

PALEOLIMNOLOGÍA: COMO DESCIFRAR LA HISTORIA DE LOS LAGOS Y SU ENTORNO A PARTIR DEL ESTUDIO DE SUS SEDIMENTOS.

Margarita Caballero¹, Francisco Valadez^{1,2}, Alejandro Rodríguez^{1,2}

RESUMEN

Los cuerpos de agua continentales son de suma importancia para la vida, particularmente para los seres humanos ya que es la única fuente de agua que puede utilizarse para beber, regar, y de manera general, satisfacer la necesidad de agua. La Limnología es la ciencia que se encarga de estudiar éstos ecosistemas acuáticos, dentro de los que destacan los lagos que tienen gran importancia porque son sistemas muy sensibles a cambios en su entorno, como pueden ser cambios en el clima, en la red de drenaje, en la cubierta vegetal de su cuenca de captación, etc. Además, también son sensibles a cambios internos que se registran como variaciones en las propiedades fisicoquímicas del agua.

Los sedimentos que se acumulan en el fondo de un lago son un reflejo de la interacción entre los factores bióticos y abióticos que inciden tanto en el lago como en su cuenca de captación. La paleolimnología es precisamente el estudio de cualquier tipo de información preservada en los sedimentos lacustres, que nos permita reconstruir la naturaleza y/o variabilidad ambiental de un lago o de su entorno en el pasado. Para poder obtener esta información, es necesario aplicar distintas metodologías como la descripción estratigráfica, el fechamiento, el análisis de microfósiles como pueden ser las diatomeas, el polen o los ostrácodos. Estos indicadores aportan información sobre los cambios ocurridos en el clima y el ambiente, lo cual queda evidente con tres ejemplos, Chignahuapan, en la cuenca del lago Lerma, Edo. Mex. en la parte central de México; Salina de Kino, Son., en la costa del Golfo de California, noroeste de México, y Lago Verde en los Tuxtlas, Ver., en la parte sur de la costa del Golfo de México.

Comprender la variabilidad climática en diferentes escalas de tiempo, el impacto que la variabilidad climática y ambiental puede tener en el desarrollo cultural y a su vez como la presencia humana impacta en el ambiente, son objetivos primordiales dentro de los estudios paleoambientales. Dentro de este contexto, la paleolimnología permite ver nuestro entorno con un nuevo enfoque, con una perspectiva “histórica” que aporta información valiosa para comprender el presente y evaluar el futuro.

Palabras Clave

Lagos, Paleolimnología, Pleistoceno, Holoceno, Clima, Paleoclima, Sedimento, Diatomeas, Ostracodos, Polen.

¹Instituto de Geofísica, UNAM, Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, México D.F., México.

²Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, México D.F., México.

*maga@geofisica.unam.mx

INTRODUCCIÓN

La Tierra se caracteriza por ser un planeta lleno de agua, pero casi toda se encuentra concentrada en los océanos y en los casquetes de hielo. Solo cerca del 1% del agua del planeta se localiza sobre los continentes, repartida entre el agua subterránea (la mayoría) y el agua superficial, la que puede presentarse como ríos, pantanos, lagos, etc. Esta agua continental es de suma importancia para la vida en general, y para los seres humanos en particular, ya que es la única que podemos usar para beber, regar, etc. La Limnología es la ciencia que se encarga de estudiar éstos ecosistemas acuáticos continentales, dentro de los que destacan los lagos.

Los lagos son ecosistemas relativamente pequeños, comparados con los océanos, o con las selvas tropicales, y de duración temporal, en términos geológicos, relativamente corta (menos de 1 millón de años). Sin embargo son ecosistemas muy importantes por la alta biodiversidad que contienen, por ser reservas de agua dulce, por su valor estético y recreativo, etc. Los lagos también son importantes porque son sistemas muy sensibles a cambios en su entorno, como pueden ser cambios en el clima, en la red de drenaje, en la cubierta vegetal de su cuenca de captación, etc. El clima ejerce una influencia notable en los procesos lacustres (Williams *et al.*, 1993) ya que la persistencia de un lago es posible solo si el agua que llega a él, procedente de diversas fuentes (lluvia, aporte superficial y/o subterráneo), excede a las pérdidas (efluentes, evaporación). El balance entre entradas y salidas controla el nivel de agua e, indirectamente, su salinidad, dado que si el balance hidrológico es negativo (el lago pierde mas agua por evaporación que la que le llega por lluvia) será mayor la concentración de sales que se acumulen en un cuerpo de agua, dando origen a los lagos salobres comunes en zonas áridas. Esta relación entre el clima, el nivel y la salinidad de un lago es más directa en sistemas endorreicos, esto es en lagos que se encuentran en una cuenca cerrada, que no tiene efluentes (Zanor, 2003).

Los procesos sedimentarios que ocurren dentro de todo lago favorecen que en su fondo se acumulen secuencias más o menos continuas de sedimento dentro del que se conservan evidencias de la evolución del sistema lacustre así como de su entorno. La Paleolimnología es precisamente el estudio de cualquier tipo de información preservada en los sedimentos lacustres, que nos permita reconstruir la naturaleza de un lago o de su entorno en el pasado. Esto hace que la Pale-

olmnología sea una disciplina muy importante para el estudio de la variabilidad climática y ambiental y de la evolución de los ecosistemas terrestres durante los últimos miles de años.

Los Sedimentos Lacustres

Los sedimentos que se acumulan en el fondo de un lago son un reflejo de la interacción entre los factores bióticos y abióticos que inciden tanto en el lago como en su cuenca de captación (Eugster y Kelts, 1983). De manera general se pueden separar dos componentes principales de los sedimentos lacustres, los autigénicos, originados dentro del lago mismo y los componentes alogénicos, provenientes de la cuenca de captación. El material autigénico está dominado por productos derivados de la actividad biológica dentro del lago, como materia orgánica y restos de organismos que pueden ser de naturaleza silíceo, calcárea, quitinosa, etc. Los sedimentos autigénicos también pueden ser de origen inorgánico, al precipitar en la columna de agua algunas sales, o minerales, como los carbonatos. Los sedimentos alogénicos llegan al lago ya sea por transporte fluvial o eólico, y están constituidos principalmente por sedimentos clásticos, provenientes de la erosión de la cuenca de captación, aunque también pueden incluir materia orgánica de diferente tipo, como restos de hojas y tallos, granos de polen, etc. Los sedimentos alogénicos también pueden incluir algunas sales provenientes de la disolución de las rocas o suelos circundantes.

Dependido del balance entre los diversos tipos de materiales que se depositan en el lago, tanto autigénicos como alogénicos, estos se pueden clasificar en cuatro tipos diferentes (Anadón, 1992), aunque cabe mencionar que estas categorías no son tajantes y es frecuente encontrar tipos intermedios:

1) Sedimentos clásticos, se originan en lagos donde dominan los aportes externos (alogénicos) de material clástico o terrígeno.

2) Sedimentos de origen químico (carbonatos, sales), típicos de lagos donde predominan los procesos autigénicos de precipitación de sales.

3) Sedimentos bioquímicos, en los que dominan partículas producto de la actividad fisiológica de los organismos que viven en el lago (autigénicos), como restos silíceos (de algas como las diatomeas) o carbonatados (conchas de ostrácodos, gasterópodos, etc.).

4) Sedimentos orgánicos, constituidos principalmente por materia orgánica proveniente de los organismos que viven en el lago, aunque parte de ella

también puede provenir de los suelos y vegetación del entorno.

Las variaciones en los factores bióticos y abióticos que inciden en un lago y en su cuenca de captación pueden favorecer que existan alternancias rítmicas en el tipo de sedimentos que se acumulan en el lago, formándose laminaciones. Por ejemplo, en los sedimentos de un lago pueden alternar capas claras, ricas en restos silíceos de diatomeas (sedimentos bioquímicos) y capas oscuras, ricas en materia orgánica (sedimentos orgánicos). Si esta alternancia en tipo de sedimento se debe a fluctuaciones anuales del clima, como puede ser un lago cubierto de hielo durante el invierno y sin hielo durante el verano, entonces a cada par de laminaciones (normalmente una clara y otra oscura) se le denomina varve, y un varve representa un ciclo anual. Si la alternancia en el tipo de sedimento es generada por algún factor que no es anual, pero sí recurrente, como por ejemplo años excepcionalmente secos o fríos, entonces se les puede denominar ritmitas o simplemente sedimentos laminados.

El estudio Paleolimnológico de sedimentos laminados puede dar mucha información y muy detallada sobre la evolución de un lago y su entorno, sin embargo este tipo de sedimentos, sobretodo en regiones tropicales como México, es relativamente raro. La mayoría de los lagos tienen secuencias estratigráficas menos detalladas, con paquetes sedimentarios de varios centímetros de espesor. Si en la secuencia sedimentaria de un lago existen cambios en el tipo de sedimento, esto indica que muy probablemente también hubo algún cambio en el lago y/o su entorno, como un cambio en el clima, en el uso del suelo, en la salinidad o en el nivel de nutrientes del lago, etc. Es el trabajo del paleolimnólogo descifrar a que se deben estas variaciones estratigráficas.

MÉTODOS PALEOLIMNOLÓGICOS

Los sedimentos que se acumulan año con año en el fondo de un lago tienen una secuencia cronológica, el sedimento más profundo corresponde a un tiempo más antiguo, y así sucesivamente, hasta llegar al sedimento superficial que representa el tiempo presente. Un estudio de la secuencia estratigráfica completa de un lago nos dará información de toda la historia del lago. Pero para poder estudiar el sedimento es necesario llevarlo al laboratorio. Para ello es necesario recuperar el paquete de sedimentos del fondo del lago, sin perturbarlo, mediante el empleo de equipos especializados (Last y Smol, 2001). Estos equipos son, en principio, tubos que penetran en el sedimento por presión, ya sea manual o mecánica, y que al recuperar-

los contienen en su interior la secuencia sedimentaria del lago.

Una vez recuperada la secuencia sedimentaria es necesario estudiarla detalladamente para poder realizar una reconstrucción paleolimnológica. Una parte importante de este estudio es describir el tipo de sedimento que forma la secuencia, esto es realizar una descripción estratigráfica. Otra parte fundamental es tener una idea de la edad de toda la secuencia así como de las diferentes capas que la forman. Para ellos se emplean métodos como el fechamiento por radiocarbono, que es uno de los más usados en paleolimnología. El radiocarbono o ^{14}C es un isótopo radiactivo del carbono (el “normal” es ^{12}C) que se incorpora constantemente en los organismos mientras estos están vivos. Cuando un organismo muere deja de incorporar ^{14}C y entonces la cantidad de este isótopo en su materia orgánica empieza a disminuir de manera proporcional al tiempo que ha transcurrido. Ya que en los sedimentos lacustres frecuentemente hay materia orgánica, es factible emplear este método de fechamiento, el cual puede dar edades entre más o menos 200 y aproximadamente 30,000 a 50,000 años. Las edades de radiocarbono son referidas como años antes del presente (AP) y se tienen que calibrar para convertirlas a edades de nuestro calendario (aC / dC). Si deseamos estudiar eventos más recientes entonces podemos recurrir al método del ^{210}Pb que sirve para fechar acontecimientos que ocurrieron durante los últimos 200 a 250 años. Si deseamos estudiar eventos más antiguos, en el rango de millones de años, entonces se puede recurrir a otros métodos radiométricos como el K / Ar o el Rb / Sr (Bradley, 1999; Last y Smol, 2001).

Una vez conocida la edad de los sedimentos se debe proceder a realizar el mayor número de estudios posibles que aporten “pistas” sobre como era el lago y su entorno en cada momento de su historia. La gama de estudios que se pueden hacer es muy amplia, pero algunos de los métodos que más información pueden dar es el estudio del contenido de microfósiles en el sedimento lacustre, entre los que destacan los palinomorfos, las diatomeas y los ostrácodos.

El análisis de palinomofos involucra la identificación de diversos tipos de microfósiles dentro de los que se encuentran los granos de polen de las plantas superiores (angiospermas y gimnospermas), las esporas de resistencia de helechos, musgos, algas y hongos así como algunos restos de estructuras vegetativas de algas y hongos (Benett y Willis, 2001; van Geel, 2001). Para su estudio e interpretación los palino-

morfos pueden ser divididos en dos grandes grupos: el de los elementos o taxa locales, tales como hongos, algas y plantas acuáticas y subacuáticas, que aportan información sobre las características propias del lago, y el de los elementos regionales, tales como arboles, hierbas y pastos, que aportan información sobre la cobertura vegetal en la cuenca de captación.

Las diatomeas son algas unicelulares cuyo tamaño puede variar entre 10 y 200 µm (0.01 a 0.2 mm). Son organismos fotosintéticos, importantes productores primarios, cuyos cloroplastos tienen un tono especial, pardo-dorado, que se debe a la presencia de pigmentos como la fucoxantina. La célula de las diatomeas tiene una cubierta silíceo resistente a la degradación que se llama frustulo y que está formado por dos mitades, cada una de las cuales se llama valva. Las valvas de las diatomeas tienen ornamentaciones características que permiten distinguir a las diferentes especies, e inclusive variedades, de este grupo. Las especies de diatomeas son bastante específicas a las condiciones en las que viven como el pH, la alcalinidad, salinidad o profundidad de un lago. Debido a esto y a la gran abundancia que estos microfósiles pueden llegar a tener en los sedimentos, es posible realizar, a partir de las asociaciones encontradas en una secuencia estratigráfica, estimaciones sobre los valores que presentaron estos parámetros en el pasado. (Stoermer y Smol, 1999, Batarbee *et al.* 2001).

Los ostracodos son pequeños (0.3 - 5 mm) crustáceos con un caparazón o concha de carbonato de calcio la cual está formada por dos valvas unidas por una charnela (estructura a manera de bisagra). Estas valvas, que por su calcificación se preservan frecuentemente en el sedimento lacustre, poseen características morfológicas particulares que permiten la identificación a nivel específico. Los ostrácodos son los microfósiles calcáreos más abundantes en los ambientes acuáticos continentales y son particularmente sensibles a variaciones en el agua en la que viven, específicamente de salinidad y temperatura, parámetros que dependen en gran medida del clima. En este contexto, los cambios climáticos quedan registrados en la variación de la dominancia de las diferentes especies a lo largo de las secuencias sedimentarias. De esta manera los ostrácodos son una herramienta importante en la reconstrucción climática (De Deckker y Forester, 1988; Delorme, 1990; Holmes, 2001; Park y Smith, 2003).

ESTUDIOS PALEOLIMNOLÓGICOS EN MÉXICO: TRES CASOS.

El Paso del Último Máximo Glaciar al Presente y la Naturaleza del Holoceno en el Centro de México: La Ciénega de Chignahuapan.

En la cuenca alta del Lerma, Edo. Mex., se realizó un estudio paleoambiental que documenta los cambios que experimentó la ciénega de Chignahuapan (Figura 1) y su entorno durante los últimos ca. 22,000 años antes del presente (AP), período que abarca desde el último máximo glaciar al presente (Caballero *et al.*, 2002; Lozano-García *et al.*, 2005). Este estudio es interesante porque se puede realizar una correlación más o menos directa entre los datos paleolimnológicos y los arqueológicos, en particular para el período conocido como Clásico tardío (ca. 550 – 900 dC), que en esta cuenca se manifiesta como una etapa durante la cual las poblaciones humanas se instalaron en el ambiente palustre, construyendo islas artificiales, las cuales fueron abandonadas hacia el año 900 dC (Sugiyama, 1992, 2000).

Chignahuapan es el de menor altitud de los cuerpos lacustres que existen en la cuenca del alto Lerma, donde se origina el río del mismo nombre (Figura 1). En este sitio se realizó un estudio de propiedades magnéticas, polen y diatomeas en una secuencia de 9.5 m de profundidad, que cuenta con 6 fechamientos de ¹⁴C, los que indican una edad de aproximadamente 22,000 años AP para la base de la secuencia. Los resultados de este trabajo correlacionan bien y complementan los trabajos previos en la zona (Metcalf *et al.*, 1991, Caballero *et al.*, 2001) y permiten concluir que en esta cuenca hubo cambios drásticos en las condiciones ambientales entre el Pleistoceno tardío (22,000 a 10,000 años AP) y el Holoceno (menos de 10,000 años AP). El Pleistoceno tardío se identifica como un período frío pero de estabilidad en el lago, en el que dominan condiciones de lago somero de aguas dulces. El lago estaba rodeado por bosques poco densos, lo que favorecía una alta tasa de erosión de la cuenca hacia el lago. El Holoceno es, en contraste, un período más cálido, con nivel lacustre generalmente más bajo, pero sobre todo, más variable, lo que sugiere mayor variabilidad climática. El lago estaba rodeado por bosques más cerrados y por lo tanto el aporte de sedimentos de la cuenca hacia el lago es menor (Figura 2). Entre la variabilidad climática del Holoceno se detectan tres periodos de nivel lacustre bajo, cuando el lago pasa a ser un pantano o ciénega, el primero entre ca. 10,000 a 7,000 años AP, el segundo hace ca.

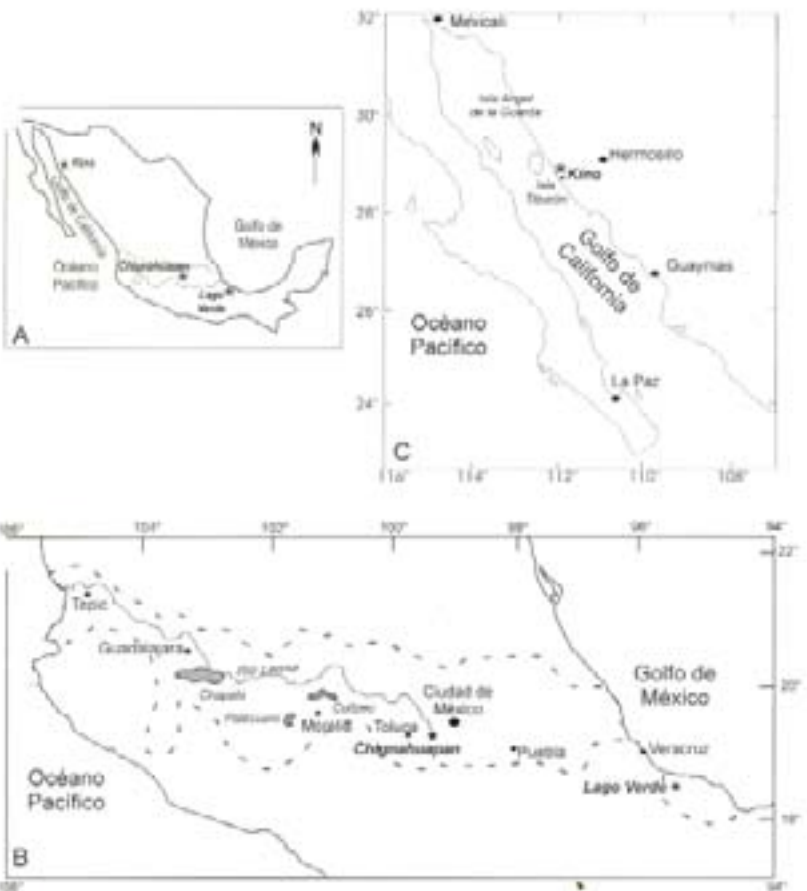


Figura 1. Mapas de localización de los sitios mencionados en el texto. A. México con la localización general de los tres sitios mencionados en el texto. B. Centro de México con la localización de Chignahuapan en la cuenca del alto Lerma y Lago Verde en Los Tuxtlas. C. Golfo de California con la localización general de la salina de Kino, en Sonora.

4,500 años AP y el último inicia hacia los 2,000 años AP, (equivalente al año 200 aC), intensificándose entre 1,400 y 800 años AP (equivalente a 550 – 1100 dC). También se identifica una señal de deforestación que inicia hace aproximadamente 3,100 años AP (equivalente al año 1500 aC), en el periodo conocido como Formativo (Lozano-García *et al.*, 2005). La última etapa de nivel lacustre bajo (ca. 550-1100 dC), corresponde con el Clásico tardío, cuando se construyen los islotes artificiales dentro del ambiente palustre. Los datos de polen señalan la presencia de maíz y fragmentos de carbón, confirmando la presencia humana en la zona (Lozano-García *et al.*, 2005). Estos islotes son abandonados cuando el nivel del agua se recupera alrededor del año 900 a 1000 dC.

Un Registro de Cambio en el Nivel del Mar Durante el Holoceno: Bahía Kino.

En la costa continental del Golfo de California, en Bahía Kino, Sonora (Fig. 1), se realizó un estudio paleoambiental que documenta el aumento en el niv-

el del Mar durante el Holoceno en esta región. Este aumento en el nivel del mar estuvo asociado con el final de la última glaciación (hace 15,000 a 10,000 años AP), cuando grandes cantidades de hielo, que estaba atrapado en los casquetes polares durante el último máximo glaciar, hace 18,000 años, se derritieron, favoreciendo un aumento de cerca de 120 m en el nivel del mar entre hace cerca de 15,000 años y el presente. Este registro también aporta información paleoclimática para el Holoceno medio en la zona costera del estado de Sonora (Caballero *et al.*, 2005). En esta región ambos tipos de información son relevantes pues la zona costera del Golfo de California fue uno de los ambientes explotados por las primeras poblaciones humanas que ocuparon la región.

Este estudio se realizó en un núcleo de 10 m de longitud, perforado en la llamada Salina de Kino (Fig. 1) en el que se realizaron diversos análisis, incluyendo susceptibilidad magnética, contenido de materia orgánica, polen, diatomeas, ostrácodos y foraminíferos.

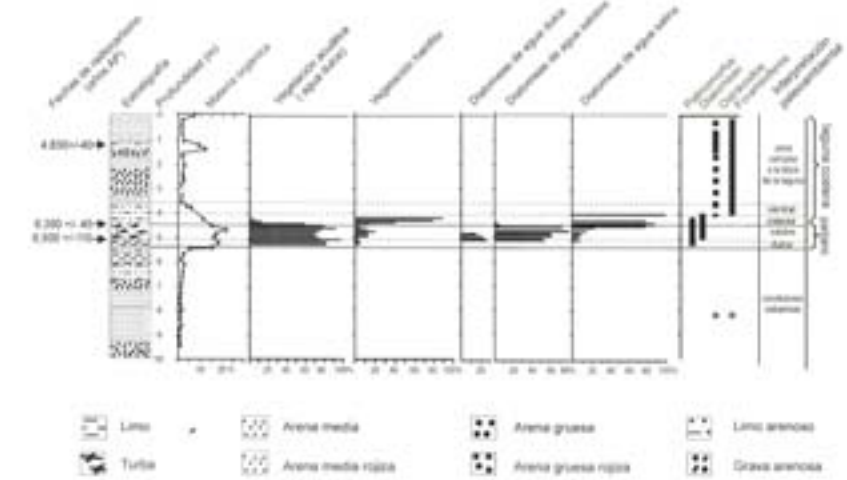


Figura 3. Secuencia Kino (KI), Sonora, resumen de datos de polen, diatomeas, ostracodos y foraminíferos e interpretación paleoambiental.

(últimos 10,000 años).

Impacto Humano, Deforestación y Eutroficación: Lago Verde.

Figura 4. Secuencia Lago Verde (VRUII), Los Tuxtlas, Ver., datos de diatomeas y polen e interpretación paleolimnológica.

En este lago se presentan evidencias muy claras del impacto humano que caracteriza la región, como deforestación, que a su vez afecta al lago volviéndolo más turbio y eutrófico (esto es muy rico en nutrientes, lo que genera falta de oxígeno en el agua y la muerte de organismos). En esta región este tipo de información es muy importante porque documenta los cambios recientes en la selva tropical en Los Tuxtlas, uno de los últimos relictos de selva que se conservan en México, y como ésta se ha perdido durante los últimos años, pasado de un continuo de selva en los años 1960 a un continuo de potreros y tierras de cultivo con parches de selva, que es lo que domina en la actualidad.

Los Tuxtlas es un campo volcánico activo, cuya cima principal es el volcán San Martín, el cual ha tenido dos erupciones históricas, en 1664 y 1792. Este estudio (Caballero *et al.*, 2005b) se realizó en Lago Verde (Fig. 1), que es uno de los lagos cráter que caracterizan la región. Éste es un lago pequeño, somero (ca. 4 m profundidad máxima), con aguas levemente alcalinas, turbias y eutróficas (con alto contenido de nutrientes). En este lago se estudió una secuencia de ca. 1 m de profundidad, en la que se realizaron análisis de propiedades magnéticas, polen, diatomeas y partículas de carbón. La secuencia fue fechada por ¹⁴C y ²¹⁰Pb, indicando que la ceniza que marca la base corresponde a la erupción histórica del volcán San Martín de 1664. Los datos en su conjunto (Fig. 4) indican que entre 1664 y 1963 el lago tenía aguas menos turbias y con menos nutrientes (mesotrófico) que el lago actual, identificándose una etapa, entre 1785 a 1885, durante la cual fue un poco mas somero. Entre 1664 y 1963 el lago estaba rodeado por selva tropical, la cual estuvo mejor representada entre 1800 y 1963. En el año de 1921 se detecta una primera fase de impacto humano durante la cual es probable que se hayan deforestando pequeñas áreas para practicar la agricultura. El impacto humano más intenso se detecta entre 1963 y 1988, cuando amplias zonas del cráter fueron deforestadas, favoreciendo una elevada erosión de la cuenca hacia el lago, lo que transformó al lago en un sistema muy turbio y eutrófico. Después de 1988 el impacto humano dentro del cráter de Lago Verde es menor, ya no se continúa con la deforestación del cráter y el lago y su entorno llegan a un nuevo equilibrio en el que el lago se recupera un poco, disminuyendo levemente la turbidez de sus aguas y su concentración de nutrientes, sin dejar de ser eutrófico.

Los ejemplos presentados anteriormente dan una aproximación al tipo de información que se puede derivar de un estudio paleolimnológico y al tipo de datos

que hay disponibles para México en esta disciplina. La alta diversidad de climas y ambientes que caracterizan a nuestro país, también está reflejada en los datos paleolimnológicos, distinguiéndose la zona árida del norte de México de las regiones más húmedas del centro. Los registros paleolimnológicos que cubren desde el máximo glacial al presente son escasos, en la zona árida de Noroeste de México el paso del Pleistoceno tardío al Holoceno se caracteriza por una tendencia hacia ambientes más secos, siendo los últimos miles de años, aproximadamente los últimos 4,000 años, los de mayor aridez. En el centro de México el registro del alto Lerma indica que el cambio ambiental entre el Pleistoceno tardío y el Holoceno fue drástico, marcándose el Holoceno como una etapa de alta variabilidad climática. El Holoceno en esta parte de México esta caracterizado por episodios de nivel lacustre bajo, que se interpretan como etapas con un balance de humedad negativo. Este balance negativo puede estar dado por una menor precipitación, por una mayor evaporación o por una combinación de ambos factores. En el registro del alto Lerma se identifican tres episodios de este tipo, el último, ocurrido hace aproximadamente 2,000 a 800 años AP (200 aC a 1100 dC), y se centra durante el período cultural denominado Clásico (200 a 900 dC). En el centro de México el Clásico corresponde con el máximo desarrollo de Teotihuacan, y localmente en el alto Lerma con la aparición de una nueva estrategia en la explotación del ambiente al construirse islotes artificiales dentro de la zona palustre, cuya presencia solo es posible dado el bajo nivel lacustre. Esta forma de vida es abandonada en un momento muy cercano a un aumento en el nivel lacustre. Comprender el impacto que la variabilidad climática y ambiental puede tener en el desarrollo cultural así como el impacto que las presencia humana puede tener en el ambiente, representa uno de los retos más fuertes dentro de los estudios paleoambientales, marcando la importancia de la interacción con otras disciplinas, en este caso la arqueología. Estudios sobre la variabilidad ambiental muy reciente acoplados con estudios de los ecosistemas modernos, brindan una oportunidad única de comprender estas interacciones. En el caso de Lago Verde, en Los Tuxtlas, Ver., se documenta claramente el impacto de la deforestación, y se pone de manifiesto el peligro que corren los pocos ecosistemas naturales que aun se conservan en nuestro país, en donde se alberga una alta biodiversidad. Los estudios paleolimnológicos pueden dar información sobre variabilidad climática y ambiental en diferentes escalas de tiempo, como son los cambios asociados al paso entre un estadio glacial a uno interglacial (Pleis-

toceno tardío a Holoceno, decenas de miles de años), cambios asociados a la variabilidad climática durante el Holoceno (miles de años), o variaciones de corto plazo asociadas al impacto humano (siglos a décadas). La paleolimnología permite ver a nuestro entorno con un nuevo enfoque, con una perspectiva “histórica” que aporta información valiosa para comprender el presente y evaluar el futuro.

LITERATURA CITADA

- Anadón F. 1992. Lagos. paginas En: Arche A. (ed.), *Sedimentología*. Volumen I. CSIC. Madrid.
- Benett K.D. y Willis K.J. 2001. Pollen. p 5 – 32. En: Smol, J.P. y Briks J.B. (eds.), *Tracking environmental change using lake sediments, Volume 3. Terrestrial, algal, and siliceous indicators*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Batarbee R.W., Jones V.J., Flower R.J., Cameron N.G., Bennion H., Carvalho L., Juggins S., Diatoms. p 155-2002. En: Smol, J.P. y Briks J.B. (eds.), *Tracking environmental change using lake sediments, Volume 3. Terrestrial, algal, and siliceous indicators*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Bradley R.S., 1999. *Paleoclimatology, reconstructing climates of the Quaternary*. Harcourt Academic Press, San Diego, 613 pp.
- Caballero M., Macías J. L., Lozano-García S., Urrutia-Fucugauchi J. y Castañeda-Bernal. 2001. Late Pleistocene-Holocene volcanic stratigraphy and palaeoenvironments of the upper Lerma Basin, Mexico. *Spec. Publs int. Ass. Sediment.* 30: 247-261.
- Caballero M., Ortega B., Valadez F., Metfalce S., Macías J. L. y Y. Sugiura. 2002. Sta Cruz Atizapán: a 22-ka lake level record and climatic implications for the late Holocene human occupation in the Upper Lerma Basin, Central Mexico. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 186: 217-235
- Caballero M., Peñalba C., Martínez M., Ortega B. y Vázquez L. 2005. A Holocene record from a former coastal lagoon in Bahía Kino, Gulf of California, Mexico. *The Holocene*, en prensa.
- Caballero M., Vázquez G., Lozano-García S., Ramírez A., Sosa-Nájera S., Ruiz-Fernández A.C., Ortega B. 2005b. Present limnological conditions and recent (ca. 340 yr) palaeolimnology of a tropical lake in the Sierra de Los Tuxtlas, Eastern Mexico. *Journal of Paleolimnology* en prensa.
- De Deckker P. y R. Forester. 1988. The use of ostracods 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.
- Delorme L.D. 1990. Freshwater Ostracodes. p. 93-100. In: B.G. Warner (Ed.). *Methods in Quaternary Ecology*. Geoscience Canada. Reprint series 5.
- Eugster, H. P. y K. Kelts. 1983. Lacustrine chemical sediments. p 321-368. En: A. S. Goudie y K. Pye (Eds.) *Chemical Sediments and Geomorphology*. Academic Press, London.
- Holmes J. 2001. Ostracoda. p.125-151. In Last D.W. y J.P. Smol (eds.). *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volumen 4: Zoological indicators*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- Last, W.M. y Smol, J.P., 2001. *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments Volume 1. Basin analysis, coring and chronological techniques*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 576 pp.
- Lozano-García S., Sosa-Nájera S., Sugiura Y., Caballero M., 2005. 23,000 yr of vegetation history of the Upper Lerma, a tropical high altitude basin in central Mexico. *Quaternary Research*, (in press)
- Metcalf S. E., Street-Perrot F. A., Perrot, R. A. and Harkness D. D. 1991. Palaeolimnology of the Upper-Lerma Basin, Central Mexico. A record of climatic change and antropogenic disturbance since 11,600 yr. BP. *Journal of Palaeolimnology* 5: 197-218.
- Metcalf S. E., Bimpson A., Courtice A. J., O'Hara S. L. and Taylor D. M. 1997. Climate change at the monzón/Westerly boundary in Northern México. *Journal of Paleolimnology* 17: 155-171.
- Metcalf, S.E., Say, A., Black, S., McCulloch, R., O'Hara, S., 2002: Wet conditions during the Last Glaciation in the Chihuahuan desert, Alta

- Babícora basin, Mexico. *Quaternary Research* 57, 91-101.
- Ortega-Ramírez, J.A., Valeinte-Banuet, J., Urrutia-Fucugauchi, J., Mortera-Gutiérrez C.A., Alvarado-Valdéz, G., 1998: Paleoclimatic changes during the late Pleistocene-Holocene in Laguna Babícora, Chihuahuan desert, Mexico. *Canadian Journal of Earth Sciences* 35, 1168-1179.
- Ortega Rosas, C.I. 2003: Palinología de la Ciénega de Camilo: datos para la historia de la vegetación y el clima del Holoceno medio y superior en el NW de la Sierra Madre Occidental, Sonora, México. Tesis de Maestría, Universidad Nacional autónoma de México (UNAM). 109 pp
- Palacios-Fest J.R., Carreño, A.L., Ortega-Ramírez J.R., Alvarado-Valdéz, G., 2002: A paleoenvironmental reconstruction of Laguna Babícora, Chihuahua, Mexico based on ostracode paleoecology and trace element shell chemistry. *Journal of Paleolimnology* 27, 185-206.
- Park L.E. y Smith A.J. 2003. Bridging the gap: trends in the ostracode biological and geological sciences. The Paleontological Society Papers.
- Stoermer E.F. y Smol J.P. (eds.), 1999. The diatoms: applications for the environmental and earth sciences. Cambridge University Press, Cambridge, 469 pp.
- Sugiura Y., 1992. El valle de Toluca después del ocaso del estado teotihuacano: El Epiclásico y el Posclásico, in: Sugiura Y.Y., (ed.) Historia General del Estado de México, Tomo I: Arqueología, El Colegio Mexiquense, Toluca, Edo. de México
- Sugiura Y., 2000. Cultura lacustre y sociedad del valle de Toluca. *Arqueología Mexicana*, VIII (43):32-37.
- van Geel B, 2001. Non-pollen palynomorphs. p 99-120. En: Smol, J.P. y Briks J.B. (eds.), Tracking environmental change using lake sediments, Volume 3. Terrestrial, algal, and siliceous indicators. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Williams M. A. J., Dunkerley D. L., de Deckker P., Kershaw A. P. y T. J. Stokes. 1993. *Quaternary Environments*. Edward Arnold. Great Britain. 330 pp.
- Zanor G. A. 2003. *Patrón de explicación genética en el desarrollo de un sistema hidrológicamente cerrado* En: Problemas del Conocimiento en Ingeniería y Geología, Vol. I. Editor L. A. Editorial Universitarias. Córdoba, Argentina. pp. 3-18.