

## Paleoambiente lacustre del cuaternario tardío en el centro del lago de Cuitzeo

### Late Quaternary lacustrine paleoenvironment in the centre of lake Cuitzeo

Isabel Israde Alcántara<sup>1</sup>,  
Victor Hugo Garduño -Monroy<sup>1</sup>  
y Rosario Ortega Murillo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones Metalúrgicas. Departamento de Geología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Edif. U. Cd. Universitaria.  
<sup>2</sup>Facultad de Biología. Edif. R. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Israde Alcántara, V. H. Garduño -Monroy y R. Ortega Murillo, 2002. Paleambiente lacustre del cuaternario tardío en el centro del lago de Cuitzeo. *Hidrobiológica* 12 (1): 61-78.

#### RESUMEN

En el lago de Cuitzeo, situado en el centro de México, se extrajo un núcleo de 27 metros de longitud en el que con base en el estudio del contenido de diatomeas se documenta la evolución paleoambiental del centro del lago. El registro cronológico sólo incluye un tercio del núcleo entero y el fechamiento más antiguo obtenido se sitúa a 42,000 años A.P. Se estima una edad en la base del núcleo de 120,000 años realizando una extrapolación. El registro de diatomeas muestra en general que alrededor de 120,000 años a 17, 600 años A.P. el lago tuvo a *Staurisira* spp. como especie abundante sugiriendo que el centro del lago presentó tendencias a aguas dulces, alcalinas y con cierta profundidad. En particular durante dos pequeñas fases húmedas, la primera ca. 44,000 años A.P a 42,000 años A.P y la segunda alrededor de 19,000 a 17,000 años A.P. son indicadas por la presencia de *Stephanodiscus* spp. y *Aulacoseira* spp. como dominantes. De ca. 8,000 años al presente *Cyclotella meneghiniana* es el taxón dominante en las asociaciones de diatomeas evidenciando aguas bajas y turbidas en el lago de Cuitzeo. Tres depósitos de ceniza volcánica están preservados en el núcleo aportando mas de 60 cm de depósitos de caída *in situ*. Las edades aproximadas de esta erupción son registradas ca. 25,000 años A.P., ca. 35,000 años A. P y ca. 120,000 años A.P. algunas de ellas ligadas a la actividad de la caldera de los Azufres. Es importante mencionar que observa un hiatus entre 8,000 y 17,000 años que evidencia condiciones de erosión importantes que interrumpen el registro biológico y terrígeno. Los resultados de este estudio muestran que el lago de Cuitzeo ha sido un lago con condiciones muy fluctuantes con tendencia a bajas, con fases posiblemente más húmedas en el Plioceno inferior que durante el Holoceno. Condiciones similares para el Holoceno se observan también en los lagos limítrofes de Pátzcuaro y Zacapu.

Palabras clave: Diatomeas, Cuaternario tardío, evolución paleolimnológica. Lago de Cuitzeo.

#### ABSTRACT

A 27-m-long drilled core taken from Lake Cuitzeo, central Mexico, preserves a late Quaternary paleoenvironmental record of the center of the lake. Radiocarbon dating of the upper third of the core indicates an age of about 42,000 yr B.P.; an extrapolation of sedimentation rates from the upper part of the core suggests an age of approximately 120,000 yr B.P. at the base of the core. We studied diatom species and their abundance in the core that show Lake Cuitzeo fluctuated in water depth and chemistry. From approximately 110,000 to 17,000 yr B.P. *Staurisira* spp. was the abundant specie in the lake, suggesting that the center of the lake had open, either fresh and alkaline waters. During this same

late Pleistocene episode, two short episodes of high-water levels are indicated by the abundance of *Stapanodiscus* spp. and *Aulacoseira* spp. taxa. One of these periods was from about 44,000 to 42,000 yr B.P. and the other about 19,000 to 17,000 yr B.P. From about 8,000 yr B.P. to the present, conditions in the center of Lake Cuitzeo became more alkaline, with *Cyclotella meneghiniana* dominating the diatom assemblages. The presence of *C. meneghiniana* in abundance suggests that the lake evolved into a shallower, more turbid environment. Three volcanic ash layers are preserved in the core. Approximate ages of eruption and deposition of these ashes is 25,000 yr B.P., 35,000 yr B.P. and 120,000 yr B.P. Results of this study show that environments in Lake Cuitzeo fluctuated in the late Quaternary but prevailing low lacustrine levels. During the late Pleistocene climatic conditions were generally more humid than during the Holocene. Similar trends are recognized elsewhere in the nearby Pátzcuaro and Zacapu lakes.

Key Words: Diatoms, late Quaternary, paleolimnological evolution: Cuitzeo Lake.

## INTRODUCCIÓN

### Marco geológico

El lago de Cuitzeo es un cuerpo aislado, situado entre 19° 53' 15" y 20° 04' 34" de latitud Norte y 100° 50' 20" y 101° 19' 34" de longitud W (Fig. 1) a 1,880 m. s.n.m. Después del lago de Chapala, es el segundo más grande en extensión.

El lago de Cuitzeo está limitado por una serie de semigrabens con dirección NE-SW y E-W basculados hacia el sur, éstos han desarrollado dos sistemas lacustres que han migrado en el tiempo y en el espacio. En el primer período Mioceno superior-Plioceno inferior se origina el Lago en la paleocuenca de Charo (Istrade, 1995); y el segundo en el Cuaternario.

Los fechamientos obtenidos en el basamento andesítico y en los flujos piroclásticos de la cima de los depósitos lacustres al sur del lago actual sugieren que el antiguo lago de Cuitzeo se desarrolla a partir de los ca. 7 millones de años (Neógeno) hasta ca. 2 millones de años.

En las antiguas sucesiones lacustres de la cuenca se registraron facies de aguas profundas en su centro las cuales se interrumpen por eventos tectónicos, volcánicos y climáticos que generaron cambios en los patrones de la paleored hidrológica (Istrade *et al.*, 1992; Istrade, 1993; Istrade I. 1995; Istrade-Alcantara y Garduño-Monroy 1999).

La actividad tectónica (extensión y sucesivo basculamiento) permite que se desarrolle el lago más al Norte hasta su posición actual en tiempos posiblemente Pleistoceno inferior basándose en depósitos lacustres que sobreyacen basaltos fechados entre 0.75-0.87 millones de años (Pasquarè *et al.*, 1991).

La actual cuenca está limitada al oriente, por productos basálticos calco-alcalinos pliocuaternarios de la región de Queréndaro fechados en 700,000 años A.P (Pradal y Robin, 1995) y el sistema geotérmico que conforma la caldera de Los Azufres; que ha generado diferentes períodos de reactivación en los últimos 20,000 años, generando grandes depósitos de

flujos piroclásticos (Garduño, 1987; Pradal y Robin, 1995) que seguramente se depositaron dentro del Lago de Cuitzeo dada la similitud geoquímica entre ambos depósitos. Al oeste está limitado por el volcán Quinceo, con edades menores a 570,000 años (Suter *et al.*, 2001), en sus productos efusivos se observan impresiones de mazorcas con edades inferiores a 3,500 años (Martínez y Hobson, 1907), mientras que al sur, lo limita la secuencia volcánica del Oligoceno- Mioceno de Mil Cumbres (24 a 7 M. a. IMP, 1986).

Desde el punto de vista estructural, la margen sur del lago corresponde a una depresión formada por semi-grabens, este estilo permite observar el basculamiento que se hace más importante en la margen sur del lago actual (30°), mientras que en la ciudad de Morelia el basculamiento es de 5° a 10°.

Tanto la cuenca de Cuitzeo como la de Chapala están directamente ligadas a la reorganización de placas tectónicas que han interactuado en el Sudoeste de México a partir del Mioceno medio (Bourgeois *et al.* 1988; De Mets y Stein, 1990). Esta tectónica ha dado lugar a fallamiento transtensivo y normal el cual ha sido acompañado de abundante vulcanismo favoreciendo el sucesivo entrapamiento de los lagos de ese sector (Istrade 1998; Istrade y Garduño, 1999; Istrade, 1999).

La cuenca tectónica subsidente del lago de Cuitzeo ha sido rellena por un espesor de más de 1200 metros de depósitos aluviales y vulcano-sedimentarios sugiriendo una elevada tasa de subsidencia sucesiva al basculamiento Plio-pleistocénico.

Con estos datos y con ayuda de la gravimetría que define la configuración del vaso (Arredondo., 1983), ubicó el pozo a perforar.

El presente trabajo tiene como propósito mostrar la evolución paleoambiental del Pleistoceno-Holoceno de la región central del lago de Cuitzeo con base en el registro proporcionado por las diatomeas fósiles e indicar las características físico-químicas y abundancia de las diatomeas actuales en el lago.

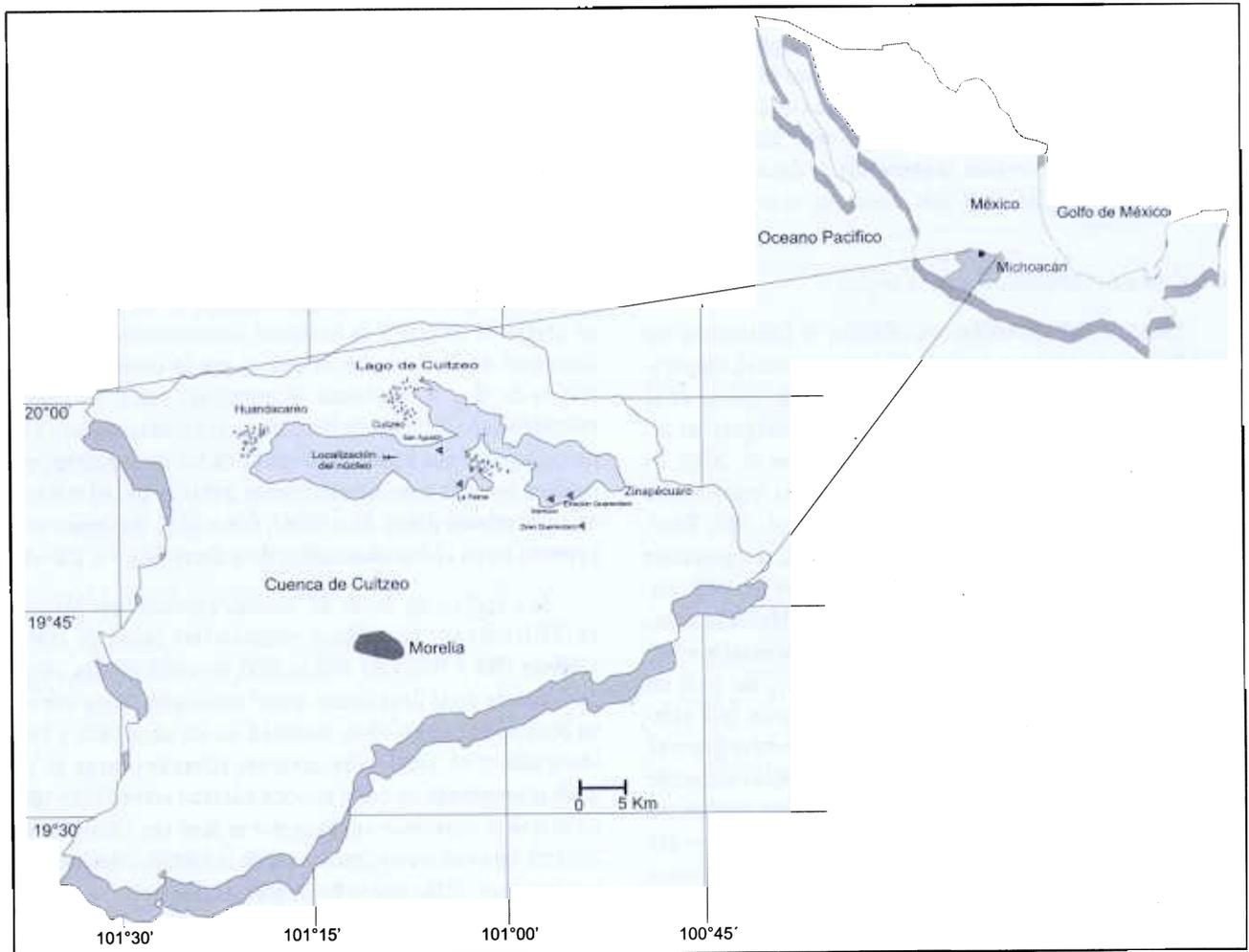


Figura 1. Localización del lago de Cuitzeo, zona norte del estado de Michoacán, mostrando la ubicación del núcleo perforado y de las zonas de muestreo para el estudio de la química de las aguas y diatomeas actuales en el lago.

## ANTECEDENTES

Las investigaciones relacionadas con los lagos del Norte de Michoacán han sido sujetas a gran debate, la teoría más antigua sugiere que el lago de Cuitzeo estaba unido con los lagos de Pátzcuaro, Zirahuén y Chapala durante el período Mioceno-Plioceno. Este gran lago se dividió por efecto de fenómenos volcánicos durante algún momento durante el Plioceno quedando aislados los lagos en su posición actual (De Buen, 1943). Sin embargo, con apoyo de la tectónica y de la cronología de los edificios volcánicos que establecen la distribución de las cuencas, se ha llegado a definir que existió conexión entre Cuitzeo y Pátzcuaro solo por canales o drenes fluviales, mientras que entre Zirahuén y Cuitzeo no existió conexión alguna (Garduño e Israde, 1998; Israde 1999 en Garduño *et al.*, 1999; Moncayo *et al.*, 2001). Con base en la edad de los aparatos volcánicos que rodean las cuencas de Zirahuén y Pátzcuaro, se observa que durante la construcción del Cinturón

Volcánico Mexicano, los lagos de Zirahuén y Pátzcuaro fueron represados por los eventos tectónicos y magmáticos generados durante el Plio-Cuaternario (Pasquare *et al.*, 1991, Garduño y Negrín, 1992, Ban *et al.*, 1992) mientras que el lago de Cuitzeo y el de Chapala han sido formados por fenómenos predominantemente tectónicos teniendo ambos un basamento de edad miocénica (superior a 8 M.a) Garduño *et al.* 1993, Rosas *et al.* 1997) presentando similitudes importantes entre ambas provincias morfoestructurales (Israde y Garduño 1999).

Otra evidencia ictiofaunística que sugiere la existencia de antiguos drenes fluviales entre Pátzcuaro y Cuitzeo es la presencia de *Hubsina turneri*, un goodeido que se observa en ambos lagos (De Buen 1943, Moncayo *et al.* 2001).

Por su parte, Álvarez (1972) sugiere una corriente a partir de las cercanías de Uruapan hacia Zacapu, pasando por Zirahuén y Pátzcuaro, la cual se truncó por procesos tectóni-

cos iniciados hace 1 M.a y cuyo cierre ocurrió hace ca. 700 mil años A.P. Sin embargo la unión entre los lagos de Zacapu y Zirahuén no podría ser posible debido a que la edad de los eventos tectono-magmáticos que formaron a Zirahuén es Cuaternaria (Pasquarè *et al.* 1992; Ban *et al.* 1992) mientras que aquellos que generaron la depresión de Zacapu son Mio-Pliocénicos (Pasquarè *et al.* 1991, Moncayo *et al.* 2001).

#### Registros paleolimnológicos en la región

Estudios paleolimnológicos relativos al Cuaternario del lago de Cuitzeo abarcan análisis de susceptibilidad magnética y geoquímica (Istrade *et al.* 1997, 1998, 2000; Urrutia *et al.* en proceso), palinología (Velázquez 1999, Velázquez *et al.*, 2000), diatomeas fósiles (Istrade, 1997; Istrade *et al.*, 2000). En los lagos cercanos de Pátzcuaro los estudios comprenden análisis de polen y diatomeas (Hutchinson *et al.*, 1956; Bradbury, 1971, 1998, 2000; Watts y Bradbury, 1982), propiedades magnéticas y química de sedimentos (O'Hara *et al.*, 1993), ostrácodos (Bridgwater *et al.*, 1999). En Zacapu (Metcalf *et al.*, 1989; Metcalf, 1995) y La Piscina de Yuriria (Metcalf *et al.*, 1994) los estudios han sido más detallados y a pesar de la intensa actividad volcánica y la influencia antrópica, que complica la interpretación paleoclimática, se observa a grandes rasgos que coinciden con una tendencia a niveles lacustres bajos y condiciones secas en el Holoceno. Estas tendencias son interrumpidas por una fase con características húmedas entre ca. 5,500 y 8,500 años A.P. y la otra con condiciones fluctuantes entre 2,000 y 4,000 (Fritz *et al.*, 2001). Las condiciones paleoambientales registradas en los lagos de Zacapu y la Piscina de Yuriria cambian sobre todo durante el Holoceno medio (ca. 7,000 a 5,000 años A.P.) al igual que en el lago de Pátzcuaro, observándose bajos niveles lacustres que pueden ser atribuidos a un ingreso importante de sedimentos. Mientras que en Pátzcuaro entre 3,200 años A.P. y 2,800 años A. P. un depósito de arcillas ricas en hierro asociadas a un incremento de *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen, indica posiblemente altos niveles lacustres en respuesta a un incremento de precipitación sucesiva a los bajos niveles registrados en el Holoceno medio y Holoceno tardío (Bradbury, 2000).

En general los estudios han sido dirigidos a conocer las fases climáticas del Holoceno a excepción de los estudios de Watts y Bradbury, 1982, Bradbury, 2000 y Metcalf, 1992) que abarcan una parte del Pleistoceno superior.

#### Condiciones actuales del lago

Hidrológicamente Cuitzeo se encuentra en una cuenca con amplias planicies en su parte central, presentando un relieve montañoso de la Sierra de Mil Cumbres hacia el Sur. La superficie aproximada de la cuenca es de 4,000 km<sup>2</sup> variando

de acuerdo a los cambios en la precipitación y sequías (Mendoza, 2002). El lago cubre alrededor de 300 km<sup>2</sup> y se subdivide en dos grandes vasos. En general es muy somero contando con una profundidad media de 0.76 m y máxima de 1.85 m en el vaso este. El vaso oeste mantiene pocos centímetros de profundidad en período estivo. Es alimentado por dos ríos el Río Grande y el de Queréndaro (Fig. 1), otros aportes de agua hacia el lago provienen de los 30 reservorios termales que descargan a lo largo de un sistema regional E-O. De acuerdo a las investigaciones de Mendoza (2002), la región mantiene un gradiente térmico y de humedad, incrementándose la precipitación de Norte a Sur, mientras que la temperatura asciende de S a N. Conformando la transición entre los climas templado seco al templado húmedo, presentando lluvias de tipo convectivo que están restringidas de los meses de junio a octubre con una precipitación media anual de 841.98 mm que es muy variable (Desv. St = 190.41, C.V = 22.6). Su temperatura media es de 17.3 grados centígrados (Desv. St = 1.4, C.V = 8).

Los análisis de series de tiempo realizados por Mendoza (2002) indican tres períodos relativamente secos, de 1940 a 1960, de 1980 a 1990 y de 1995 al 2000, teniendo el vaso Oeste períodos de total desecación anual recurrente. Este cuerpo de agua se secó casi en su totalidad en los años 1942, y 1962 (Alvarado *et al.* 1994) y los ochentas (Chacón-Torres *et al.*, 2000) presentando un corto período húmedo entre 1990 y 1995 en el que la superficie ocupada por el lago (en 1995), fue de 350 km<sup>2</sup>. Una reducción importante de la amplitud del lago fue registrada en 1986 ocupando un área de 250 km<sup>2</sup>.

Desde el punto de vista de la fisicoquímica del lago los parámetros que dominan son muy variables (tabla 1) vistos los diferentes ambientes que lo conforman y su asociación con las numerosas fuentes hidrotermales que bordean el lago. Las concentraciones iónicas menores se observan en el drén Queréndaro (Cloro, Sodio, Potasio, bicarbonatos y sulfatos), por efecto de dilución al ingreso de los afluentes. En cambio las conductividades más altas se observaron en la Palma, Iramuco y San Agustín que presentan condiciones de evaporación más es notoria aumentando grandemente los valores de Cloro y Sodio. Respecto al pH, este se mantiene entre 8 y 9, las aguas de los puntos muestreados en el lago son de tipo Sódico-cloruradas-bicarbonatadas. Los sulfatos presentan altas concentraciones en la estación Queréndaro y San Juan Tarameo, estos son aportados por las aguas termales aunque otra componente la conforma la gran cantidad de residuos de origen urbano e industrial descargan hacia al lago principalmente a través del Río Grande de Morelia, así como agroquímicos de las zonas de cultivo de su entorno a través de canales y por filtración.

La influencia del hidrotermalismo en el borde sur del lago tiene un reflejo en los anteriores resultados. Los análisis de los

Tabla Parámetros físico-químicos del lago de Cuitzeo, período de estiaje.

	La Palma (Rivera)	San Agustín (Rivera)	Querendaro (Afluente)	Queréndaro Dren	Iramuco (Rivera)
Temperatura del aire (°C)	22	23.5	17	15.3	24.5
Temperatura del agua (°C)	28.5	26	18.5	17	27
Profundidad (cm)	20	25	39	11.5	92
Transparencia (cm)	5	2	15	11.5	6
Conductividad E. (µmhos/cm)	1620	3000	1303	500	2310
pH	9.04	9.05	8.58	8.38	8.62
Bicarbonatos (ppm)	853.06	827.03	314.97	187.21	776.06
Dióxido de Silicio	154.08	193.6	49.22	96.3	47.08
Carbonatos (ppm)-(potenció)	71	68.65	2.12	0	0
Alcalinidad Total (milieq/l)	17.71	17.16	5.79	3.33	13.46
Cl (ppm)	365.92	347.75	115.48	20.76	277.68
SO <sub>4</sub> (ppm)	52.6	46.7	89.09	24.33	44.73
Na (ppm)	686.5	665	230	26.16	492.2
K (ppm)	40	39.07	25.74	16.43	31.01
Ca (ppm)	22.68	21.92	20	34.42	14.23
Mg (ppm)	21.92	16.92	8.81	15.08	10.89
B (ppm)	4.82	5.56	2.59	0.18	5.19
Fe (ppm)	5.59	8.6	0.11	0	1.02
Rb (ppm)	0.09	0.02	0.02	0.02	0.02
Cs (ppm)	0	0	0	0	0
As (ppm)	0.95	0.95	0.38	0	
Li (ppm)	0.15	0.12	0.23	0.05	0.23
Al (ppm)	37.13	9.33	0.37	0	3.73
Suma de Cationes	33.5	32.37	12.38	4.38	23.8
Suma de Aniones	29.13	27.94	10.9	4.42	22.22
% de error	6.98	7.35	6.35	-0.42	3.42

manantiales de la rivera del lago que han sido realizados por la C.F.E. (Tello 1984), tabla 2, muestran que las temperaturas de estos reservorios varían entre 29°C (San Bartolomé Coro) hasta 93°C (Zimirao) presentándose, desde el punto de vista geoquímico, tres tipos de aguas sódicas-bicarbonatadas, sódicas-sulfatadas y sódicas-cloruradas-bicarbonatadas.

El primero de tipo sódico-bicarbonatado corresponde a las captaciones de Coro, Chucándiro, Atzimba y Huandacareo. Se trata de aguas de origen meteórico con baja salinidad (300 a 400 mg/l) y con un contenido de cloruros menor a 10 mg/l.

El segundo tipo geoquímico es sulfatado-sódico y comprende los manantiales de San Agustín del Pulque, Estación Queréndaro, San Agustín del Maíz y San Juan Tarameo. Las concentraciones de cloruros en estos manantiales varía de 95 mg/l en San Agustín del Pulque hasta 280 mg/l en San Juan Tarameo.

El tercer tipo geoquímico se presenta en Araró y San Sebastián con aguas sodico-cloruradas sugiriendo un origen

hipertermal además de presentar altas concentraciones de Boro y Litio que aparecen en ambientes geotérmicos típicos.

La zona de Araró presenta abundancia de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O y altas temperaturas, que la han hecho atractiva para generar energía eléctrica a partir de vapor endógeno (Tello 1984).

El ecosistema subacuático del lago lo conforman plantas xerofíticas, halófitas, *Typha* spp. y *Sagittaria* principalmente. Mientras que la producción biológica dentro del lago está concentrada a algas entre ellas diatomeas y algas azul verdes, éstas últimas dominando en la estación de Iramuco), peces (goodeidae, Cyprinidae y Atherinidae), culebras y aves migratorias (Chacón -Torres *et al.*, 2000).

Las diatomeas que viven actualmente en el lago así como su abundancia relativa fue registrada en el año 1999 y abarcó los períodos estivo y de estiaje. Los sitios que presentan una abundancia mayor de diatomeas corresponden a la estación Querendaro y el Dren Querendaro que son las descargas de uso doméstico e industrial que llegan a través del río Grande de Morelia y del río Zinápécuaro-Querendaro.

Tabla 2. Composición química de los principales manantiales del lago de Cuitzeo.

Físico-químicos Manantiales	Araró-Zimir. Zinap.	Coro Zinap.	Estación Queréndaro	S Ag.Pulque Cuitzeo	S.Ag.Maíz Copándaro	J.Tarameo Cuitzeo	Chucándiro Chucándiro
Temp °C	93	32	81	75	89	52	41
pH	7.9	7.1	7.3	8	7.3	7.4	7.7
Cumhos cm <sup>1</sup>	3340	332	2440	2540	3500	3650	570
Na (mg/l)	760	21.2	405	406	542	383	76.6
K (mg/l)	52	4.8	14	11	27	34	1.6
Li (mg/l)	6.5	0.5	0.2	0.9	1.5	2	0.2
Ca (mg/l)	24.6	13.8	115	33	14.2	78	20.6
Mg (mg/l)	0.44	4.9	0.2	0.2	0.4	2.4	0.01
Rb (mg/l)	0.36	0	0.1	0.1	0.1	0.2	0
Cs (mg/l)		0	0.1	0.1	0.1	0.2	0
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	289	120	214	241	250	247	100
Cl (mg/l)	1081	10.1	109	95.8	130	137	50.6
SO <sub>4</sub>	179	0	1110	591	591	1001	27
NO <sub>3</sub>	19.5	129	116	262	623	798	168

Tello 1984.

En la tabla 3 se observa que en el lago dominan las especies pennales sobre las centrales siendo *Amphora lybica* la especie presente en todas las épocas y en todos los sitios.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Basados en los precedentes estudios geológicos y gravimétricos (Arredondo, 1983; Israde *et al.*, 1992; Israde, 1995) en la cuenca de Cuitzeo se seleccionó un sitio en el centro del lago (101° 08'25" W y 19° 55' 18" N) en el que se perforó un pozo de 27 metros (Fig.1).

Se extrajeron intervalos de sedimentos con longitudes de 30 a 90 cm con la ayuda de una máquina marca Longgear operada a presión neumática.

Los intervalos fueron encapsulados en tubos de aluminio. La longitud y ancho (4 pulgadas) de los tubos evitó la deformación en los intervalos de sedimentos extraídos y siendo la litología homogénea (arcillas y limos arcillosos) se obtuvo una recuperación al 90% del material.

Los tubos se abrieron longitudinalmente con una sierra eléctrica teniendo cuidado de no alterar más de 1cm de la zona externa del núcleo.

Una vez extraídos los sedimentos del tubo se dividieron a la mitad para realizar distintos muestreos en intervalos de 10 cm.

Con el propósito de eliminar impurezas de las diatomeas se requirió pesar 0.5 gr de sedimento seco, que fue tratado con peróxido de hidrógeno al 30% para eliminar la materia or-

gánica. Después de sucesivos enjuagues con agua destilada hasta alcanzar el pH neutro, la muestra fue tratada con HCl con el fin de eliminar los posibles carbonatos. Se enjuagó nuevamente la muestra hasta alcanzar la neutralidad.

En ambos casos el material fue precalentado por alrededor de ocho horas a temperaturas menores a 100°C. Sucesivamente una alícuota de dos microlitros se colocó en un cubreobjetos y se dejó secar a temperatura ambiente. Una vez seca la muestra se montó con nafrax (resina con alto índice de refracción  $n_r = 1.73$ ).

Se contaron por laminilla 500 valvas en la mayoría de los casos, solo cuando se observaban escasas o fragmentadas se contaban un mínimo de 200 valvas. Las frústulas enteras se contaron como valvas y en el caso de diatomeas fragmentadas solo se contaron cuando se observaba algún rasgo característico para su determinación, tal como el centro de la valva, o su ornamentación en más de la mitad de la valva. La determinación de las diatomeas se llevó a cabo mediante las siguientes referencias taxonómicas: Hustedt, 1930, 1957; Hubber-Pestalozzi, 1942; Krammer y Lange Bertalott, 1986, 1988, 1991; Gasse, 1980; Gasse, 1986; Yang y Dickman, 1993 y B. Hartley, 1996. En total se distinguieron 148 taxa graficando solamente los taxa representativos que eran comunes (abundancia relativa entre 5 y 30%) y dominantes (porcentajes mayores al 30%).

Los datos obtenidos de los conteos fueron transformados a porcentajes y graficados como abundancias relativas. Las diatomeas más comunes y abundantes a lo largo del núcleo se graficaron mediante el programa Tilia (Grimm, 1991-1993) representando la profundidad a la que se encontraban,

Tabla 3. Diatomeas actuales observadas en el lago de Cuitzeo

	Fitoplancton	%	Perifiton	%	Bentos	%
Periodo estivo	<i>Surirella capronii</i>	38	<i>Nitzschia palea</i>	27	<i>Amphora lybica</i>	15
	<i>Amphora lybica</i>	11	<i>Amphora lybica</i>	12	<i>Nitzschia amphibia</i>	9
	<i>Campylodiscus clypeus</i>	9	<i>Epithemia sorex</i>	7	<i>Rhopalodia gibba</i>	
Periodo estiaje	<i>Nitzschia palea</i>	67	<i>Nitzschia palea</i>	68	<i>Rhopalodia gibba</i>	
	<i>Amphora lybica</i>	3	<i>Amphora lybica</i>	28	<i>Epithemia sorex</i>	7
	<i>Nitzschia linearis</i>	1	<i>Rhopalodia gibba</i>	10	<i>Nitzschia amphibia</i>	7
	<i>Epithemia sorex</i>	1	<i>Navicula cryptocephala</i>	6	<i>Amphora lybica</i>	6

la abundancia relativa de cada especie y su diversidad. Una vez obtenido el diagrama fueron insertadas zonas de diatomeas con base en los cambios observados en las agrupaciones de las especies dominantes, que son producto de cambios en la ecología a través del tiempo.

Las diatomeas que ofrecen información ecológica y que son comunes o dominantes fueron seleccionadas en grupos y representan hábitat y salinidad característicos en el intervalo de tiempo estudiado distinguiéndose formas planctónicas de agua dulce, tico-planctónicas, bénticas de agua dulce, planctónicas de aguas con tendencia a ser salinas y bénticas de aguas de hábitat salinos las cuales están indicadas en la Fig. 4.

Se realizaron nueve fechamientos por C14 (Carbono catorce) con corrección de D<sup>13</sup> en muestra total en el laboratorio de Geocronología de la Universidad de Arizona. Se muestrearon sedimentos orgánicos insolubles en los primeros ocho metros del núcleo que abarcan una edad de 42,000 años).

El proceso consistió en la remoción de los carbonatos tratando las muestras con una solución de NaOH al 2% para remover el carbono orgánico soluble. Se dejó la muestra ligeramente ácida antes de secarla para tener la certeza de que no se incluyera CO<sub>2</sub> atmosférico durante el secado.

Todos los fechamientos fueron normalizados a δ<sup>13</sup>C = -25 por mil. Las muestras cuyo δ<sup>13</sup>C fue alto (>-18 por mil) no fueron tomadas en cuenta. Tales muestras evidenciaron claramente la adición de bicarbonatos provenientes de manantiales termales hacia el carbono orgánico original en la muestra.

Con el propósito de comparar edades de carbono catorce con estudios de otras cuencas aledañas, se considera necesario como en otros estudios recientes (Fritz *et al.*, 2001) utilizar los datos de acuerdo a fechas C14 antes del presente, sin embargo en la Tabla 4 se indica la edad de acuerdo al calendario convertida según la descripción de Bard *et al.*, 1993 y Stuiver y Reimer, 1993.

Tabla 4. Fechas de radiocarbono y edades convertidas a años del calendario.

profundidad m	muestra	fecha C14 años A.P	Fechas en años calendario
0.2	T1-M3	930±55	1,010 DC
0.7	T2-M9	1100±100	1,160 DC
0.85	T3-M11	1,755±110	550 DC
1.4	T4-M19	6,165±70	4,910 AC
1.95	T6-M27	8,830±215	6,600 AC
2.25	T7-M31	17,605±215	20,800 AC
3.35	T11-M47	18,500±130	20,000 AC
5.8	T16-M69	15,200±610	17,800 AC
6.1	T17-M72	32,565±2,885	ca.41, 400 AC
9	T26-M101	42,400± 2,970	ca. 51,300 AC

## RESULTADOS

### ESTRATIGRAFÍA

La litología característica del núcleo está conformada por una serie de sedimentos color gris a gris verdoso, de textura suave en los que predominan las arcillas plásticas, seguidas por limos y escasos limos arenosos que se intercalan con diatomitas y cenizas volcánicas (Fig. 3). Estas últimas registradas muy claramente de los 4.70 a los 5.48 m. y de los 25 a 25.20 m. Se observan otros episodios de influencia volcánica, sin embargo están retrabajadas (depósitos epiclásticos).

Con la finalidad de tener más claridad en la variación de las edades en los sedimentos, los resultados de los fechamientos se colocaron en una gráfica profundidad-tiempo en ella se observa un incremento en edad conforme se incrementa la profundidad. Utilizando la recta obtenida para estos datos, podemos sugerir una edad aproximada de 120,000 años en la parte terminal del núcleo (Fig. 2).

Se observa un hiatus importante entre 8,000 y 17,605 años en el lago de Cuitzeo, éste también ha sido registrado en otros lagos y debe tener una importancia regional.

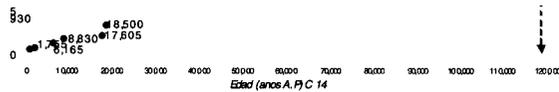


Figura 2. Correlación de edades de radiocarbono obtenidas graficadas contra profundidad y edad inferida en la base del núcleo extraído del lago de Cuitzeo.

Períodos de aridez y/o erosión en el centro de México han sido registrados igualmente en la cuenca de Zacapu c.a 9,000 años a.P (Metcalf 1994, 1995) y bajos niveles lacustres en el lago de Patzcuaro alrededor de 9,500 a.P. extendiéndose hasta 13,000 años a.P (Bradbury, 1982, Bradbury 2000).

En lagos más lejanos de la cuenca de Mexico evidencias de fases más secas se observan en Texcoco entre 14,000 to 6,000 años A.P. Lozano y Ortega 1998), en la cuenca de Tecocomulco un hiatus se registra entre ca. 15,000 a 3,500 años. A.P. (Caballero et al. 1999), mientras que en la cuenca de Chalco aparece un hiatus entre 9,000 y 5,000 años A.P. (Urrutia-Fucugauchi et al. 1995, Caballero 1997).

## ANÁLISIS DE DIATOMEAS

En el registro de diatomeas del núcleo de 27 metros se observan tres breves episodios en que el nivel del lago es tendiente a alto dominando *Aulacoseira* sp. y *Stephanodiscus* sp., sin embargo la flora dominante es de tipo arafideo y ticopláctónica en la que *Staurosira construens* y su var. *venter* sobresale por su abundancia, esta última especie compite con las formas epifítica-bentónicas sobre todo en la zona 1 (Fig.4).

*Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow, que es un taxa común en hábitats aerófilos se reporta hacia la cima del núcleo acompañada de formas de hábitats más salinos sugiriendo un espejo de agua muy bajo y concentrado en sales.

En cuanto al pH se observa que aumenta hacia la cima del núcleo testimoniada por *Anomooneis sphaerophora* (Kützing) que prefiere nichos con valores de pH mayores a 8.5 (alcalifila-alcalibionte) indicando concentraciones iónicas más elevadas, especies que se reportan en aguas con alcalinidad elevada son *A. lybica*, *A. granulata*, *Stephanodiscus minutulus* y *Stephanodiscus niagarae* (Gasse 1986).

Otras formas salinas más comunes en los últimos ca. 40,000 años son *Navícula halophila* y *Campilodiscus clypeous* esta última se ha observado en hábitats con conductividades que oscilan entre 3,000 y >10,000  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (Gasse 1986). Asociándose *C. Meneghiniana* que soporta un alto rango de conductividades ( Gasse 1986, Cholnoky 1968).

Con respecto al estado saprotrófico la mayoría de los taxa reportados prefieren cantidades de nutrientes elevados a intermedios (Krammer y Lange-Bertalot 1986, 1988, 1991) como son *A. granulata* y *A. distans*, *N. amphibia*, *C. meneghiniana*. Un taxa que prefiere condiciones más mesotróficas pero que son indiferentes al estado saprotrófico es *Staurosira* spp. que es común en todo el intervalo estudiado.

A nivel de la sedimentación se observa una anomalía identificada como un hiatus entre 17,605 y 8,830 años A.P que marca un cambio en el depósito de las diatomeas del lago reemplazándose *Staurosira construens* por *Cyclotella meneghiniana* (Fig.4).

Niveles volcánicos *in situ* se presentan dentro de tres episodios de no depósito a diatomeas reconocibles de 4.70 a 5.48 m (ca.25,000 años A.P), 7.10 a 8.20m (ca.35,000 años A.P) y entre 25 a 25.20 m. (ca. 120,000 años A.P). Se observa que sucesivamente a un evento volcánico la especie colonizadora es *S. construens*, Ehrenberg. Fig.4.

Los sedimentos extraídos se pueden subdividir en tres fases lacustres que son separados en la mayoría de los casos por ausencia de diatomeas e incremento de material terrígeno en tres ocasiones dentro del ciclo sedimentario, a estos intervalos de ausencia de diatomeas les hemos denominado discontinuidades, en el sentido que son interrupciones en el registro de diatomeas (Figs. 3 y 4 y Tabla 4 y 5).

## PRIMERA FASE

ZONA A; 27.30 a 22.60m (después de 100,000 años A.P?).

Litológicamente la base del núcleo esta constituida por arcillas color negro que hacia la cima se vuelven limo-arenosas de color verdoso.

Las especies características de 27.29 a 25.10 m corresponden a *N. amphibia* (Grunow), *A. granulata* (Herenberg), *R. gibberula* (Ehrenberg) y *P. gibba* y *P. viridis* (Nitzsch).

Ascendiendo estratigráficamente el genero *Staurosira* domina entre los 24.50 a 26.50 m y el taxa subdominante es *N. cryptocephala* (Kützing), acompañado de *C. placentula* (Ehrenberg) y *Epithemia* spp., aunque resalta la aparición de *S. niagarae*.

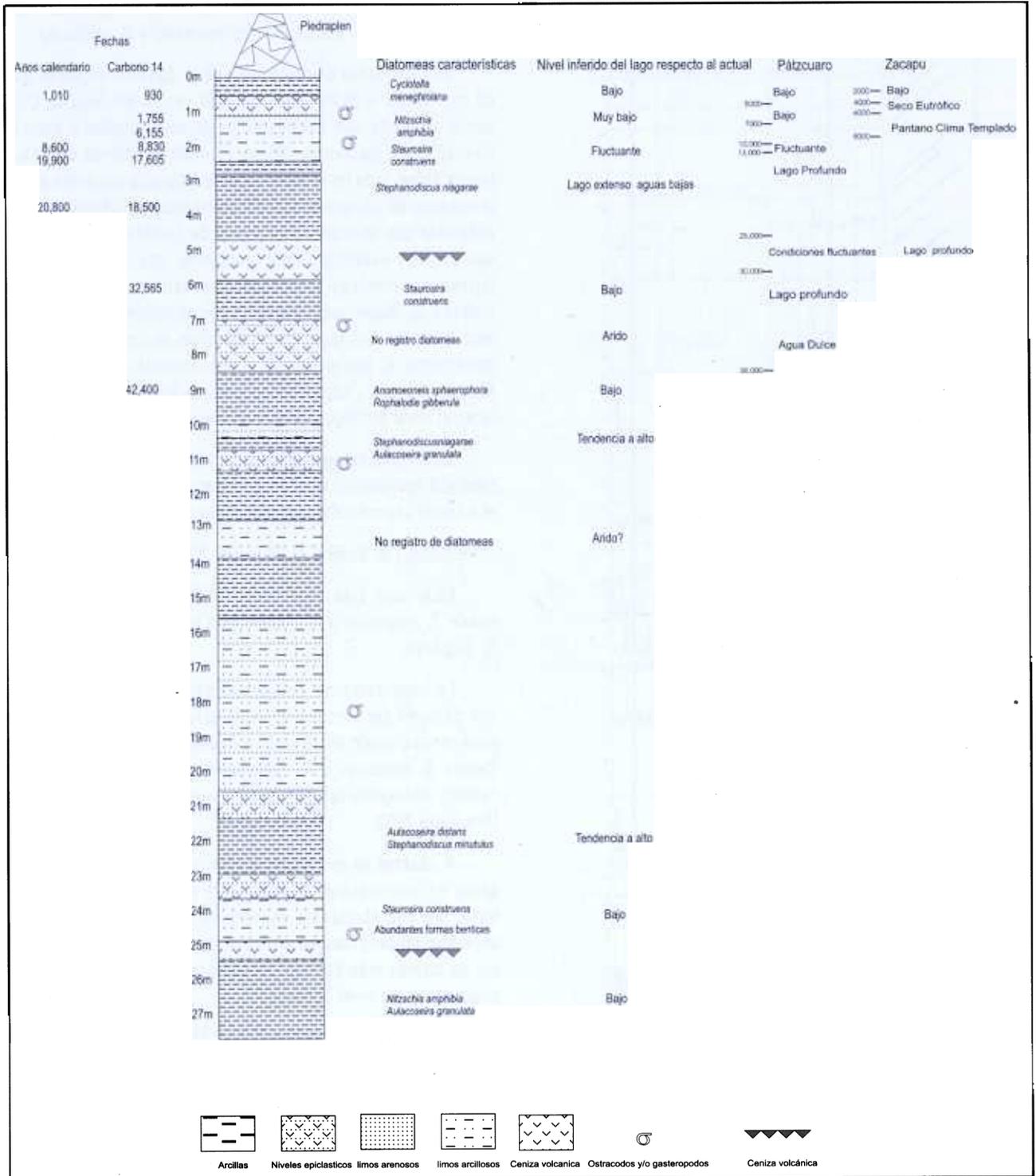


Figura 3. Estratigrafía del núcleo extraído y niveles inferidos con base en el registro de diatomeas, comparación con el registro obtenido en los lagos de Pátzcuaro (Bradbury, 2000) y Zacapu (Metcalf, 1992; Fritz, et al., 2001).

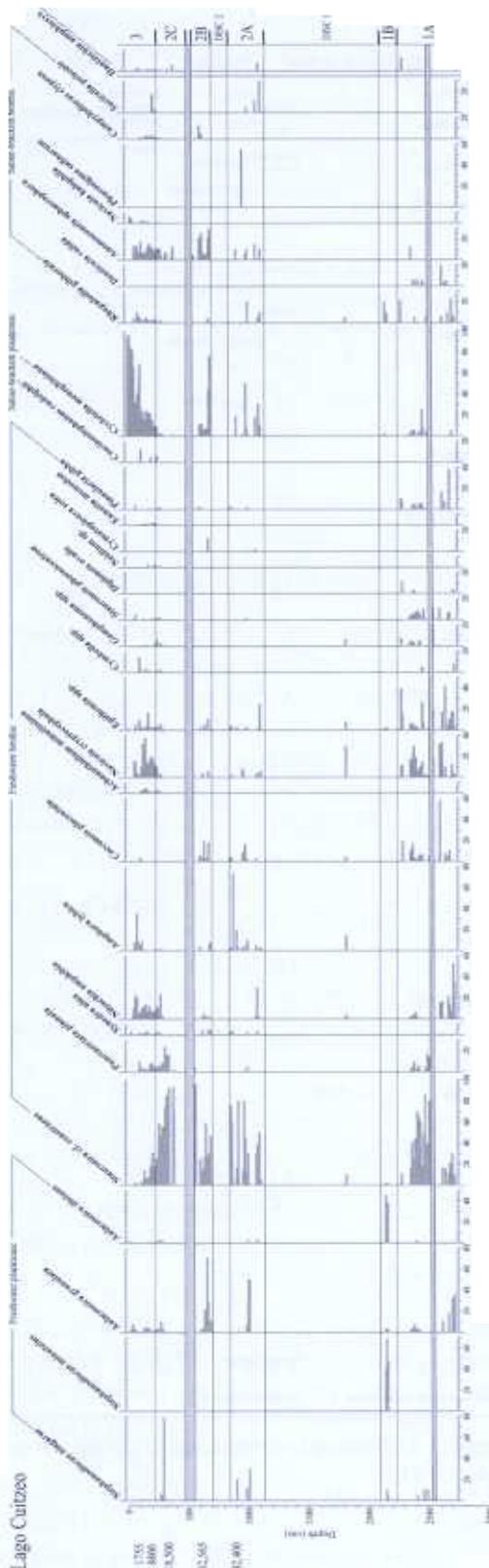


Figura 4. Porcentaje de géneros y especies más importantes del núcleo del lago de Cuitzeo.

Hacia la cima cambian las asociaciones dominando *Epithemia* spp., *C. placentula*, *N. cryptocephala* y *R. gibberula*.

Los conjuntos de diatomeas de la Zona 1A sugieren que de ca. 120,000 a 95,000 años atrás el centro del lago de Cuitzeo presentaba una abundante vegetación acuática dada la diversidad de formas perifíticas y bénticas además de turbulencia sobre todo en la base de este intervalo sugerida por la presencia de *A. granulata*, *C. meneghiniana* (Kützing) y *N. amphibia* que indican condiciones de turbidez, y fluctuaciones de pH y salinidad, cabe mencionar que la presencia de formas planctónicas en porcentajes menores a 20% (*A. granulata* y *S. Niagarae*) sugiere una profundidad moderada en este episodio del lago. Hacia la cima el incremento de *S. construens*, *C. placentula*, *N. cryptocephala*, *Epithemia* spp., *Rhopalodia* spp. y espículas de esponja indican un decremento en el nivel del lago y condiciones tendientes a alcalófilas.

Este conjunto sugiere para esta zona 1A un lago circumneutral a ligeramente alcalino, que por un corto período aumenta su nivel con más alta concentración de sales hacia la cima.

ZONA 1 B; 22.60 a 21.30 m. (ca.90,000 años A.P?).

Esta zona esta caracterizada por tres especies dominando *S. minutulus* y *A. distans* con menores porcentajes de *S. niagarae*.

La interpretación paleoecológica en esta zona indica que después del anterior intervalo el lago experimenta una ligera recuperación en su nivel, evidenciado por los taxa dominantes *S. minutulus* y *A. distans*. En general estas especies habitan ambientes tendencialmente eutróficos y aguas bajas (Bradbury 2000).

*A. distans* es una especie que prefiere hábitats con pH ácido a circumneutral, posiblemente este episodio se caracterizó por una abundante vegetación acuática y turbulencia, sin embargo porcentajes menores de *S. niagarae* y la ausencia de formas más bentónicas sugieren una tendencia hacia el aumento del nivel del lago.

La aparición de formas acidófilas (*A. distans*) asociadas con formas alcalófilas (*S. minutulus*, *S. niagarae* y *R. gibberula*) sugieren cambios en el régimen hidrológico de la cuenca. Estos cambios en la siguiente etapa de depósito produjeron el sucesivo ingreso de abundante material terrígeno y la ausencia de diatomeas que caracteriza la siguiente discontinuidad.

#### DISCONTINUIDAD

21.30 a 11.60 m. (entre 90,000 a ca. 50,000 años A. P?).

En este intervalo hay esporádicas apariciones de diatomeas tales como *A. lybica* y la litología es dominada por limos

arenosos intercalados con niveles de cenizas volcánicas re-trabajadas.

Las esporádicas formas bénticas *A. lybica*, *Epithemia* spp. y *N. cryptocephala* indican aguas bajas y sugieren un período de ligero incremento en la concentración de sales por la presencia de *N. cryptocephala* (Patrick y Reimer 1966). Cabe mencionar que en este nivel los restos de gasterópodos son muy comunes, generalmente estos organismos se ha observado que en los lagos de Michoacán habitan zonas litorales oxigenadas y substratos detríticos, en este caso se encuentran habitando en substratos limos arenosos. Análisis de la composición química de los sedimentos indican en esta zona un incremento en calcio y magnesio, aluminio y fierro (Israde *et al.*, 1998). No se ha definido si los iones calcio y magnesio están presentes como líticas derivados de la erosión de rocas ígneas o como sales formadas de la precipitación en una cuenca en evaporación. Sin embargo, el aluminio y fierro sugieren que el lago estuvo sujeto a un mayor aporte de terrígenos principalmente de proveniencia volcánica (epiclásticos) a través de drenajes superficiales.

## SEGUNDA FASE

ZONA II A; 11.60 m a 8.30 m, (ca. 50,000 años a.P a ca. 41.000 A. P)

Esta zona está caracterizada por distintas facies litológicas que varían de arcillas finas, limos arcillosos y arcillas limosas (con horizontes oxidados que pueden ser indicativos de frecuentes períodos de emersión) haciéndose más limo arenoso hacia la cima.

En esta zona es abundante *S. construens* alternando con *C. meneghiniana*. Se observa la presencia de *Amphora lybica.*, *P. salinarum* (Grunow) y *Epithemia* spp. y *N. amphibia* como formas acompañantes.

Paleoecológicamente los altos porcentajes de *S. construens* sugieren condiciones con cierta alcalinidad (pH 7.5 a 7.8) (Cholnoky, 1968), coloniza generalmente ambientes circumneutrales de poca turbidez. Esta especie alterna con *C. meneghiniana*, *N. amphibia* y *E. adnata* (Kutzing) que son taxa perifíticos de ambientes generalmente túrbidos.

*S. construens* y *C. meneghiniana* son dos taxa antagónicos ya que *Staurosira* es de ambientes oligo- mesotróficos mientras que *C. meneghiniana* es de ambientes más túrbidos y eutróficos. Esta alternancia está indicando que el lago se torna muy inestable con numerosas fluctuaciones en su nivel probablemente períodos estacionales de lluvias y secas.

En el centro de este episodio *S. niagarae* asociada con *A. granulata* son indicativas de una tendencia al incremento

en la alcalinidad y profundidad en el nivel del lago sugiriendo otra posible pequeña fase húmeda. Esta fase tiene una corta duración ya que sucesivamente un repentino descenso del nivel del lago está representado por *P. salinarum* (Grunow) donde alcanza su máxima abundancia acumulativa. Se trata de una especie bentónica o perifítica y se observa en aguas someras y concentradas de lagos alcalinos y concentrados en sales disueltas (Patrick y Reimer 1966).

Hacia el intervalo final de la zona *A. lybica* (Ehrenberg) que es un taxón epifítico, de aguas estancadas y ligeramente ácidas, alcanza su máxima dominancia. Sin embargo la especie dominante en todo el intervalo es *S. construens* y su variedad *venter* alcanza el 80% del total de las diatomeas contadas.

## DISCONTINUIDAD 2.

8.30 m. a 6.90 m. (ca. 35,000 años A. P).

Sucesivo al anterior episodio (zona II A), se observa otro nivel con ausencia de diatomeas dominando sedimentos epiclásticos en la base que llegan a conformar espesores de hasta 60 cm que pasan a un limo arenoso. Este último sugiere un nivel del lago muy bajo en grado de depositar en su centro sedimentos de granulometría media. Como en la discontinuidad 1, se observan abundantes restos de gasterópodos que requieren para desarrollarse aguas bajas y oxigenadas.

ZONA IIB; 6.90 a 5.40 m. (ca. 30, 000 años A.P).

Las especies características de esta zona muestran fragmentación, sin embargo existe una tendencia a la dominancia de *Staurosira*, siendo otras especies dominantes en breves intervalos *C. meneghiniana* y *A. granulata*. Como se observa en la Figura 4, en la base *C. meneghiniana* alcanza el 80% de abundancia en la muestra, acompañada de *A. sphaerophora* y *C. placentula* como formas acompañantes.

En la parte central de este intervalo se vuelve dominante *A. granulata* y otras especies características como *C. clypeus* (Ehrenberg) y *A. Sphaerophora*.

Esta zona tiene semejanza con la anterior difiriendo por la mayor abundancia de formas que habitan nichos salinos. Se sugiere para este episodio un lago con aguas bajas, con alcalinidad posiblemente mayor a 8.5 por la presencia de *A. sphaerophora* y *C. clypeous* que a pesar de que se encuentran en concentraciones menores al 20% están indicando una fase de incremento en la concentración de sales (Gasse 1986) así como turbidez sugerida por *A. granulata* y *C. meneghiniana*; al final de este intervalo y por un corto período, el lago se vuelve paulatinamente más profundo, alcalino y tendencial-

mente oligotrófico a mesotrófico alcanzando *S. construens* una abundancia relativa casi del 100%.

### DISCONTINUIDAD 3

5.40 a 4.70 m (ca 25,000 años A.P.).

El depósito de diatomeas se interrumpe debido a una importante actividad volcánica manifestándose en la secuencia lacustre con el depósito de 70 cm de ceniza volcánica.

ZONA IIC 4.10 m a 2.60 m. (ca. 20,000 a ca. 18,500 A.P.).

La litología característica está dominada por una arcilla negra con estructuras laminares, es muy plástica hacia la cima.

Hacia ca. 20,000 años A.P. y sucesivo al anterior evento volcánico, el lago retoma sus características anteriores con *S. construens* y *P. pinnata* (Ehrenberg) como dominantes y una constancia de *A. sphaeropora* como forma acompañante. Esta zona termina con la presencia de *S. niagarae* (>70%).

El ambiente que se infiere en esta zona corresponde a bajos niveles lacustres, con aguas tendientes a mesotróficas, circumneutrales a ligeramente alcalinas, con ingresos de iones en solución por la constancia de *A. sphaeropora*. Posiblemente la actividad hidrotermal fue importante para permitir el desarrollo de esta especie.

Hacia la cima el lago se vuelve más profundo y turbido por un corto intervalo apareciendo *S. niagarae* (80%) y *A. granulata*.

### TERCERA FASE

ZONA III; 2.60 m a 0 m. (ca. 17,605 años A.P al reciente).

La última fase que se registra en el lago de Cuitzeo inicia a los 17,605 años A.P. y muestra un repentino decremento de *S. construens* que dominó a todo lo largo de la fase anterior para dar paso a un paulatino aumento de *C. meneghiniana*. La acompañan *N. cryptocephala*, *N. amphibia*, *A. sphaeropora* y *A. granulata*.

En general se trata de concentraciones iónicas más elevadas (*A. sphaeropora*), mayor turbidez (*C. meneghiniana* y *A. granulata*) y menor profundidad dado el incremento de especies perifíticas (*N. cryptocephala*, *N. Amphibia*, *A. lybica*).

Este último evento puede separarse en tres momentos (Tabla 4).

El primero inicia en el tardo Glacial manifestándose un claro decremento en *Stausosira* que dominó en la historia Cuaternaria de Cuitzeo.

Aparecen sucesivamente formas de ambientes más concentrados en sales siendo *C. clypeus* y *S. peisonii* (Pantocsek) que se vuelven características aunque se encuentran en porcentajes menores al 20% pero que son de importancia paleoambiental, indicando un período de más concentración iónica. Sucesivamente una fase de aridez está marcada por un hiatus (intervalo de no depósito) que aparece entre 17,605 y 8,830 años A.P.

Considerando las tasas de depósito que hubo arriba y debajo de ese lapso, se observa una anomalía en el patrón de sedimentación, infiriendo un importante hiatus corroborado además porque durante este episodio no se observaron suelos ni niveles oxidados sugiriendo que no hubo emersión del fondo del lago.

En el segundo momento registrado durante el Holoceno medio de ca 7,000 años A.P a ca 4,000 años A.P (1.80 a 1.10 metros), *C. meneghiniana*-*N. cryptocephala*-*C. clypeus*-*A. minutissima* (Küzing) componen la asociación de diatomeas.

*N. cryptocephala* es la especie dominante pero hacia la cima se incrementa el porcentaje de *C. meneghiniana* con *Rhopalodia gibba* como especie acompañante sugiriendo un incremento en las condiciones iónicas.

El conjunto de diatomeas muestra una tendencia a condiciones de niveles más bajos, posiblemente más áridas, pero con pequeños episodios fluviales en los que el nivel del espejo de agua se incrementa permitiendo el desarrollo de *A. granulata* que se desarrolla en ambientes turbidos. Sucesivamente *Stausosira* sp. decrece considerablemente para dar lugar al desarrollo de *C. meneghiniana* y *R. gibba*.

*C. cymbiformis* (Agardh), *N. cryptocephala* y otras especies perifíticas también incrementan pero entre ellas es muy característica la presencia de *A. minutissima*, los datos sinecológicos de esta especie sugieren un ambiente de aguas oxigenadas (Gasse 1986).

En el tercer momento, durante el Holoceno tardío de 3,000 años A.P a ca 400 años A. P (110 to 40 cm) *C. meneghiniana* y *N. amphibia* son las especies dominantes y son características de ambientes eutróficos, estas dos especies se han encontrado asociadas en los lagos Kindai y Gawani (Gasse 1986).

Para los últimos ca. 400 años A.P. (cima del núcleo) la diversificación de las diatomeas es muy escasa y se vuelve una comunidad casi monoespecífica de *C. meneghiniana*, que habita el plancton de lagos someros (Gasse 1986).

Comparando el registro paleoambiental de estos últimos 400 años con la flora que habita el presente lago, en la que los taxa dominantes son *N. palea*, *N. amphibia* y *A. lybica* se deduce un

incremento de la conductividad del lago, del trofismo (Shoeman 1973) y un espejo de aguas más bajas. *N. palea* ha sido observada en lagos que presentan influencia antropogénica (Lowe, 1974). En el lago de Cuitzeo la contaminación actual es evidente.

## RECONSTRUCCION PALEOLIMNOLÓGICA

De acuerdo a la estratigrafía de las diatomeas el núcleo extraído de la zona central del lago de Cuitzeo puede resumirse dentro de tres fases lacustres (Fig. 4, Tabla 5). Estas se encuentran separados por tres discontinuidades.

Primera fase: 21.30 a 27.30 m

Inicia de los 27.30 metros entre ca.120,000 a ca. 105,000 años A.P. El centro del extenso lago de Cuitzeo fue de profundidad moderada (menos de 10 metros) circumneutral a alcalina, con abundante vegetación acuática y cierta turbulencia.

Al final de este episodio el lago muestra una tendencia a una marcada recuperación en el nivel lacustre con diatomeas planctónicas que indican un lago abierto y más profundo con poca vegetación acuática

El depósito de diatomeas viene interrumpido por un intervalo de ca. 10 m. en el que los limos arenosos son comunes y se intercalan con eventos volcánicos.

Segunda fase: 11.60 a 2.60 m.

De ca. 56,000 años A.P a ca. 25,000 años A.P el lago muestra bajos niveles lacustres seguidos por breves episodios de recuperación aunque la tendencia general es un nivel bajo.

Químicamente hay un regreso a las condiciones circumneutrales a levemente alcalinas sin embargo hay una tendencia a condiciones más salinas.

Este segundo episodio es interrumpido por otro importante evento volcánico que deposita .70 m de fina ceniza volcánica en este momento el registro de diatomeas desaparece.

Al final de la segunda fase y durante la tercera fase (2.60 a 0 metros) ca.20,000 años A.P. al reciente se observa claramente un progresivo cambio de condiciones menos turbidas a más turbidas alrededor de los 18,000 años A.P. con un incremento de las especies ticoplanctónicas y el decremento de formas litorales.

Para períodos más recientes desde los 6,165 años A.P (Holoceno medio) hasta la cima del núcleo el centro del lago de Cuitzeo registra condiciones con mayor concentración iónica y turbidez y menor profundidad del tirante de agua.

*C. meneghiniana* es característica de los últimos 17,605 años A.P hasta la parte superior del núcleo. Este taxón es

muy común en aguas ricas en materia orgánica de medio a alto contenido mineral.

En general en el registro de Cuitzeo el conjunto de especies dominantes *Staurósira* spp. y *C. placentula* (5.50 a 7.00 m y 9.50 m a 10.00 m) indica probablemente períodos de reflujos de corrientes fluviales en el sitio siendo un lago de agua dulce (Bradbury 1989).

*A. sphaerophora* aparece entorno a 50,000 años A.P y es casi constante desde ca. 18,000 años A.P. hasta los 930 años A.P., este taxón es eurihalobio (Kolbe,1927) y alcalibionte alcanzando su máximo desarrollo en aguas ricas en bicarbonato de sodio (Iltis 1974).

## COMPARACION CON OTRAS CUENCAS DE MICHOACÁN

Cuencas limítrofes a Cuitzeo comprenden la de Zacapu, que ha sido ampliamente estudiada a partir del último máximo glacial (ca. 25,000 años) hasta el presente (Metcalf, 1992 y la de Pátzcuaro Bradbury (2000) cuyo registro se extiende hasta el intervalo pleniglacial-tardiglacial. Comparando este rango de tiempo que abarca los primeros metros del registro del núcleo de Cuitzeo (Fig. 3) se observa que entre 25,000 y 10,000 años A.P. (intervalo pleniglacial y tardo glacial), el lago de Pátzcuaro se caracteriza por *Aulacoseira* y *Stephanodiscus* que indican condiciones frías y niveles lacustres profundos (Bradbury, 2000). Altos porcentajes de *Staurósira* spp. en el lago de Pátzcuaro entre 13,000 y 10,000 años A.P. sugieren bajos niveles lacustres. Sin embargo, la presencia de *S. oregonicus* y *A. islandica* indica ingresos de humedad hacia la cuenca (Bradbury 2000).

En el registro de Cuitzeo se observan porcentajes bajos de *Stephanodiscus* y *Aulacoseira* (<20%) entre ca. 17,000 y 20,000 años A.P. que sugieren también cierta profundidad. Entre ca. 16,000 años A. P y 6,000 años (tardi glacial), se presenten condiciones de aguas tendientes a diluidas con vegetación de pantano, a pesar de que domina *Staurósira* se tienen porcentajes bajos (<5%) de formas halófilas y una constancia de formas perifíticas a lo largo de este período. En el lago de Cuitzeo, un hiatus entre 8,830 y 17,605 años A.P. interrumpe la sedimentación.

En relación a la cuenca de Zacapu, Metcalf 1994,1997 y Fritz *et al.*, 2000, sugieren la existencia de un lago profundo antes de 28,000 años A.P., seguido por una interrupción en el registro durante el último máximo glacial (Metcalf, 1992). El registro reaparece entre 6,000 y 8,000 años A.P. identificando episodios de pantano poco profundo en el contexto de un clima tendiente a templado húmedo. A partir del Holoceno medio tardío, de ca. 7,000 a ca. 4,000 años A. P. (Arnauld, 1997) y entre 6,000 y 5,000 años A. P. (Fritz *et al.*, 2000) condiciones

Tabla 5. Resumen de los últimos ca. 120,000 años del centro del lago de Cuitzeo.

Profundidad (m)	Fechas C <sup>14</sup>	Episodios	Taxa dominantes	Diatomeas distintivas	Paleoambientes	Nivel lago inferido	Periodo
0.00-0.20		3	<i>C. meneghiniana</i>			muy bajo	Holoceno tardío
0.20-1.10	930 a 1,755	3	<i>C. meneghiniana</i>	<i>N. amphibia</i> , <i>A. lybica</i> , <i>A. sphaerophora</i>	Túrbido, tendiente a salino	muy bajo	Holoceno medio
1.10-1.80	6,155	3	<i>C. meneghiniana</i>	<i>A. sphaerophora</i> , <i>N. amphibia</i>	Incremento turbidez y salinidad	bajo	
1.90-2.60	8,830	3	<i>S. construens</i>	<i>N. amphibia</i> , <i>A. sphaerophora</i>	Eutrófico y fluctuante	fluctuante	Holoceno temprano
	17,605						15,000 a 10,000 años A.P. Glacial tardío
2.60-4.10	18,500-ca.25,000	2C	<i>S. niagarae</i> - <i>S. construens</i>	<i>A. sphaerophora</i> , <i>C. clypeus</i>	Fluctuante	lago extenso	20,000 a 18,000 años A.P. Máximo glacial
		DISC 3	no diatomeas	ACTIVIDAD VOLCÁNICA			
	32,565	2B	<i>A. granulata</i>	<i>A. sphaerophora</i> , <i>C. clypeus</i>	Aumento concentración iónica	bajo	30,000 a 20,000 años A.P. Glacial temprano
6.90-8.30		DISC 2	no diatomeas			árido	
8.30-9.60	42,400	2A	<i>A. lybica</i>	<i>S. construens</i> , <i>A. sphaerophora</i> , <i>P. salinarum</i>			
9.60-11.60		2A	<i>A. granulata</i>	<i>S. niagarae</i> , <i>C. meneghiniana</i>		Tendiente a alto	
11.60-21.30		DISC 1	no diatomeas				
21.30-22.60		1B	<i>S. minutulus</i>	<i>A. distans</i> , <i>R. gibberula</i>	Túrbido, cierta alcalinidad	Tendiente a alto	
22.60-26.50		1A	<i>S. construens</i>	<i>N. criptocephala</i> , <i>E. adnata</i> , <i>A. granulata</i> , <i>S. niagarae</i>	Litoral, tendiente a alcalino	bajo	
26.50-27.30	ca. 120,000?	1A	<i>N. amphibia</i> , <i>A. granulata</i>	<i>P. gibba</i> , <i>R. gibberula</i> , <i>Epithemia</i> spp.	Túrbido, eutrófico, litoral	bajo	

más secas se establecen, presentándose un lago de aguas salobres y eutróficas. Mientras que de ca. 5,000 años A.P. a 2,069 A.P. se detecta un clima seco que va de acuerdo con las tendencias registradas para los lagos de Pátzcuaro y Cuitzeo.

En el lago de Pátzcuaro entre 7,000 y 5,000 A.P. (Holoceno medio) las asociaciones de diatomeas testimonian que fue un lago de aguas dulces pero con bajo nivel lacustre probablemente por incremento de la sedimentación (Bradbury 2000). Condiciones más áridas se establecen durante el Holoceno alrededor de los 5,000 años A.P. (Watts y Bradbury 1982).

En Cuitzeo se registran condiciones semi templadas a tendientes a áridas entre ca. 6,000 años A. P. a 1,700 años A.P. esta tendencia es interrumpida por una fase más árida hacia 5,000 años A.P. que se manifiesta por la aparición de formas salinas tales como *R. gibberula* y *C. rudolphi*. *N. halófila*, estas dos últimas en porcentajes menores a 5%.

Mientras que en el Holoceno tardío (entre 1,000 y 1,755 años A.P.), aumentan las diatomeas perifíticas *Nitzschia*,

*Amphora*, *Anomoeoneis* y *Navicula* sugiriendo aguas bajas, de mas concentración iónica y turbidez.

Las asociaciones de diatomeas y polen observados en los últimos 1,000 años en el lago de Cuitzeo sugieren un incremento de erosión y condiciones de turbidez y eutroficación y una tendencia a condiciones más secas (Velázquez *et al.*, 2000). Esto se observa también en las cuencas aledañas de Pátzcuaro y Zacapu. Probablemente la presencia del hombre ha contribuido a estos cambios en las condiciones ambientales de estos lagos.

En resumen existen semejanzas entre el registro de diatomeas de los últimos ca. 35,000 años en el Lago de Pátzcuaro (Bradbury, 2000) con el de Cuitzeo, principalmente entre ca. 25,000 y 13,000 años A.P, entre ca.13,000 y 10,000 y a los ca.5,000 años A. P.

En el lago de Zacapu el registro de diatomeas de los últimos 8,000 años muestra en general condiciones de aguas bajas al igual que en el lago de Cuitzeo y el de Pátzcuaro.

Cabe mencionar que la geometría de los lagos representan otro parámetro que aunado a la circulación atmosférica produce cambios importantes en los niveles lacustres. En el caso de la región norte de Michoacán, la superficie expuesta a la evaporación ha sido más amplia en la cuenca plana de Cuitzeo que en la cuenca en "V" de Pátzcuaro, además de la diferencia de tirantes de agua entre Cuitzeo y Pátzcuaro por razones de la morfología del vaso.

El comportamiento de los patrones de circulación atmósfera-océano (particularmente el desplazamiento e intensificación de la celda de alta presión de las Bermudas) deben tener una influencia importante en los registros paleolimnológicos de los lagos del norte de Michoacán generando cambios climáticos a nivel continental como lo sugieren Metcalfe *et al.*, 2000. Según las autoras durante el último máximo glacial (23,000 a 10,000 años A.P.) fases húmedas se observan a lo largo de la costa pacífica desde la región de centro América hasta el suroeste de Estados Unidos, mientras que en el Holoceno medio tardío el desplazamiento de las celdas de alta presión de las Bermudas genera condiciones secas en el centro de México (Metcalfe *et al.*, 2000) que coincide con lo observado en el lago de Pátzcuaro, Zacapu y Cuitzeo.

## CONCLUSIONES

El sistema lacustre de Cuitzeo ha evolucionado a partir del Mioceno tardío como resultado de dos fases tectónicas. En la segunda fase el lago se establece en su posición actual. La subsidencia de esta cuenca ha sido continua para permitir que el aporte sedimentario sea menor que el ingreso de agua al lago a través de drenajes superficiales, precipitación y manantiales.

El conjunto de diatomeas de los 27 metros de sedimentos extraídos del centro del lago de Cuitzeo sugieren que en tres periodos el lago ha tenido un nivel lacustre tendiente a alto, sin embargo condiciones profundas no se han dado en particular a través del Holoceno (últimos 10,000 años). Es importante mencionar que tendencias semejantes para el holoceno se observan en los lagos de Pátzcuaro y exlago de Zacapu, al sur y oeste del lago de Cuitzeo respectivamente.

En los últimos ca. 1000 años A.P. de registro, las especies que dominan prefieren hábitats de más concentración iónica indicando probablemente condiciones cada vez más áridas en las que el lago se convierte en un lago salino de aguas bajas y turbidas.

Los bajos niveles lacustres observados en el último decenio están asociados a la extracción de agua superficial y subterránea para usos urbanos y agrícolas y a la reducción de la precipitación media anual.

Los procesos vulcano-tectónicos han sido fundamentales en la evolución Plio-Cuaternaria del lago de Cuitzeo y no permiten una clara interpretación sobre todo del registro biológico. Las oscilaciones climáticas también tienen una influencia directa sobre los episodios de ascenso y descenso de los niveles lacustres en el pasado.

Un hiatus de probable importancia regional se observa entre 8,000 y 17,000 años A.P. indicando una fase intensa de erosión en la región.

El análisis del origen y evolución de los lagos del centro de México puede contribuir grandemente a entender las relaciones con la tectónica y los procesos climáticos que se dieron en la zona. Los datos obtenidos a través de la extracción de núcleos continuos en los distintos lagos acompañados de fechamientos con severo control apoyará al banco de datos a nivel mundial encaminados a reconstruir los patrones de circulación atmosférica para los periodos glaciares e interglaciares.

## AGRADECIMIENTOS:

Los autores manifiestan su agradecimiento a la C.F.E. (Ing. Nicolás Velásquez) por el análisis de las aguas del lago y al Dr. E. Tello por permitirnos presentar la química de los manantiales del lago, a la Dra. Margarita Caballero M. y a la Dra. Sarah Davies por las sugerencias en la elaboración de este trabajo, a la Dra. Vera Markgraf y al Dr. Platt Bradbury por su ayuda y sugerencias con las graficas presentadas.

Esta contribución se realizó gracias al financiamiento del CONACYT proyecto G28528-T y de la coordinación de Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

## LITERATURA CITADA

- ALVARADO DÍAZ, J. T., T. R. ZUBIETA ROJAS, R. ORTEGA MURILLO, A. CHACÓN TORRES y R. ESPINOZA GÓMEZ, 1994. Hipertroficación de un lago tropical somero (Lago de Cuitzeo, Michoacán, México). En: "Comisión de ecología del H. Congreso de Michoacán. LXVI Legislatura.
- ARRONDONDO, F. J., 1983. Levantamiento gravimétrico en la zona central de la Laguna de Cuitzeo, Mich. (Comisión Federal de Electricidad), Informe 29/83 G.P.G. 11p.
- BAN, M., T. HASENAKA, H. DELGADO y N. TAKAOKA, 1992. K-Ar ages of lavas from shield volcanoes in the Michoacán-Guanajuato volcanic field, Mexico. *Geofísica Internacional* 4: 467-473.
- BARD, E., M. ARNOLD, R. G. FAIRBANKS y B. HAMMELIN, 1993.  $^{230}\text{Th}$ - $^{234}\text{U}$  and  $^{14}\text{C}$  ages obtained by mass spectrometry on corals. *Radiocarbon* 35: 533-556.

- BRADBURY, P., 1971. Paleolimnology of lake Texcoco, Mexico, evidence from diatoms. *Limnology and Oceanography* 16: 180-200.
- BRADBURY, J. P., 1989. Late Quaternary lacustrine paleoenvironments in the Cuenca de Mexico, Quaternary. *Science Reviews* 8: 75-100.
- BRADBURY, J. P., 1998. A paleolimnological record of climate from Lago de Patzcuaro for the past 45 k.y. AMQUA. Puerto Vallarta. Mexico. 5-7 sept. p. 91
- BRADBURY, J. P., 2000. Limnologic history of Lago de Patzcuaro, Michoacan, México for the past 48,000 years: impacts of climate and man. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 163, p. 69-95.
- BRIDGWATER, D. N., A. J. HOLMES y S. O'HARA, 1999. Complex controls on the trace-element chemistry of non marine ostracods: an example from Lake Patzcuaro, central Mexico. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 148: 117-131.
- BOURGOIS, J., V. RYAN, J. AUBOIN, E. BARRIER, W. BANDY, T. CALMUS, J. C. CARFANTAN, J. GUERRERO, J. MAMMERICKX, B. MERCIER DE LEPINAY, F. MICHAUD y M. SOSSON, 1988. Fragmentation en cours du bord Ouest du Continent Nord-Américain: Les frontieres sous-marines du Block Jalisco (Mexique): *Comptes Rendus Academie des Sciences, Paris, II*, v.307, p.617-626.
- CABALLERO-MIRANDA, M., S. LOZANO-GARCÍA, J. URRUTIA-FUCUGAUCHI y J. L. MACÍAS, 1999. Environmental characteristics of Lake Tecocomulco Northern Basins of Mexico for the last ca. 50,000 years. *Journal of Paleolimnology* 22: 399-411.
- CHACÓN-TORRES, A., C. ROSAS-MONGE y J. ALVARADO-DÍAZ, 2000. The effects of hypereutrophication in a tropical Mexican lake. In: *Aquatic Ecosystems of Mexico: Status and scope*. (Edited by M. MUNAWAR, S.G. LAWRENCE, I. F. MUNAWAR and D. F. MALLEY. Ecovision World Monograph Series. 89-101. The Netherlands.
- CHOLNOKY, B. J., 1968. Die Ökologie der Diatomeen in binnengewässern, *Kramer-Lehre*. 699p.
- COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, 1986. Muestra CU-8. Dataciones radiométricas en rocas del NW de Michoacán. Oficina de Geología. Reporte GG 10/86. (Inédito). 11p.
- DE METS C. y S. STEIN, 1990. Present days kinematics of the Rivera Plate and implications for tectonics in Southern Mexico. *Journal of Geophysical Research* 95: 931-948.
- DE BUEN, F., 1943. Los lagos Michoacanos. I. Caracteres generales. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 4: 211-232.
- FRITZ, C. S., S. METCALFE y W. DEAN, 2001. Holocene climate patterns in the Americas inferred from paleolimnological records. En *Interhemispheric climate linkages*. Vera Markgraf ed. Academic press. p. 241-263.
- GARDUÑO, V. H. e I. ISRADE, 1998. Existió interconexión entre los lagos de Zirahuén, Patzcuaro y Zacapu, Mich. Un punto de vista de la evolución geológica de las depresiones lacustres. Resumen 1º Congreso Nacional de Limnología. Morelia, Michoacan. p. 63
- GARDUÑO, V. H., 1987. Estudio Geológico preliminar del área de Tlalpujahuá, Senguio, Mich. Comisión Federal de Electricidad. Reporte interno. GG 2/87. pp.30.
- GARDUÑO-MONROY, V. H., J. SPINNLER y E. CERAGIOLI, 1993. Geological and structural study of the Chapala rift state of Jalisco, México. *Geofísica Internacional* 32(3): 487-499.
- GASSE, F., 1980. Les diatomées lacustres Plio-Pleistocenes du Gadeb (Etiopie) Systematique, Paléoécologie, biostratigraphie. *Revue algologique-Mémoire Hors-serie* 3: 249 p.
- GASSE, F., 1986. East african diatoms. Taxonomy, ecological distribution. *Biblioteca diatomologica*. Band 11. J.Cramer. Berlin. Stuttgart. 201p.
- GASSE, F., 1991. African diatom Palaeoecology and Biostratigraphy. *Journal of African Earth Sciences* 12 (1/2): 325-334.
- GRIMM, E. C., 1991-1993. "Tilia software". Illinois State Museum, Springfield.
- HARTLEY B., H. G. BARBER y J. R. CARTER, 1996. *An atlas of British diatoms*. Edited by P.A. Sims. 601p.
- HUBER-PESTALOZZI, G., 1942. Das Phytoplankton des Süßwassers Diatomeen unter Mitwirkung von Dr. F. Hustedt. In A. Thiennemann (de.), *Die Binnengewässer*, Stuttgart. Band 16:367-549.
- HUSTEDT, F., 1930. Bacillariophyta (Diatomae). In Pascher, *Die Süßwasser-Flora Mitteleuropa*, G. Fisher Henna 10: 466p.
- HUSTEDT, F., 1957. Die Diatomeenflora des fluss-systems der Wesser im Gebiet der Hansestadt Bremen. *Abh. Nat. Ver. Bremen* 34 (3): 18-140.
- HUTCHINSON, G. E., R. PATRICK y E. S. DEEVEY, 1956. Sediments of Lake Patzcuaro, Michoacán. Mexico. *Geologic Society American Bulletin* 67: 1491-1504.
- ILTIS A., 1974. Phytoplankton des eaux nantroneés du Kanem (Tchad). VII. Structure des peuplements. Cah. O.R.S.T.O.M., *Serie Hydrobiologie* 8 (1): 51-76.
- INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO, 1986. Estudio Petrogenético de las rocas igneas de la porción central del Eje Neovolcánico. Proyecto C-2006. Instituto Mexicano del Petroleo, *Internal Report*. 30.
- ISRADE I., V.GARDUÑO y M., FERRARI, 1992. El origen Transtensivo de la depresión del lago de Cuitzeo, *VII Congreso Latinoamericano de Geología*, Salamanca, España 4:127-131.
- ISRADE I., 1993. Diatomeas Neogenas del Sector Central del Cinturón Volcánico Mexicano (lago de Cuitzeo) y su relación con la evolución vulcano-tectónica. *First International Conference on Climatic Change in Mexico*. 1993: 69-70.

- ISRADE I., 1995. Bacini Lacustri dal Settore Centrale dall'arco vulcanico messicano. Stratigrafia ed evoluzione vulcanotettonica basata sulle diatomee. PhD Thesis. Università degli Studi di Milano. 254p.
- ISRADE I., 1997. *Neogene-Holocene stratigraphy and paleolimnology of Cuitzeo Basin, North Michoacan*. 14Th North American Diatom Symposium. University of Michigan. U.S.A pp.16.
- ISRADE I., 1998. Neogene diatoms of the central sector of the Mexican Volcanic Belt (Cuitzeo Lake) and its relationship with the volcano tectonic evolution. *Quaternary International*. Special publication. (43/44): 137-143.
- ISRADE-ALCÁNTARA, I. y V. H. GARDUÑO. 1999. Lacustrine record in a volcanic intra-arc setting: The evolution of the Late Neogene Cuitzeo Basin System (Central Western Mexico). Special Issue. In "Ancient and Recent lacustrine systems in convergent margins". L.Cabrera y A. Saez. Eds. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Vol.151 N° 1-3. PP. 209-227.
- ISRADE I., 1999. Lagos Tectónicos y Volcánicos En: GARDUÑO, CORONA P., ISRADE I., MENNELLA y ARREYEGUE E., La carta geologica de Michoacán. Escala 1:250,000". CORONA CHAVEZ e ISRADE ISABEL, Editores. pp.45 a 73
- ISRADE, A. I., 1997. Neogene-Holocene stratigraphy and paleolimnology of Cuitzeo Basin, North Michoacan. 14Th *North American Diatom Symposium*. University of Michigan. U.S.A Pp.16.
- ISRADE, I., M. CABALLERO, G. VILA CLARA y A. RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, 2000. Paleolimnological records from Central México basins, a multidisciplinary project. 16 th. *International Diatom Symposium*. Atenas. Agosto 25 al 27, 2000. Pp.50.
- ISRADE ALCÁNTARA, I., J. URRUTIA FUCUGAUCHI y V. H. GARDUÑO MONROY, 1998. Rock magnetism and sediment chemistry of Pleistocene-Holocene sediments from Cuitzeo lake, Northern Michoacán, Mexico. *AMQUA* 1998. Abstracts of the 15Th biennial meeting. Vallarta, Mexico. Pp.118
- KRAMER, K. y H. LANGE BERTALOT, 1986. *Bacillariophyceae Teil.1. Naviculaceae* Susswassweflora von Mitteleuropa. Gustav Fisher, Stuttgart, New York. 876p.
- KRAMER, K. y H. LANGE BERTALOT, 1988. *Bacillariophyceae 2/2* Susswassweflora von Mitteleuropa. Gustav Fisher, Stuttgart, New York. 569 p.
- KRAMER, K. y H. LANGE BERTALOT, 1991. *Bacillariophyceae, 2/3*. Susswassweflora von Mitteleuropa. Gustav Fisher Verlag, New York. 576p.
- KRAMER, K. y H. LANGE BERTALOT, 1991. *Bacillariophyceae, 2/4* Susswassweflora von Mitteleuropa. Gustav Fisher Stuttgart, New York. 437p.
- KOLBE, R. W., 1927- Zúrokologie, Morphologie und Systematik der Brackwässer. Diatomeen. Die Kieselalgen des Sperenberger Salzgebieten. *Planzenforschung* 7: 1-146.
- LOWE, R. L., 1974, Environmental requirements and Pollution tolerance of freshwater diatoms. Environmental Monitoring series. *Environmental protection agency*. Report N.: EPA-670/4-474-005.
- MARTÍNEZ, S. M. y B. HOBSON, 1907, " Restos de Plantas en Basalto". *Boletín de la Sociedad Michoacana de Geografía y Estadística*. Tomo III. 15:238-240.
- MENDOZA CANTU, M. E. Implicación del cambio de cobertura vegetal y uso del suelo en el balance hídrico regional. El caso de la cuenca del Lago de Cuitzeo. Tesis Doctoral. Instituto de Geofísica de la UNAM. 284.p.
- METCALFE, S., A. STREY-PERROTT, A. BROWN, P. HALES, R. PERROTT y F. STEININGER, 1989, Late Holocene Human Impact on Lake Basins in Central Mexico. *Geoarcheology* 4(2): 119-141.
- METCALFE, S. E., 1992. Changing environments of the Zacapu basin, central México: a diatom based history spanning the last 30,000 years. Research paper 48, School of Geography. Oxford.
- METCALFE, S.E. y HALES, 1994, Holocene diatoms from a Mexican crater lake-La Piscina de Yuriria. *Memoirs of the California Academy of Sciences* 17: 501-505.
- METCALFE, S., STREET-PERROTT, S. L. O'HARA, P. E. HALES y R. A. PERROTT, 1994. The palaeolimnological record of environmental change. Examples from the arid frontier of Mesoamerica. *Environmental change in Drylands: Biogeographical and Geomorphological Perspectives*. Edited by. A.C. Millington and K. Pye. P.131-145.
- METCALFE, S. E., 1995. Holocene environmental change in the Zacapu basin, Mexico: a diatom based record. *The Holocene* 5: 196-208.
- METCALFE, S. E., S. L. O'HARA, M. CABALLERO y S. J. DAVIES, 2000, Records of Late Pleistocene-Holocene climatic change in Mexico- a review. *Quaternary Science Reviews* 19: 699-721.
- MONCAYO R., I. ISRADE-ALCÁNTARA y V. H. GARDUÑO, 2001. La cherahuita hubsina Turneri (pices goodeidae), como caso de restricción geográfica de una especie endémica del Lerma. Características de su identidad Taxonómica y distribución en el tiempo. *Hidrobiologica* 11(1): 1-18.
- O'HARA S. L., F. A. STREET-PERROTT y T. P. BURT, 1993. Accelerated soil erosion around a Mexican highland lake caused by prehispanic agriculture. *Nature* 362: 48-51.
- PASQUARE G., L. FERRARRI, V. H. GARDUÑO, A. TIBALDI y L. VEZZOLI, 1991. Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacan, México: *Geologic Society of America*. Map and Chart Series MCH072, scale 1:300,000
- PATRICK y C. W. REIMER, 1966. "The diatom flora of the United States. Vol.1" *Monographs of the Academy of natural Sciences of Philadelphia*. N° 13.

- PRADAL, E. y E. ROBIN, 1995. Long Lived magmatic phases at Los Azufres Volcanic center, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 63: 201- 215.
- ROSAS, J., L. FERRARI, M. LÓPEZ y F. J. URRUTIA, 1997. Stratigraphy and Tectonics of the Guadalajara region and Triple-junction area. Western Mexico. *International Geology review*. Vol. 39. p.125-140
- SUTER, M., M. LÓPEZ, L. O. QUINTERO y M. M. CARRILLO, 2001. Quaternary intra-arc extension in the central Trans-Mexican belt. *GSA Bulletin*. 113, (6).
- SHOEMAN, F. R., 1973. Diatoms from Diatomaceous deposit in the Northern Transvaal, South Africa. *Review Biology* 9(1-4): 115-125.
- STUIVER, M. y P. J. REIMER, 1993. Extended <sup>14</sup>C data base and revised CALIB 3.0 <sup>14</sup>C calibration program. *Radiocarbon* 35: 215-230.
- TELLO HINOJOSA, E., 1984. Reconocimiento y evaluación geoquímica de las zonas termales del lago de Cuitzeo. Informe 33-83. Subgerencia de Estudios Geotérmicos. Departamento de Exploración. Comisión Federal de Electricidad. 43 p.
- VELÁZQUEZ, D. R., 1999. Palinología en relación a paleoambientes de los últimos 35,000 años en el lago de Cuitzeo, Michoacan. Mexico. Tesis de licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- VELÁZQUEZ D. R., I. A. ISRADE y G. M. S. LOZANO, 2000, Registro palinológico en el lago de Cuitzeo. Implicaciones ambientales en los últimos 35,000 años A. P., *Geos* 20(3): 167.
- WATTS, W. A. y J. P. BRADBURY, 1982, Palaeocological studies at Lake Pátzcuaro on the West Central Mexican Plateau and at Chalco in the basin of Mexico. *Quaternary Research* 17: 56-70.
- YANG, J. R. y M. DICKMAN, 1993. Diatoms as indicators of lake trophic status in central Ontario, Canada. *Diatom Research* 8: 179-193.

*Recibido:* 25 de junio de 2001.

*Aceptado:* 20 de marzo de 2002.