos también puede deberse al hecho de que la zona profunda de La Preciosa pasa gran parte del año con bajas concentraciones de oxígeno o es anóxica (la columna de agua se estratifica entre marzo y diciembre, en forma semejante a la de Alchichica, Alcocer *et al.*, 2001), por lo que difícilmente se podría pensar en la existencia de ostrácodos bentónicos viviendo directamente bajo 25 m de agua, excepto quizás *Limnocythere*, para el cual se reportan ciclos de vida cortos (aproximadamente un mes, Palacios-Fest com. pers. 2002) y una forma de vida que tanto es litoral-bentónico como neotónica (Bridgwater *et al.*, 1999b; Forester com. pers., 2002; Ito com. pers., 2002; Whatley y Maybury, 1990).

Este tipo de comportamiento heterogéneo es muy evidente en el análisis hecho en las diatomeas presentes en ambos núcleos (Rodríguez, 2002). Al igual que los ostrácodos, las diatomeas muestran una tendencia hacia condiciones de mayor salinidad, así como un aumento en la abundancia absoluta de organismos registrados en los horizontes más recientes. Las diatomeas presentes en el núcleo de gravedad manifiestan una homogeneidad en cuanto a su abundancia a lo largo de la secuencia, mientras que en el núcleo de litoral es notoria la alternancia de asociaciones afines a condiciones de mayor salinidad con aquellas afines a condiciones más diluidas, tal como se ha demostrado en este caso con los ostrácodos.

Aunque *Candona patzcuaro* es la especie preponderante, sus variaciones en los núcleos indican que vive bien en el lago, sin importar los cambios que el mismo haya sufrido. Resultan más sugerentes los cambios en el registro de *Limnocythere itasca*, en relación con las variaciones ambientales de la zona, por ejemplo: Heine (1973) detecta una etapa ligeramente más húmeda hace 2,000 años, respaldada por la evidencia de pequeños avances glaciares en el volcán La Malinche; Ohngemach y Straka (1978), para el mismo periodo y para la misma localidad, registran un aumento en la población de *Abies*, lo cual supone la presencia de humedad atmosférica relativamente alta y condiciones frías. Sin embargo, el registro de La Preciosa, que abarca ca. 5,000 años, se localiza a 2,300 m s.n.m., mientras que los realizados por los alemanes son a 3,100 m s.n.m.; además, la distancia geográfica entre estos dos puntos es relativamente grande, por lo que considero que las condiciones que se reportan en estos registros corresponden

más bien a condiciones locales y no tanto a condiciones regionales como lo suponen los autores. Desafortunadamente, no existe ningún otro registro que respalde la interpretación hecha por ellos.

Otro dato importante es la localización de La Preciosa en una zona influida notablemente por la exposición a los vientos secos originados por la sombra orográfica que producen el Cofre de Perote y el Pico de Orizaba, que detienen la humedad con la que llegan los vientos alisios provenientes del Golfo de México y provocan el establecimiento de un clima de tipo semiárido en la mayor parte de cuenca Oriental. Las condiciones fisiográficas y el establecimiento de este tipo de clima podrían haber atenuado ese registro tan sutil que reportan tanto Heine (1973) como Ohngemach y Straka (1978) en sus resultados y, por lo tanto, explicar por qué no queda registrado en la secuencia lacustre estudiada.

## IX. CONCLUSIONES

- Es importante resaltar la observación de una marcada variabilidad entre los núcleos en su estratigrafía, señal magnética y asociaciones de ostrácodos presentes, lo cual dificulta mucho la correlación entre ellos. Esto indica que en La Preciosa se dan ambientes heterogéneos en las condiciones locales dentro del mismo lago, a pesar de su pequeño tamaño, con la presencia de un gradiente de salinidad indicado por los ostrácodos: de condiciones de mayor concentración de sales y someras en la zona NE -que es la parte en la que se observa con mayor claridad el impacto de la disminución de nivel lacustre- hacia una menor concentración en la zona SW, y con la formación de microhábitats que responden particularmente a los procesos alogénicos, endogénicos o autigénicos. Esta diversidad de microhábitats va a estar influida principalmente por la morfometría del lago, el cual se formó presuntamente por tres explosiones freato-magmáticas que le confirieron esta morfología tan particular.
- Posiblemente, la señal que domina en el registro sedimentario es la de las variaciones en la concentración iónica, dado que el aporte en cada zona del lago presenta una tasa de sedimentación y origen distinto. Las características de las diferentes zonas van a depender de varios factores, como la energía mecánica presente en la zona, la textura del sedimento, la pendiente del litoral, el tipo y grado de cobertura vegetal presente, etc.
- No se cumple el planteamiento acerca de que las cuencas áridas son más sensibles a los cambios ambientales y, por lo tanto, son lugares adecuados para registrar los cambios climáticos regionales. Se supone que esto se debe a que nuestra área de estudio es una zona semiárida y no árida, y tal vez las características diferentes entre estas zonas hagan de La Preciosa un lugar poco adecuado para investigaciones paleoambientales, o sea necesario considerar otros proxies para poder tener información que permita comparar o correlacionar los resultados y poder inferir sobre la situación de la región.
- Lo anterior puede deberse a que este cuerpo de agua es muy sensible a la influencia de los alrededores, por ejemplo a las tolvaneras y a la entrada de material alóctono de la orilla. Esta última es provocada por la escasa cubierta vegetal que aumenta de manera significativa los procesos de erosión, y principalmente de la parte noroeste donde se presenta una acumulación de material cinerítico.

- Entre otros aspectos que enmascaran las interpretaciones se encuentra: 1) el agua de La Preciosa (y de los lagos de la zona) llega del manto freático, por lo cual se debe de conocer el origen de esta agua y sus características para entender su repercusión en las condiciones del lago, y 2) el material alóctono ya mencionado.
  
- El registro sedimentario de este lago parece ser poco sensible a variaciones climáticas de baja intensidad debido a la homogeneidad tanto estratigráfica como biológica registrada en las secuencias sedimentarias donde no existen cambios evidentes macro y microscópicamente. Así se explica que, durante los últimos ca. 5,000 años -según la fecha reportada-, se tenga una señal extremadamente homogénea, a pesar de que se sabe -por los registros publicados para el centro de México- que han habido variaciones importantes en el clima de la región. En los dos núcleos estudiados se registra un cambio estratigráfico, químico y biológico en los sedimentos más superficiales, lo que sugiere un aumento muy reciente en la aridez (precipitación/evapotranspiración <1). De acuerdo con la escala temporal de que se dispone y asumiendo una tasa de sedimentación constante, este cambio puede datar de hace ca. 100 a 150 años, muy probablemente asociado con un incremento en la influencia de origen antropogénico y con las tendencias globales de cambio climático.

## X. COMENTARIOS FINALES

- El presente estudio se realizó en el lago de La Preciosa debido a dos puntos: 1) las cuencas endorreicas se consideran áreas idóneas para la realización de estudios paleolimnológicos y de interpretación de fluctuaciones climáticas, porque registran cambios a lo largo del tiempo con mínimas interferencias externas, y 2) se considera que las cuencas áridas son más sensibles a los cambios de precipitación que las cuencas húmedas, lo que las hace especialmente adecuadas para registrar los cambios climáticos regionales, aunque con interferencia por la influencia humana que también queda registrada en los sedimentos lacustres. Sin embargo, y a pesar de que la Cuenca de Oriental es una zona con estas características, el lago de La Preciosa resultó ser un lugar poco adecuado para realizar estas investigaciones, en parte quizá debido a su dependencia de aguas freáticas cuyo recorrido diferencial a través de la cuenca resulta en composiciones iónicas muy diferentes, aun para lagos cercanos entre sí y ubicados en una región de clima semejante (o semiárido, tanto para Quechulac -agua dulce salinidad <1g/l-, La Preciosa -agua más salina, ~1.5 g/l- y Alchichica -agua considerada salina, 8.5 g/l-).
- Se considera que es necesario hacer estudios paleoambientales más completos mediante la utilización de un mayor número de proxies que permitan generar más resultados y que puedan ser finalmente correlacionados o confrontados entre sí para obtener una interpretación más robusta y sólida de las condiciones ambientales en esta zona.
- Además de lo anterior, se sugiere la realización de este tipo de estudios en otras localidades de la parte oriental de la FVTM con la finalidad de: 1) pronosticar tendencias en la evolución de los ecosistemas acuáticos, 2) regionalizar las condiciones ambientales presentes durante el Holoceno, periodo de tiempo durante el cual se han llevado a cabo los cambios climáticos de mayor relevancia para los asentamientos humanos en esta zona, y 3) definir si los cuerpos de agua en zonas áridas-semiáridas y alimentados con aguas freáticas presentan limitaciones para realizar estudios paleoambientales.

## XI. LITERATURA CITADA

- Alcalá, H.J.A, J.S Jacob, M.L. Machain y R.W. Neck. 1994. Holocene palaeosalinity in a Maya wetland, Belice, inferred from the microfaunal assemblage. *Quaternary Research* 41: 120-130.
- Alcocer, D.J. 1995. *Análisis holístico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos litorales de seis lagos-cráter con un gradiente de salinidad*. Tesis de Doctorado, Fac. de Ciencias, UNAM, México. 106 pp.
- Alcocer, D.J., A. Lugo, M.R. Sánchez, M. Chávez y E. Escobar. 1998. Threats to the saline lakes of the Oriental basin, México, by human activities. *Verh. Int. Ver. Limnologiae* 26: 1383-1386.
- Alcocer, D.J., E. Escobar y L.E. Marin. 2000. Epicontinental aquatic systems of Mexico in the context of hydrology, climate, geography and geology. p. 1-13. In: Munawar M., Lawrence S.G., Munawar I.F. and Malley D.F. (Eds.): *Aquatic ecosystems of Mexico: Status and Scope*. Ecovision World Monograph Series. Backhuys. Netherland.
- Alcocer, D.J., A. Lugo, E. Escobar, M.R. Sánchez y G. Vilaclara. 2001. Water column stratification and its implications in the tropical warm monomictic lake Alchichica, Puebla, México. *Verh. Int. Ver. Limnologiae* 27.
- Álvarez, J. 1950. Contribución al conocimiento de los peces de la región de los Llanos, Estado de Puebla (México). *An. Esc. Nal. de Cienc. Biol.* VI: 81-107.
- Anadón, P., R. Utrilla y R. Julià. 1994. Palaeoenvironmental reconstruction of a Pleistocene lacustrine sequence from faunal assemblages and ostracode shell geochemistry, Baza Basin, SE Spain. *Paleogeography, paleoclimatology, palaeoecology* 111: 191-205.
- APHA (American Public Health Association). 1985. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 16<sup>th</sup> ed. APHA. Washington. 1268 pp.
- Arredondo, J.L., E. Borrego, M. Castillo y A. Valladolid. 1983. Batimetría y morfometría de los lagos maars de la Cuenca de Oriental, Puebla, México. *Biótica* 8: 37-47.
- Arriaga, C.L., V. Aguilar, J. Alcocer, R. Jiménez, E. Muñoz y E. Vázquez (coords.). 1998. *Regiones hidrológicas prioritarias: fichas técnicas y mapa (escala 1:4,000,000)*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 142pp + 1 mapa.
- Barendregt, R.W. 1984. Using paleomagnetic remanence and magnetic susceptibility data for the differentiation, relative correlation and absolute dating of Quaternary sediments. P. 101-122 in Mahaney, W.C. (Ed): *Quaternary dating methods. Developments in palaeontology and stratigraphy*, 7. 431 pp.
- Barnes, R.D. 1989. *Zoología de los invertebrados*. 5ª. ed. Interamericana Mc Graw -Hill. México. 957 pp.
- Bengtsson, L. y M. Enell. 1986. Chemical analysis. In: Berglund B.E. (Ed.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. John Wiley & Sons, Chichester, p. 423-448.
- Bradbury, J.P. 1971. Paleolimnology of lake Texcoco, Mexico. Evidence from diatoms. *Limnol. Oceanogr.* 16(2): 180-200.
- Bradbury, J.P. 1988. Fossil diatoms and Neogene paleolimnology. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 62: 299-316.
- Bradbury, J.P. 1989. Late Quaternary lacustrine palaeoenvironments in the Cuenca of Mexico. *Quaternary Science Reviews* 8: 75-100.
- Bradbury, J.P. 1997. Sources of glacial moisture in Mesoamerica. In: Metcalfe S.E. y J. Urrutia Fucugauchi (Eds.): *Quaternary International (Special volume of the First International Conference on Climatic Change in Mexico, Taxco, 1993)*. Vol. 43/44: 97-110.
- Bradbury, J.P. 1998. A book review of: Negendank J.F.W. y B. Zolitschka. 1993. Paleolimnology of european maar lakes. Lecture Notes in Earth Sciences No. 49. Springer-Verlag. Berlin. 513 pp. *Journal of Paleolimnology* 19: 481-482.
- Bradbury, J.P. 2000. Limnologic history of Lake Patzcuaro, Michoacan, Mexico for the past 48 000 años: impacts of climate and man. *Paleogeography, paleoclimatology, palaeoecology* 162: 69-95.
- Bradley R.S. 1999. *Paleoclimatology: Reconstructing climates of the Quaternary*. 2nd. Academic Press. USA. 613 pp.

- Bridgwater, N. D., J.A. Holmes y S. L. O'Hara. 1999a. Complex control on the trace element chemistry of non-marine ostrácodos: an example from lake Patzcuaro, central Mexico. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 148: 117-131.
- Bridgwater, N. D., T.H.E. Heaton y S. L. O'Hara. 1999b. A late Holocene paleolimnological record from central México, based on faunal and stable-isotope analysis of ostracod shell. *Journal of Paleolimnology* 22: 383-397.
- Bronshtein, Z.S. 1988. *Freshwater Ostracoda*. Academy of Sciences of the USSR Publishers. Oxonian Press Pvt. Ltd. New Delhi. 470 pp.
- Brown, A.T., D.E. Nelson, R.W. Mathewes, J.S. Vogel y J.R. Southon. 1989. Radiocarbon Dating of Pollen by Accelerator Mass Spectrometry. *Quaternary Research* 32: 205-212.
- Byrne, R., D. Allen, E. Edlund y C. Polansky. 1996. Can lake sediments provide a record of tropical storms? The case of Laguna de Juanacatlán, Jalisco, México. In: Isaacs C.M. y V.L. Tharp (Eds.), *Proceedings of the Twelfth Annual Pacific Climate (PACLIM) Workshop*, p. 159. Interagency Ecological Program for the Sacramento-San Joaquin Estuary, Technical Report 46.
- Caballero, M.M. y B. Ortega. 1998. Lake levels since about 40,000 years ago at Lake Chalco, near Mexico City. *Quaternary Research* 50: 69-79.
- Caballero, M.M., S. Lozano, B. Ortega, J. Urrutia y J.L. Macías. 1999. Environmental characteristics of Lake Tecocomulco, northern basin of Mexico, for the last 50,000 years. *Journal of Paleolimnology* 22: 399-411.
- Caballero, M.M., G. Vilaclara, A. Rodríguez y D. Juárez. 2003. Short term climatic change in sediments from lake Alchichica, Cuenca de Oriental, México. *Geofísica Internacional* 42(3): 529-537.
- Carbonel, P., J.P. Colin, D.L. Danielopol, H. Löffler e I. Neustrueva. 1988. Paleoeology of limnic ostrácodos: a review of some major topics. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 62: 413-461.
- Carpenter, R.S., S.G. Fisher, N.B. Grimm y J.F. Kitchell. 1992. Global Change and Freshwater Ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Sist.* 23: 119-39.
- Carranza, E.A. 1997. La granulometría y su uso en estudios geoquímicos y ambientales. *Actas INAGEQ* 3: 235-243.
- Carrasco, N.G. y T.A. Gómez. 1997. Volcanogenic sedimentation around Citlaltépetl volcano (pico de Orizaba) and surroundings, Veracruz, Mexico. Pp 131-151 in Aguirre D.G.J., J. Aranda, G. Carrasca y L. Ferrari (Eds.): *Magmatism and tectonics in the central and northwestern México*. A selection of the 1997 IAVCEI General Assembly excursions. México D.F. UNAM, Instituto de Geología. Excursión 16.
- Carreño, A.L. 1990. Ostrácodos lacustres del paleolago de Texcoco. *Rev. Soc. Mex. Paleont.* 3(1): 117-135.
- Casique, V.J., D.S. García, G.C. Yáñez, H.L.H. Palacios y V.H. García. 1982. Resultados de las exploraciones realizadas por C.F.E. en el proyecto geotérmico Los Humeros-Derrumbadas, Estados de Puebla y Veracruz. *Anales del Instituto de Geofísica, UNAM*, 27-28: 9-61.
- Curry, B.B. 1999. An environmental tolerance index for ostrácodos as indicators of physical and chemical factors in aquatic habitats. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 148: 51-64.
- Curtis, H.J., M. Brenner, D.A. Hodell, R.A. Basler, G.A. Islebe y H. Hooghiemstra. 1998. A multi-proxy study of Holocene environmental change in the Maya Lowlands of Peten, Guatemala. *Journal of Paleolimnology* 19: 139-159.
- Danielopol, D.L., L.M. Casale y R. Olteanu. 1986. On the preservation of carapaces of some limnic ostrácodos: an exercise in actuopalaeontology. *Hydrobiologia* 143: 143-157.
- De Deckker, P. y R. Forester. 1988. The use of ostrácodos to reconstruct continental palaeoenvironmental records. p.175-199. In: De Deckker P., J.P. Colin and J.P. Peypouquet (Eds.). *Ostracoda in the earth sciences*. Elsevier. The Netherlands. 302 pp.
- De la Vega, L.A.C., D.H. Keen, R.L. Jones, J.M. Wells y D.E. Smith. 2000. Mid-Holocene environmental change in the Bay of Skail. Mainland Orkney, Scotland: an integrated geomorphological, sedimentological and stratigraphical study. *Journal of Quaternary Science* 15(5): 509-528.
- Delorme, L.D. 1969. Ostracodes as Quaternary paleoecological indicators. *Canadian Journal of Earth Sciences* 6: 1471-1476.
- Delorme, L.D. 1970a. Freshwater ostracodes of Canada. Part II. Subfamily Cypridopsinae and Herpetocypridinae, and family Cyclocyprididae. *Can. J. Zool.* 48: 253-266.
- Delorme, L.D. 1970b. Freshwater ostracodes of Canada. Part III. Family Candonidae. *Can. J. Zool.* 48: 1099-1127.

- Delorme, L.D. 1970c. Freshwater ostracodes of Canada. Part IV. Families Ilyocyprididae, Notodromadidae, Darwinulidae, Cytherideidae, and Entocytheridae. *Can. J. Zool.* 48: 1251-1259.
- Delorme, L.D. 1971. Freshwater ostracodes of Canada. Part V. Families Limnocytheridae, Loxoconchidae. *Can. J. Zool.* 49: 43-64.
- Delorme, L.D. 1982. Lake Erie Oxygen; the prehistoric record. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39: 1021-1029.
- Delorme, L.D. 1990. Freshwater Ostracodes. p. 93-100 in Warner B.G. (Ed): *Methods in Quaternary Ecology*. Geoscience Canada. Reprint series 5.
- Delorme, L.D., S.C. Zoltai y L.L. Kalas. 1977. Freshwater séller invertebrate indicators of paleoclimate in Northwestern Canada during the late glacial. *Canadian Journal of Earth Sciences* 14: 2029-2046.
- Ducasse, O., L. Rouselle y J.P. Peypoquet. 1983. Process of evolution in marginal-coastal and bathyal ostracods, Paleogene of Aquitaine, France. p.605-611. In: R.F. Maddocks (Ed.). *Applications of Ostracoda*. Departament of Geosciences, University of Houston, Houston. 677 pp.
- Ehrenberg, C.G. 1846. On the remains of infusoria animalcula in volcanic rocks. *Geol. Soc. London Quart. Jour.*: 73-91.
- Ehrenberg, C.G. 1854. Mikrogeologie das Erden und Felsen schaffende wirken des unsichtbar kleinen selbständigen Lebens auf der Erde. *Leipzig XXVIII*, 374, 88 pp. mit taffeln.
- Ehrenberg, C.G. 1866. Mitteilung der einen Phytolitharien-Tuff als Gebirgsart im Toluca-Thale von Mexiko.- *Monatsb. d.k. Preuss Akad. d. Wiss. z. Berlin* 30-31, 158-169 und 324-345, 1 Taffel.
- Ehrenberg, C.G. 1869. Über mächtige Gebirgs-Schichten vorherrschend aus mikroskopischen Bacillarien unter und bei der Stadt Mexiko. *Abh. d.k.k. Aked. d. Wiss. z. Berlin*. 66 pp. 3 Taffeln.
- Flores, A. 1965. *Estudios preliminares de ostrácodos y sus relaciones edáficas en los exlagos de Zumpango, Xaltocan, Texcoco, México, Xochimilco y Chalco*. Tesis de Licenciatura. Fac. de Ciencias, UNAM. México. 62 pp.
- 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 a possible quaternary paleoclimatic indicator. *Journal of Paleontology* 59(1): 8-20.
- Forester, R.M. 1986. Determination of the dissolved anion composition of ancient lakes from fossil ostrácodos. *Geology* 14: 796-798.
- Forester, R.M. 1987. Late Quaternary paleoclimate records from lacustrine ostracodes. p. 261-276 in Ruddiman W.F. & Wright H.E. Jr. (Eds.): *North America and adjacent oceans during the last deglaciation*. Geological Society of America. The Geology of North America. Colorado, USA. Vol. K-3.
- Forester, R.M. and E. M. Brouwers. 1985. Hydrochemical parameters governing the occurrence of estuarine and marginal estuarine ostracodes: an example from south-central Alaska. *Journal of Paleontology* 59(2): 344-369.
- Fritz, C.S., S.E. Metcalfe y W. Dean. 2001. Holocene Climate Patterns in the Americas Inferred from Paleolimnological Records. Pp. 241-263 in Markgraf V. (Eds.): *Interhemispheric Climate Linkages*. Academic Press. 454 pp.
- Furtos, N.C. 1933. The Ostracoda of Ohio. Ohio Biological Survey. . Bulletin 29. Vol. V (6): 413-523.
- Furtos, N.C. 1936. On the ostracoda from the Cenotes of Yucatan and vicinity. *Carnegie Inst. Washington Publ.* 457: 89-115.
- Gall, J.C. 1983. *Ancient sedimentary environments and the habitats of living organisms: Introduction to palaeoecology*. Springer-Verlag. Germany. 219 pp.
- Gandolfi, A., E.B.A. Todeschi, V. Rossi y P. Menozzi. 2001. Life history traits in *Darwinula stevensoni* (Crustacea: Ostracoda) from Southern European populations under controlled conditions and their relationship with genetic features. *J. Limnol.*60(1): 1-10.
- García, M.E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köeppen*. 3ª ed. Larios. México. 252 pp.
- Gasca, D.A. 1981. *Algunas notas de la génesis de los lagos-cráter de la cuenca de Oriental*. INAH, Colección Científica, 98, México.
- Gío, A.F.R., M.L. Machain, J.A. Alcalá y J.S. Jacob. 1994. Evidencias del impacto antropogénico en el pantano de Cobweb, Belice.. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.* 45: 89-100.
- Gray, J. 1988. *Paleolimnology, aspects of freshwater paleoecology and biogeography*. Elsevier Science Publishers. Netherlands. 678 pp.

- Griffiths, H.I., A. Rouse y J.G. Evans. 1993. Processing freshwater ostrácodos from archaeological deposits, with a key to the valves of the major British genera. *Circaea, The Journal of the Association for Environmental Archaeology* 10(2): 53-62.
- Grimm, E.C., S. Lozano, J.L. Betancourt y V. Markgraf. 1998. Regional trends in Holocene vegetation and climate in North and South America. *Reporte del Polo-Ecuador-Polo (PEP). Programa Pages*. p. 1-13.
- Heaton, T.H.E., J.A. Holmes and N.D. Bridgwater. 1995. Carbon and oxygen isotope variations among lacustrine ostracods: implication for paleoclimática studies. *The Holocene* 5: 428-434.
- Heine, K. 1973. Variaciones más importantes del clima durante los últimos 40,000 años en México. *Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala* 7: 51-58.
- Heine, K. 1975. *Das Mexiko Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Vol. VII: Studien zur jünquartären Glazialmorphologie mexikanischer Vulkane - mit einem Ausblick auf die Klimaentwicklung*. F. Steiner, Weisbaden.
- Heine, K. 1988. Late Quaternary glacial chronology of the Mexican volcanoes. *Die Geowissenschaften* 6: 197-205.
- Henderson, P.A. 1990. *Freshwater Ostracods. Synopsis of the Brithish Fauna (New Series)*, No. 42. Universal Book Services, Dr W. Backhuys for the Linnean Society of London and the Estuarine and Brackish-Water Sciences Association London.
- Hodell, D.A., J.H. Curtis, G.A. Jones, A Higuera, M. Brenner, M.W. Binford y K.T. Dorsey. 1991. Reconstruction of the Caribbean climate change over the past 10,500 years. *Nature* 352: 790-793.
- Holmes, J.A. 1992. Nonmarine ostrácodos as Quaternary palaeoenvironmental indicators. *Progress in Physical Geography* 16(4): 405-431.
- Holmes, J.A. 1998. A late Quaternary ostracod record from Wallywash Great Pond, a Jamaican marl lake. *Journal of Paleolimnology* 19: 115-128.
- Horne, D.J., A. Cohen y K. Martens. 2002. Taxonomy, morphology and biology of Quaternary and living ostracoda. p. 5-36 in Holmes J.A. y A.R. Chivas (Eds.): *The ostracoda: applications in Quaternary Research*. Geophysical Monograph 131. American Geophysical Union. 313 pp.
- Hutchinson, G.E. 1957. *A treatise on Limnology. Geography, Physics and Chemistry of lakes*. Vol I. John Wiley & Sons, N.Y. 1015 pp.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1987. *Síntesis Geográfica, Nomenclator y Anexo Cartográfico del Estado de Puebla*. México. 56 pp.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1995. *Anuario Estadístico del Estado de Tlaxcala*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. 311 pp.
- Israde, A.I. y H. Garduño. 1999. Lacustrine record in a volcanic intra-arc setting: the evolution of the Late Neogene Cuitzeo basin system (central-western México, Michoacán). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 151: 209-227.
- Jones, F.B. y C.J. Bowser. 1978. The mineralogy and related chemistry of lake sediments. Pp. 179-235 in Lerman A. (Eds.): *Lakes: Chemistry, Geology & Physics*. Spring-Verlag. USA. 363 pp
- Kaufman, D.S., G. O'Brien, J.I. Mead, J. Bright y P. Umhoefer. 2002. Late Quaternary spring-fed deposits of the Grand Canyon and their implication for deep lava-dammed lakes. *Quaternary Research* 58: 329-340.
- Kelts, K. y J. Hsü. 1978. Freshwater carbonate sedimentation. Pp. 296-322 in Lerman A. (Eds.): *Lakes: Chemistry, Geology & Physics*. Spring-Verlag. USA. 363 pp.
- Kennett, J. P. 1982. *Marine Geology*. Prentice-Hall, Inc. U.S.A. 813 pp.
- Klaus, D. 1973. Las fluctuaciones del clima en el valle Puebla-Tlaxcala. *Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala* 7: 59-62.
- Krutak, R.P. 1972. Some relationships between grain size of substrate and carapace size in modern brackish-water Ostracoda. *Micropaleontology* 18(2): 153-159.
- Külköylüoglu, O. y G.L. Vinyard. 2000. Distribution and ecology of freshwater ostracoda (Crustacea) collected from springs of Nevada, Idaho, and Oregon: a preliminary study. *Western North American Naturalist* 60(3): 291-303.
- Kurenkov, I.I. 1966. The influence of volcanic ashfall on biological processes in a lake. *Limnol. Oceanogr.* 11(3): 426-429.
- Lamb, A.L., M.J. Leng, H.F. Lamb y M.U. Mohammed. 2000. A 9000-year oxygen and carbon isotope record of hydrological change in a small Ethiopian crater lake. *The Holocene* 10: 167-177.

- Lister, G.S. 1988. Stable isotopes from lacustrine ostracoda as tracers for continental palaeoenvironments. p. 201-218 in: Deckker P., J.P. Colin y J.P. Peyrouquet (eds), *Ostracoda in the earth's sciences*. Elsevier. Netherlands. 302 pp.
- Löffler, H. 1986. Ostracod analysis. p. 693-702 in Berglund B.E. (Ed): *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. John Wiley & Sons Ltd.
- Löffler, H. 1997. The role of ostracods for reconstructing climatic change in Holocene and Late Pleistocene lake environment in Central Europe. *Journal of Paleolimnology* 18: 29-32.
- Lowe, J.J. y M.J.C. Walker. 1997. *Reconstructing Quaternary Environments*. 2a. ed. Edit. Longman. London, England. p. 162-163, 212-214.
- Lozano, G.S., J. Urrutia, M. Caballero y B. Ortega. 1991. Paleomagnetismo, palinología, paleolimnología y magnetoestratigrafía en sedimentos lacustres de la Cuenca de México. *Comunicaciones Técnicas*. Series de Investigación No. 124. Inst. de Geofísica, UNAM. 52 pp.
- Lozano, G.S., B. Ortega, M. Caballero y J. Urrutia. 1993. Late Pleistocene and Holocene paleoenvironments of Chalco lake, Central Mexico. *Quat. Research* 40: 332-342.
- Lozano, G.S. y B. Ortega. 1994. Palynological and magnetic susceptibility records of lake Chalco, Central Mexico. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology* 109: 177-191.
- Lozano, G.S. y B. Ortega. 1998. Late Quaternary environmental changes of the central part of the Basin of México; correlation between Texcoco and Chalco basins. *Review of Palaeobotany and Palynology* 99: 77-93.
- Machain, C.M.L., F.R. Gío, J.A. Alcalá y J.S. Jacob. 1992. Los ostrácodos del Holoceno del norte de Belice y su interpretación paleoambiental. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.* 43: 87-94.
- Machain, C.M.L. y F.R. Gío. 1993. La diversidad de ostrácodos de los mares mexicanos. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. Volumen especial (XLIV)*: 251-266.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona. 1010 pp.
- Martínez, M.G., E. Ugalde y G. Vilaclara. 1998. Scale invariance in paleoecology: from turbulence to fossils. *Memoria del 15<sup>th</sup>. Biennial AMQUA Meeting*: 129.
- Meisch, C. 2000. Freshwater Ostracoda of Western and Central Europe. *In*: J. Schwoerbel and P. Zwick, (Eds): *Süßwasserfauna von Mitteleuropa 8/3*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin. 522 pp.
- Metcalfe, S.E. 1986. Diatoms in a core from Laguna Zacapu, Michoacan, Mexico. *9th Diatom-Symposium*. p. 251-264.
- Metcalfe, S.E. 1987. Historical data and climatic change in México - A review. *The Geographical Journal* 153: 211-222.
- Metcalfe, S.E. 1992. *Changing environments of the Zacapu Basin, Central Mexico: A diatom-based history spanning the last 30,000 years*. Research Paper 48. School of Geography. University of Oxford.
- Metcalfe, S.E. 1995. Holocen environmental change in the Zacapu Basin, Mexico: a diatom-based record. p. 196-208 in Edward Arnold (Ed): *The Holocene* 5: 196-208.
- Metcalfe, S.E., F.A. Street-Perrott, R.B. Brown, P.E. Hales, R.A. Perrott y F.M. Steininger. 1989. Late Holocene Human Impact on Lake Basins in Central Mexico. *Geoarchaeology* 4(2): 119-141.
- Metcalfe, S.E., F.A. Street-Perrott, R.A. Perrott y D.D. Harkness. 1991. Palaeolimnology of the Upper Lerma Basin, Central Mexico: A record of climatic change and anthropogenic disturbance since 11600 yr BP. *Journal of Paleolimnology* 5: 197-218.
- Metcalfe, S.E., S.L. O'Hara, M. Caballero y S.J. Davis. 2000. Records of Late Pleistocene-Holocene climatic change in México-a review. *Quaternary Science Reviews* 19: 699-721.
- Mezquita, F., G. Tapia y J.R. Roca. 1999. Ostracoda from springs on the eastern Iberian Península: ecology, biogeography and paleolimnological implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 148: 65-86.
- Moore, R. C. 1961. *Treatise on Invertebrate Paleontology*. Part Q, Arthropoda 3, Crustacea, Ostracoda. Geological Society of America and University of Kansas Press. 442 pp.
- Neale, J.W. 1988. Ostracods and paleosalinity reconstruction. p.125-155. *In*: De Deckker P., J.P. Colin and Peyrouquet J.P. (Eds.). *Ostracoda in the earth sciences*. Elsevier. The Netherlands. 302 pp.
- Ohngemach, D. 1977. Pollen secuencia of the Tlaloqua crater (La Malinche volcano, Tlaxcala, México). *Bol. Soc. Bot. México* 36: 33-40.

- Ohngemach, D. y H. Straka 1983. Resumen en español del trabajo en Puebla de la comunidad alemana. In: Lauer W. (Ed.), *Das Mexiko-Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft 18: Beiträge zur Vegetation- und Klimageschichte im Gebiet von Puebla-Tlaxcala*. S. Steiner, Wiesbaden. p. 143-161.
- Ohngemach, D. y H. Straka. 1978. La historia de la vegetación en la región Puebla-Tlaxcala durante el Cuaternario Tardío. *Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala 15*: 189-207.
- Ordoñez, E. 1906. *Los xalapazcos del Estado de Puebla*. Secretaría de Fomento. México. 95 pp + 32 láminas.
- Ortega, G.B. 1992. *Paleomagnetismo, magnetoestratigrafía y paleoecología del Cuaternario en el lago de Chalco, Cuenca de México*. Tesis de Doctorado. Instituto de Geofísica, UNAM. 161 pp.
- Ortega, G.B., R. Thompson y J. Urrutia. 2000. Magnetic properties of lake sediments from Lake Chalco, central México, and their palaeoenvironmental implications. *Journal of Quaternary Science 15*: 127-140. Página electrónica: [http://lrc.geo.umn.edu/Core\\_Facility/Core\\_Retrieval/LRC-ETH\\_Kullenberg\\_System/Irceth\\_kullenberg\\_system.html](http://lrc.geo.umn.edu/Core_Facility/Core_Retrieval/LRC-ETH_Kullenberg_System/Irceth_kullenberg_system.html). 2000. Nucleador de gravedad. The Limnological Research Center, Department of Geology and Geophysics, University of Minnesota, Minneapolis.
- Página electrónica: [http://www.colorado.edu/INSTAAR/Radiocarbon\\_DatingLab](http://www.colorado.edu/INSTAAR/Radiocarbon_DatingLab). 2001. INSTAAR Laboratory for AMS Radiocarbon Preparation and Research, University of Colorado at Boulder.
- Palacios-Fest, M.R., A.L. Carreño, J.R. Ortega y G. Alvarado. 2002. A paleoenvironmental reconstruction of Laguna Babícora, Chihuahua, México based on ostracode paleoecology and trace elements shell chemistry. *Journal of Paleolimnology 27*: 185-206.
- 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.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. *Climate change in continental isotopic records. Geophysical Monograph 78*: 179-190.
- Peypouquet, J.P., O. Ducasse, J. Gayet y L. Pravatit. 1980. Agradation et degradation des tests d'ostracodes. Intérêt pour la connaissance de l'évolution paleohydrologique des domaines margino-littoraux. *Cristallisation, déformation, dissolution des carbonates*. Reunión spéciale, Bordeaux III, p.357-369.
- Peypouquet, J.P., O. Ducasse y L. Rousselle. 1981. Morphogenesis and environment theoretical and practical aspects from *Hammatocythere*: paleogene ostrácoda of the aquitaine basin. *Inter. Symp. Concept. Meth. Paleo. Barcelona*. p. 173-187.
- Peypouquet, J.P., P. Carbonel, M. Taieb, J.J. Tiercelin y G. Perinet. 1983. Ostracoda and evolution process of paleohydrologic environments in The Hadar Formation (The Afar Depression, Ethiopia). p. 277-285. In: R.F. Maddocks (Ed.). *Applications of Ostracoda*. Dept. of Geosciences, University of Houston, Houston. 677 pp.
- Porter, S.C., D.J. Sauchyn y L.D. Delorme. 1999. The ostracode record from Harris Lake, southwestern Saskatchewan: 9200 years of local environmental change. *Journal of Paleolimnology 21*: 35-44.
- Radiocarbon Calibration Program CALIB Rev. 4.3. 2000. Programa para la calibración de la edad de las muestras.
- Ramírez, G.P. y A. Novelo. 1984. La vegetación acuática vascular de seis lagos-cráter del estado de Puebla, México. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 46: 75-88.
- Raup, D. y S.M. Stanley. 1978. *Principios de paleontología*. Ariel. Barcelona. 481 pp.
- Reyes, C.M. 1979. *Geología de la Cuenca de Oriental. Estados de Puebla, Veracruz y Tlaxcala*. Inst. Nal. Antrop. Hist. de México. 62 pp.
- Rinderhagen, M., J. Ritterhoff y G.P. Zauke. 2000. Crustaceans as Bioindicators. p.161-194 in: Gerhardt A. (ed.) *Biomonitoring of Polluted Water*. Review on Actual Topics, Trans Tech Publications- Scitech Publications, Environmental Research Forum Vol. 9.
- Roberts, N. 1992. *The Holocene: An Environmental History*. Blackwell. Great Britain. 227 pp.
- Rodríguez, R.A. 2002. *Aspectos paleolimnológicos de la historia reciente del lago La Preciosa, Publa*. Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México. 75 pp.
- Schnurrenberger, W.D., K.R. Kelts, T.C. Johnson, L.C.K. Share y E. Ito. 2001. National lacustrine core repository (Lac Core). *Journal of Paleolimnology 25(11)*: 123-127.
- Schwalb, A., S.M. Locke y W.E. Dean. 1995. Ostracode  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  evidence of Holocene environmental changes in the sediments of two Minnesota lakes. *Journal of Paleolimnology 14*:281-296.

- Schwalb, A. y W.E. Dean. 1998. Stable isotopes and sediments from Pickerel Lake, South Dakota, USA: a 12ky record of environmental changes. *Journal of Paleolimnology* 20: 15-30.
- Smith, A.J. 1993. Lacustrine ostracodes as hydrochemical indicators in lakes of the north-central United States. *Journal of Paleolimnology* 8: 121-134.
- Smith, A.J., J.J. Donovan, E. Ito, D.R. Engstrom y V.A. Panek. 2002. Climate-driven hydrologic transients in lake sediment record: multiproxy record of mid-Holocene drought. *Quaternary Science Reviews* 21: 625-646.
- Smol, J.P. 1992. Paleolimnology: an important tool for effective ecosystem management. *Journal of Aquatic Ecosystem Health* 1: 49-58.
- Smol, J.P., B.F. Cumming, M.S.V. Douglas y R. Pienitz. 1995. Inferring Past Climatic Changes in Canada using Paleolimnological Techniques. *Geoscience* 21(3): 113-118.
- Sokal, R.R. y F. J. Rohlf. 1969. *Biometría: Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. H. Blume Ediciones. España. 832 pp.
- SPP. 1986. *Síntesis Geográfica de Tlaxcala*. Secretaría de Programación y Presupuesto. México. 91 pp.
- Statistica/w 5.0, programa para realizar el análisis de correlación no paramétrica (r-Spearman, r-S).
- StatSoft, Inc. 1998. STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK 74104, phone: (918) 749-1119, fax: (918) 749-2217, email: info@statsoft.com, WEB: <http://www.statsoft.com>.
- Straka, H. y D. Ohngemach. 1989. Late Quaternary vegetation history of the Mexican highland. *Plant Systematics and Evolution* 162: 115-132.
- Street-Perrot, F.A. y S.P. Harrison. 1985. Lake level and climatic reconstruction. p. 291-340 in Hecht A.D. (Ed.): *Paleoclimatic analysis and modeling*. John Wiley and sons.
- M. Spurk. 1998a. *Radiocarbon* 40: 1041-1083.
- Terasmae, J. 1984. Radiocarbon dating: Some problems and potential developments. p. 1-15. In: Mahaney W.C. (Ed.). *Quaternary dating methods. Developments in paleontology and stratigraphy*. Elsevier. 431 pp.
- Thompson, R., R.W. Battarbee, P.E. O'Sullivan y F. Oldfield. 1975. Magnetic susceptibility of lake sediments. *Limnology and Oceanography* 20(5): 687-698.
- Tressler, W.L. 1954. Fresh-water ostracoda. *Journal of The Washington Academy of Science* 44(5): 139-142
- Úbeda, A.M. y S. Estrada. 1994. *Variación temporal de las comunidades macrobentónicas de los lagos de la región de los Llanos, Puebla, México (Composición, abundancia, distribución, asociaciones)*. Tesis de Licenciatura, E.N.E.P. Iztacala, UNAM, México. 44 pp.
- Van Doninck, K., I. Schön, K. Martens y B. Goddeeris. 2003. The life-cycle of the asexual ostracod *Darwinula stevensoni* (Brady y Robertson, 1870) (Crustacea, Ostracoda) in a temperate pond. *Hydrobiologia* 500: 331-340.
- Vance, R.E., W.M. Last y A.J. Smith. 1997. Hydrological and climatic implications of a multidisciplinary study of late Holocene sediment from Kenosee Lake, southeastern Saskatchewan, Canada. *Journal of Paleolimnology* 18: 365-393.
- Vázquez, D.M.L. 1996. *Los ostrácodos de la plataforma continental del oeste de la península de Yucatán*. Tesis de Licenciatura. Fac. de Ciencias, UNAM. México. 39 pp.
- Vilaclara, G., M. Chávez, A. Lugo, H. González y M. Gaytán. 1993. Comparative description of crater-lakes basic chemistry in Puebla State, Mexico. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 435-440.
- Vilaclara, G., M. A. Armienta, J. Alcocer, G. Carrasco, L. Baños y B. Ortega. 2002. *Limnogeología de los lagos cráter de la Cuenca Oriental, México*. Memorias del II Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Limnología. Hacia la unificación de conceptos. Conjunto Amoxcalli de la Facultad de Ciencias, UNAM. México. Resumen p. 12. (<http://aml.iztacala.unam.mx/Memorias%20II%20AML.pdf>)
- Wetzel, R.G. 1981. *Limnología*. Omega. Barcelona. 679 pp.
- Whatley, R. y C. Maybury. 1990. *Ostracoda and Global Events*. British Micropalaeontological Society Publication Series. Chapman and Hall. Great Britain. 621 pp.
- Williams, M.A.J., D.L. Dunkerley, P. De Deckker, A.P. Kershaw y T.J. Stokes. 1993. *Quaternary Environments*. Great Britain. 330 pp.
- Williams, W.D. 1996. The largest, highest and lowest lakes of the world: saline lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26: 61-79.
- Yarza, E. 1971. *Volcanes de México*. 2ª. ed. Offset Universal. México D.F. 237 pp.

## ANEXO 1



Figura A) Lago La Preciosa, Puebla



Figura B) Muestreo de campo: núcleos de litoral (LP111)



Figura C) Muestreo de campo: núcleos de gravedad (LP112)

Figuras D) Evidencias del descenso en el nivel lacustre



Figura D1) Marcas de nivel.



Figura D2) Formaciones tipo estromatolitos.



Figura D3) Terrazas lacustres y cambios en el litoral.