

ARTÍCULO

INVESTIGACIÓN ECOLÓGICA A LARGO PLAZO EN CUERPOS ACUÁTICOS EPICONTINENTALES

Dr. Javier Alcocer Durand

*Jefe del Proyecto de Investigación en Limnología Tropical, FES Izta-
cala, UNAM*

jalcocer@servidor.unam.mx

Dr. Fernando W. Bernal Brooks

Profesor-Investigador, UMSNH

fbernal_brooks@yahoo.com

Investigación ecológica a largo plazo en cuerpos acuáticos epicontinentales

RESUMEN

El presente documento muestra la importancia de generar información científica en series de tiempo largas -en este caso limnológica- para la identificación y explicación de fenómenos y procesos ecológicos a largo plazo. Para ello se presentan dos casos en el estudio de las aguas epicontinentales de México. El primero, el Lago Alchichica, con una investigación desarrollada a lo largo de 10 años y, el segundo, los lagos de la parte centro occidente del país (Chapala, Cuitzeo y Pátzcuaro) que incluyen un registro de los niveles de agua a lo largo de varias décadas.

Palabras clave: LTER, lagos tropicales, cambio climático, series de tiempo

Long Term Ecological Research in inland water bodies

ABSTRACT

The document herewith shows the relevance of scientific information in long time series –limnological in the present case- for identifying and explaining long-term ecological phenomena and processes. Therefore, two case studies are shown relative to Mexico's inland waters. The first one, Lake Alchichica, encompasses a research developed over 10 years and, the second, the lakes of the central-west part of the country (Chapala, Cuitzeo y Pátzcuaro), includes a database on water levels over several decades.

Keywords: LTER, tropical lakes, climatic change, time series

Introducción

Los patrones y procesos que estudia la ecología ocurren a diferentes escalas espaciales y temporales dentro de un mismo ecosistema (Foster *et al.* 1990, Levin 2000). La inherente complejidad y dinámica cambiante (Botkin 1990), sugiere la posible aparición de eventos inusuales o infrecuentes, de tal forma que la percepción de las causas y consecuencias depende de largos períodos de observación y/o áreas de estudio extensas (Carpenter, 1998). Así también, la influencia humana puede originar secuelas que se manifiestan tiempo después (McDonnell y Pickett 1993).

El documento toral de la Red Mexicana de Estudios Ecológicos a Largo Plazo (Red Mex-LTER) parte del paradigma que requiere estudios a largo plazo para identificar –y explicar- tendencias de manifestación tardía en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. Luego entonces, la gestión ambiental y el manejo sustentable de los recursos naturales dependen de escalas espaciales y temporales amplias; por ejemplo, la incidencia de fenómenos que ocurren en períodos de varias décadas o inclusive siglos.

La mayor parte de los estudios ecológicos en cuerpos acuáticos epicontinentales, generalmente contemplan una duración corta (un muestreo por mes o estacional), lo que limita el alcance de los resultados y las conclusiones al tratar de explicar fenómenos de largo plazo (Likens 1998, Tilman 1989); en el otro extremo, la paleolimnología, una disciplina ciertamente útil para comprender los grandes cambios producidos en la escala geológica hasta llegar al estado actual, carece de una resolución apropiada al intentar responder cabalmente a preguntas sobre los procesos involucrados en la dinámica lacustre en el tiempo reciente.

En consecuencia, la necesidad de desarrollar estrategias y métodos de investigación ecológica acordes a las escalas espaciales y temporales adecuadas (lustros, décadas) intenta detectar eventos de baja incidencia, así como el discernimiento de su variación normal o las consecuencias de factores antropogénicos. Así, el enfoque de la investigación ecológica de largo plazo (Gosz 1996, Swanson y Sparks 1990, Symstad *et al.* 2003, Wiens 1997), constituye una herramienta complementaria a otras estrategias de investigación. Equipos de investigadores de distintas disciplinas, que cooperan y colaboran entre sí desde sus sitios particulares de estudio o entre distintos sitios a través de redes virtuales, han demostrado el potencial de la referida forma de investigar con logros significativos, tanto en la generación de conocimiento básico y el desarrollo de la teoría ecológica como en la obtención de resultados aplicables en la práctica (Franklin *et al.* 1990, Golley 1993, Gosz 1996).

El capítulo mexicano (Red Mex-LTER, <http://www.mexlter.org.mx>) de la International Long Term Ecological Research Network (ILTER, <http://www.ilternet.edu>) forma parte de una red de redes global que incluye sitios de investigación en un amplio abanico de ecosistemas que abarca todo el mundo. El objetivo común de ayudar a comprender el cambio ambiental del planeta a través de la ILTER radica en la investigación a largo plazo en sitios (ecosistemas) particulares. Así, cada sitio LTER genera y mantiene la base de datos ecológicos de un ecosistema bajo estudio en particular. A pesar de la existencia de una gama de sitios LTER cuyo objeto de estudio consiste en los ecosistemas acuáticos epicontinentales (p.ej., Italia, República Checa, Gran Bretaña, Estados Unidos, China), sólo Brasil y México aportan información sobre las regiones tropicales. De los diez sitios LTER de la Red Mex-LTER, solo uno, Alchichica, corresponde a un ecosistema acuático epicontinental. No existe otro lago mexicano con una base de datos tan completa y un registro tan extenso y continuo como el caso del Lago Alchichica. Por lo mismo, este caso de estudio fue seleccionado por la Red Mex-LTER para constituir un sitio LTER.

A manera de preámbulo, el conocimiento de la Limnología tropical inicia a partir de la segunda mitad del siglo veinte, en contraste con su contraparte en la región templada cuyo origen se remonta hasta hace más de un siglo (Talling 1986). Los estudios sobre lagos tropicales, comparativamente escasos, carecen además de muestreos y análisis metódicos durante largos periodos de tiempo (i.e., series de tiempo). Algunas excepciones con una temporalidad mayor a la anual corresponden a estudios sobre los lagos

Victoria (Talling y Lemoalle 1998) y Tangañica en África (Sarvala et al. 1999), Lanao en Filipinas (Lewis 1973) y Valencia en Venezuela (Lewis 1986). En tales casos ha sido posible discernir patrones de estacionalidad y generar herramientas de predicción en relación con diferentes factores, tales como de la hidrodinámica (Hambright et al. 1994), florecimientos algales (Stronge et al. 1998) y de la producción primaria y biomasa fitoplanctónica (Berman et al., 1995).

Desarrollo

A manera de ilustrar la importancia de profundizar sobre la investigación ecológica a largo plazo en nuestro país, se tratarán dos ejemplos a continuación. El primer estudio de caso consiste en el descubrimiento de un patrón de producción primaria con ciclicidad bienal –nunca antes descrita en la literatura científica– en el Lago Alchichica, Puebla. El segundo postula la existencia de una “sensibilidad climática” común a los lagos del centro de México (Chapala en Jalisco y Cuitzeo y Pátzcuaro en Michoacán) a través de un registro de niveles de varias décadas. El descenso generalizado del nivel de sus aguas guarda una relación proporcional en términos de reducción en el área superficial y volumen, que se atribuye a una gran influencia meteorológica en convergencia con el impacto antropogénico. La ubicación, clima, así como una breve descripción limnológica de cada uno de estos lagos se presenta en la Tabla 1.

Para Alchichica, desde un punto de vista hidrodinámico, los datos muestran una ciclicidad anual típica de los lagos monomícticos cálidos tropicales (Fig. 1); el lago se mezcla en un momento particular y predecible del año (invierno hemisférico) y permanece estratificado el resto del tiempo (Alcocer et al. 2000). Este fenómeno recurrente deriva en última instancia de las relaciones Tierra-Sol y opera a través de la radiación solar incidente (i.e., directamente a través de la temperatura e indirectamente a través de la circulación de la atmósfera y del balance de agua) como el agente último del cambio intra-anual o estacional. La dinámica estacional incide a su vez en los ciclos biogeoquímicos, por ejemplo, el desarrollo de un florecimiento de diatomeas a lo largo de la columna de agua durante el periodo de mezcla invernal del lago, cuando la disponibilidad de nutrimentos y la turbulencia favorecen la aparición de este tipo de algas.

Al analizar la dinámica de la biomasa fitoplanctónica en un lapso de tiempo más largo –4 ciclos anuales–, Adame et al. (2008) descubrieron adicionalmente una ciclicidad bienal (cada dos años) que desarrolla una mayor biomasa fitoplanctónica en los años pares, a diferencia de los años impares. No se han encontrado referencias en la literatura acerca de algún fenómeno con tal frecuencia de aparición, como lo muestra Alchichica. Sin embargo, al considerar un periodo de tiempo más amplio, dichos cambios ambientales podrían incidir bajo la categoría de “no-periódicos” más que bienales, donde el azar juega un papel relevante. De acuerdo a Talling y Lemoalle (1998), la ocurrencia de irregularidades entre oscilaciones sucesivas, corresponden ya sea a tendencias de largo plazo en sobreposición a variaciones de corto plazo (variación anual), o perturbaciones impredecibles de corta duración que coinciden con efectos de corto o largo plazo y que generan variaciones no-periódicas. Más aún, tampoco se podría descartar el efecto de fenómenos de mayor amplitud temporal (p.ej., el fenómeno “El Niño”) que también parecen influenciar la dinámica de Alchichica (Alcocer y Lugo 2003).

Al analizar en el caso que nos ocupa un lapso temporal aún más largo –10 ciclos anuales– la ciclicidad bienal resulta más evidente (Fig. 2). Este hecho sugiere un comportamiento no al azar, sino un fenómeno derivado seguramente de procesos aún sin identificar. Adame et al. (2008) plantearon la hipótesis que la concentración de sílice acumulado en el hipolimnion del lago al final de la época de estratificación así como la relación entre la concentración de sílice y nitrógeno (Si/N), determina la magnitud del florecimiento invernal de diatomeas. En otras palabras, las concentraciones más elevadas de sílice aunadas a los valores más altos en la relación Si/N conducen a la aparición de florecimientos más intensos de este tipo de algas. Al parecer, un sólo ciclo anual resulta insuficiente para remineralizar todo el sílice atrapado en los frústulos de los organismos que mueren y se depositan en el fondo, por lo que no es sino hasta después

de dos ciclos anuales que el sílice adquiere cantidades suficientes como para generar un florecimiento importante de la población algal. En este momento se llevan a cabo ensayos de laboratorio (experimentos de enriquecimiento) en microcosmos encaminados a verificar o rechazar la mencionada hipótesis.

En el caso de los lagos ubicados en la parte centro occidente del país, las dependencias de gobierno cuentan con información generada a largo plazo sobre las fluctuaciones de nivel del agua en tres de los lagos más representativos del centro oeste del país: Chapala, Cuitzeo y Pátzcuaro.

El nivel del agua en los lagos citados presenta dos componentes. El primer componente es el estacional que depende de la dinámica recurrente de sequía-lluvia y que, además, aumenta o disminuye en función de las características morfológicas propias de cada cuenca lacustre. A manera de ejemplo, en la figura 3 se presenta la relación climática para Pátzcuaro entre los eventos de precipitación y la variación del nivel del agua del lago durante dos ciclos anuales. El segundo componente es la tendencia de largo plazo superpuesta a los movimientos estacionales mencionados anteriormente, que abarca una amplitud de décadas y que resulta coincidente de manera aproximada en los tres lagos (Fig. 4). En general, de 1935 a 1955, el componente de largo plazo actúa con una disminución en el nivel del agua de los lagos para experimentar eventualmente una recuperación a finales de la década de los 1960s a manera de cierre de un ciclo. La tendencia se mantiene estable aproximadamente hasta 1978, y de ahí en adelante vuelve a perder nivel progresivamente hasta el año 2001 cuando adquiere una condición aún más baja comparada con 1955 (-519 mm en el caso de Pátzcuaro).

Como un fenómeno sincrónico en los tres lagos más grandes del centro occidente de México (Bernal-Brooks y MacCrimmon 2000; Bernal-Brooks et al. 2002), la influencia del componente climático de largo plazo genera preguntas sobre la falta de restablecimiento de los lagos a niveles superiores. El cambio climático global ha sido la causa de la desaparición de lagos en otros continentes situados en una franja de latitud desértica [p.ej. lagos Chad en África, mar de Aral en Asia Central (Earthshots: satellite images of environmental change en: <http://earthshots.usgs.gov>)]; gran parte de México se encuentra en esta franja. De hecho, hay investigadores (Filonov, 2003) que descartan la desaparición de Chapala por influencia antropogénica y otorgan un mayor peso a las variaciones climáticas.

En el componente de largo plazo, los lagos de la parte centro occidente de México alcanzan una condición excepcional de llenado a finales de los años 30, tal como lo muestran las fotografías anexas (Fig. 5) en relación con la condición actual. Tales evidencias dejan patente la pérdida neta de agua en los citados lagos y un avance progresivo en el país del fenómeno de desertificación.

Conclusiones

Adicionalmente a la identificación y explicación de las tendencias de manifestación tardía en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas en la generación de teoría ecológica, la utilidad práctica de contar con estudios de largo plazo en los lagos radica, entre otros, en la posibilidad de alertar a la agencia administradora del agua (Comisión Nacional del Agua) sobre el manejo del preciado recurso para las grandes ciudades y el sector agropecuario.

Si la situación climática atraviesa por la parte baja de un ciclo climático, entonces las medidas de precaución en el manejo del agua deben extremarse al contar con un recurso muy escaso; no así en la parte alta de un ciclo donde existe mayor disponibilidad del líquido. Desafortunadamente, el primer caso permea el escenario actual.

El desarrollo científico futuro muy deseable (y todo un reto) es complementar el análisis de bases de datos con modelos matemáticos predictivos. Finalmente, las series de tiempo son historia y la gestión ambiental está muy necesitada de estimaciones y predicciones sobre posibles escenarios futuros.

Bibliografía

Adame, M.F., J. Alcocer y E. Escobar. 2008. Size-fractionated phytoplankton biomass and its implications for the dynamics of an oligotrophic tropical lake. *Freshwater Biology* 53: 22-31.

Alcocer, J.; A. Lugo; E. Escobar; Ma. del R. Sánchez y G. Vilaclara. 2000. Water column stratification and its implications in the tropical warm monomictic lake Alchichica, Puebla, México. *Verhandlungen Internationalis Vereinigung Limnologie* 27: 3166-3169.

Alcocer, J. & A. Lugo. 2003. Effects of El Niño on the dynamics of Lake Alchichica, central Mexico *Geofísica Internacional* 42(3): 523-528

Bernal-Brooks, F.W. & H.R. MacCrimmon. 2000. Lake Zirahuén (Mexico): A natural reservoir visually insensitive to cultural eutrophication. pp. 77-88. En: Munawar, M., S. Lawrence, I. Munawar, & D. Malley (eds.). *Aquatic Ecosystems of Mexico: Status & Scope*. Ecovision World Monograph Series. Backhuys Publishers, Holanda.

Bernal-Brooks, F.W., A. Gómez-Tagle Rojas & J. Alcocer-Durand. 2002. Lake Patzcuaro (Mexico): a controversy about the ecosystem water regime approached by field references, climatic variables and GIS. *Hydrobiologia* 467: 187-197.

Berman, T., L. Stone, Y.Z. Yacobi, B. Kaplan, M. Schlichter, A. Nishri y U. Pollinger. 1995. Primary production and phytoplankton in Lake Kinneret: A long-term record (1972- 1993). *Limnology & Oceanography* 40(6): 1064-1076.

Botkin, D.B. 1990. *Discordant Harmonies*. Oxford University Press. Nueva York.

Carpenter, S.R. 1998. The need for large-scale experiments to assess and predict the response of ecosystems to perturbation. pp. 287-312. En: Pace, M.L. y P.M. Groffman (eds.). *Success, limitations, and frontiers in ecosystem science*. Springer Verlag, Nueva York.

Filonov, A. 2003. Chapala no desaparecerá por influencia del hombre. *Gaceta Universitaria* 16 de junio de 2003. Universidad de Guadalajara.

Foster, D.R., P.K. Schoemaker y S.T.A. Pickett. 1990. Insights from paleoecology to community ecology. *TREE* 5(4): 119-122.

Franklin, J.F., C.S. Bledsoe y J.T. Callahan. 1990. Contributions of the long-term ecological research program. *BioScience* 40(7): 509-523.

Golley, F.B. 1993. *A history of the ecosystem concept in ecology*. Yale University Press. New Haven, Connecticut.

Gosz, J. R. 1996. International long-term ecological research: priorities and opportunities. *TREE* 11: 444.

Hambright, K.D., M. Gophen y S. Serruya. 1994. Influence of long-term climatic changes on the stratification of a subtropical, warm monomictic lake. *Limnology & Oceanography* 39(5): 1233- 1242.

Levin, S. 2000. Multiple scales and the maintenance of biodiversity. *Ecosystems* 3: 498-506.

Lewis, W.M. 1973. The thermal regime of Lake Lanao (Philippines) and its theoretical implications for tropical lakes. *Limnology & Oceanography* 18: 200-217.

Lewis, W.M. 1986. Phytoplankton sucession in Lake Valencia, Venezuela. *Hydrobiologia* 138: 189-203.

Likens, G.E. 1998. Limitations to intellectual progress in ecosystem science. En: Pace, M.L., P.M. Groffman (Eds.). *Successes, limitations, and frontiers in Ecosystem Science*. Springer Verlag, Nueva York.

McDonnell, M.J. & S.T.A. Pickett (eds.). 1993. *Humans as components of ecosystems*. Springer Verlag, Nueva York.

Sarvala, J., K. Salonen, M. Jaervinen, E. Aro, T. Huttula, P. Kotilaninen, H. Kurki, V. Langenberg, P. Manzini, A. Peltonen, P.D. Plisnier, I. Vuorinene, H. Moelsae y O.V. Lindqvist. 1999. Trophic structure of Lake Tanganyika: carbon flows in the pelagic food web. *Hydrobiologia* 407: 149-173.

Stronge, K.M., R.V. Smith y D. Lennox. 1998. Predicting the spring algal biomass in Lough Neagh using time series analysis. *Freshwater Biology* 39: 593-600.

Swanson, F.J. y R.E. Sparks. 1990. Long-term ecological research and the invisible place. *BioScience* 40(7): 502-508

Symstad, A.J., F.S. Chapin III, D.H. Wall, K.L. Gross, L.R. Huenneke, G.G. Mittelbach, D.P.C. Peters y D. Tilman. 2003. Long-term and large-scale perspectives on the relationship between biodiversity and ecosystem functioning. *BioScience* 53(1): 89- 98

Talling, J.F. 1986. The seasonality of phytoplankton in African lakes. *Hydrobiologia*. 138: 139-160.

Talling, J.F. y J. Lemoalle. 1998. Ecological dynamics of tropical inland waters. *Cambridge*. 441 p.

Tilman, D. 1989. Ecological experiments: strengths and perceptual problems. pp. 136-157. En: Likens G. (ed.). *Long-term Studies in Ecology*. Springer-Verlag, Nueva York.

Wiens, J. 1997. Lengthy ecological studies. *TREE* 12: 499.

Figuras

Lago	Alchichica	Chapala	Cuitzeo	Pátzcuaro
Latitud (°N)	19° 24' a 19° 25'	20° 06' a 20° 18'	19° 53' a 20° 04'	19° 32' a 19° 42'
Longitud (°W)	97° 23' a 97° 24'	102° 42' a 103° 25'	100° 50' a 101° 19'	101° 32' a 101° 42'
Altitud (m s.n.m.)	2,350	1,524	1,820	2,035
Clima	Seco o árido BS1kw(i)w"	Templado semicálido subhúmedo (A)C(w _o) (w)	Templado subhúmedo (A)C(w _o) (w)b(i)g	Templado subhúmedo C _b (w ₂)(w)(e)g
Origen	Volcánico (maar)	Tectónico	Tectónico- Volcánico	Tectónico- Volcánico
Área superficial (km ²)	2.3	1,039	375	90
Profundidad (m)	62 máx. 40.9 prom.	7.5 máx.	2 máx.	9.4 máx.
Clasificación térmica	Monomíctico cálido	Polimíctico Cálido continuo	Polimíctico Cálido continuo	Polimíctico Cálido continuo
Salinidad (g L ⁻¹)	8.5	0	vaso E: 0 vaso W: 5	0
Iones dominantes	Na ⁺ > Mg ⁺⁺ Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻	Ca ⁺⁺ > Mg ⁺⁺ HCO ₃ ⁻ > CO ₃ ⁼	Na ⁺ > K ⁺ CO ₃ ⁼ > Cl ⁻	Mg ⁺⁺ > Ca ⁺⁺ HCO ₃ ⁻ > CO ₃ ⁼
Estado trófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Hipertrófico	Eutrófico

Tabla 1. Ubicación, clima y principales características limnológicas de los lagos mencionados en el texto.

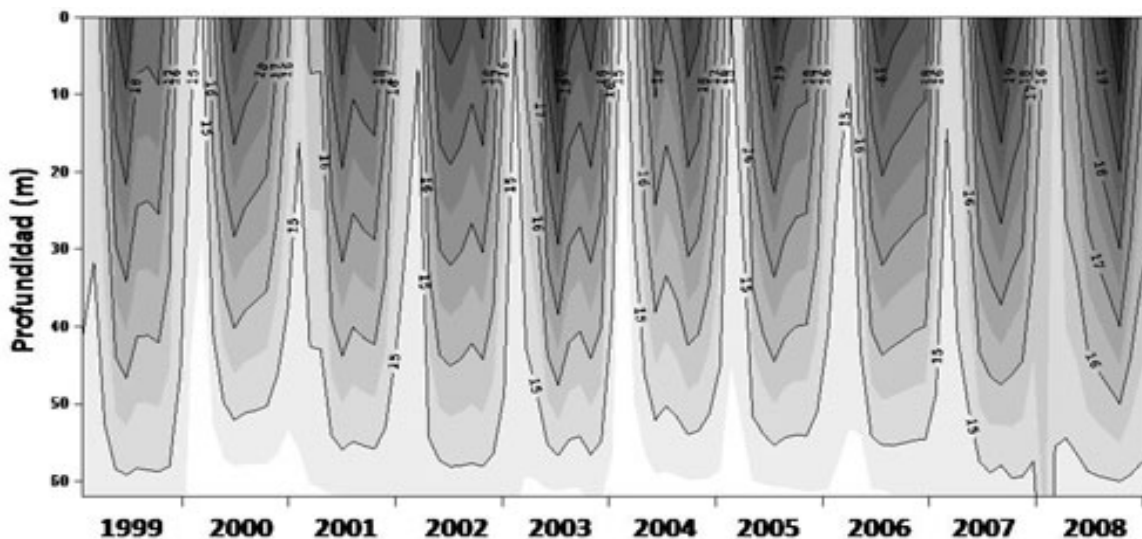


Fig. 1. Diagrama profundidad (z) - tiempo (años) de isotermas (°C) en el Lago Alchichica en el periodo 1999-2008.

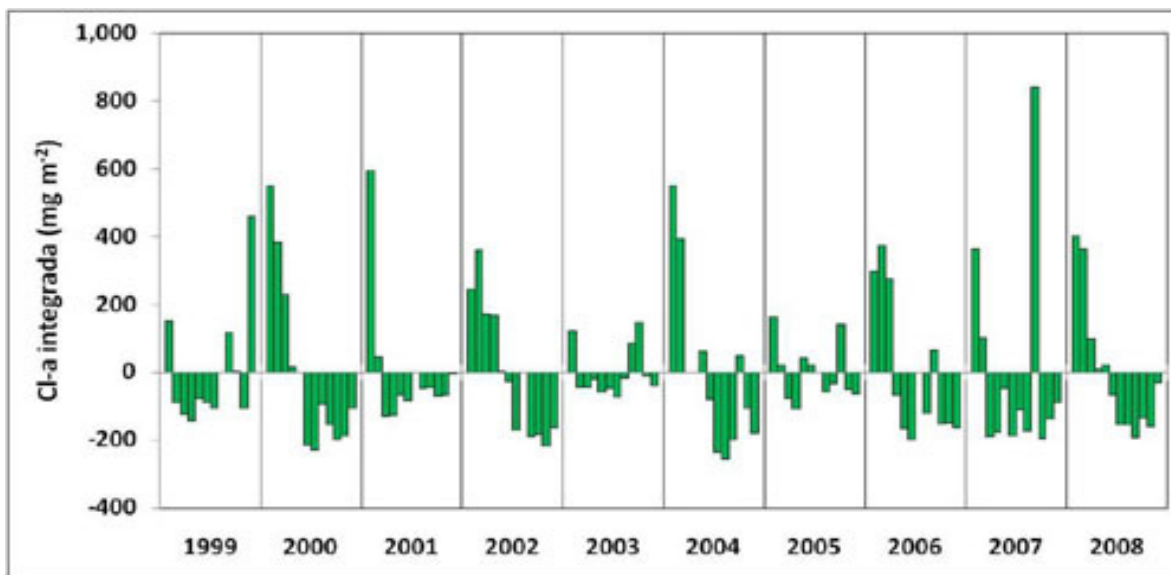


Fig. 2. Variación temporal de las anomalías en la concentración de clorofila a (Cl-a) integrada por unidad de área en el Lago Alchichica en el periodo 1999-2008.

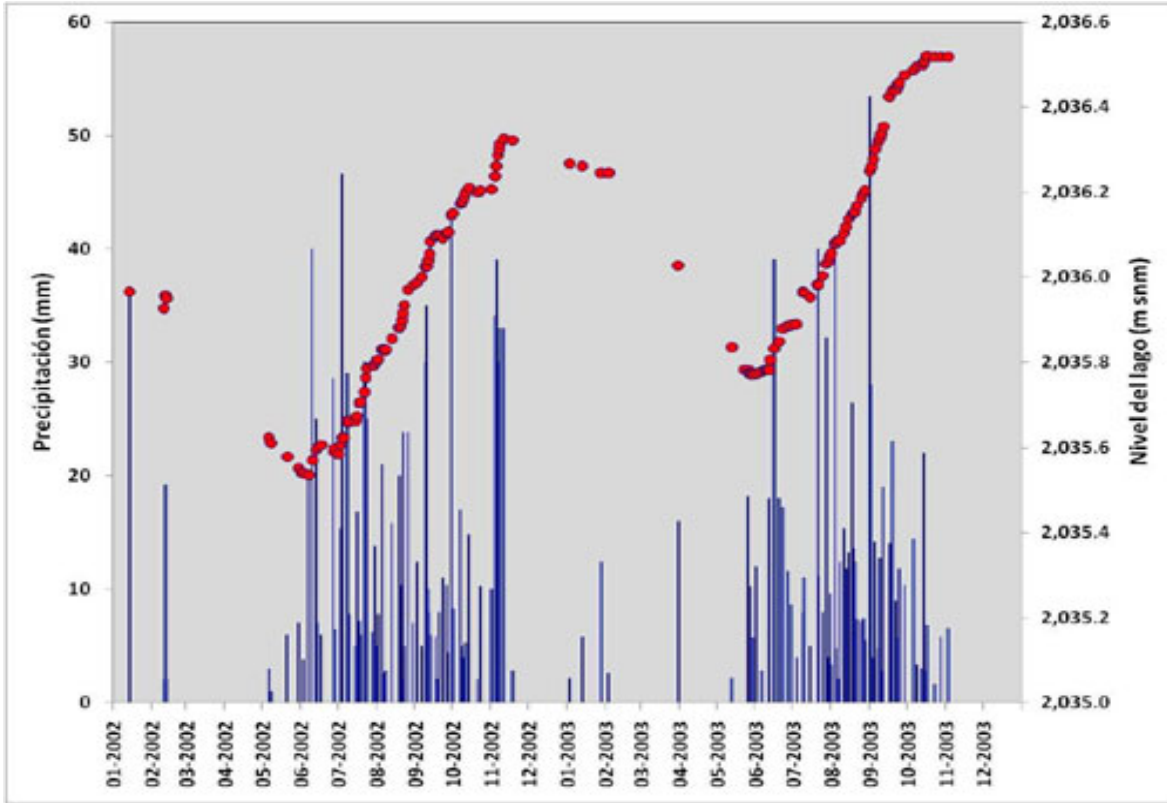


Figura 3. Eventos de precipitación (barras azules) vs. niveles del agua (círculos rojos) en el lago de Pátzcuaro durante los años 2002 y 2003. (<http://www.globe.gov>, datos aportados por el Centro Regional Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable, sede en Pátzcuaro).

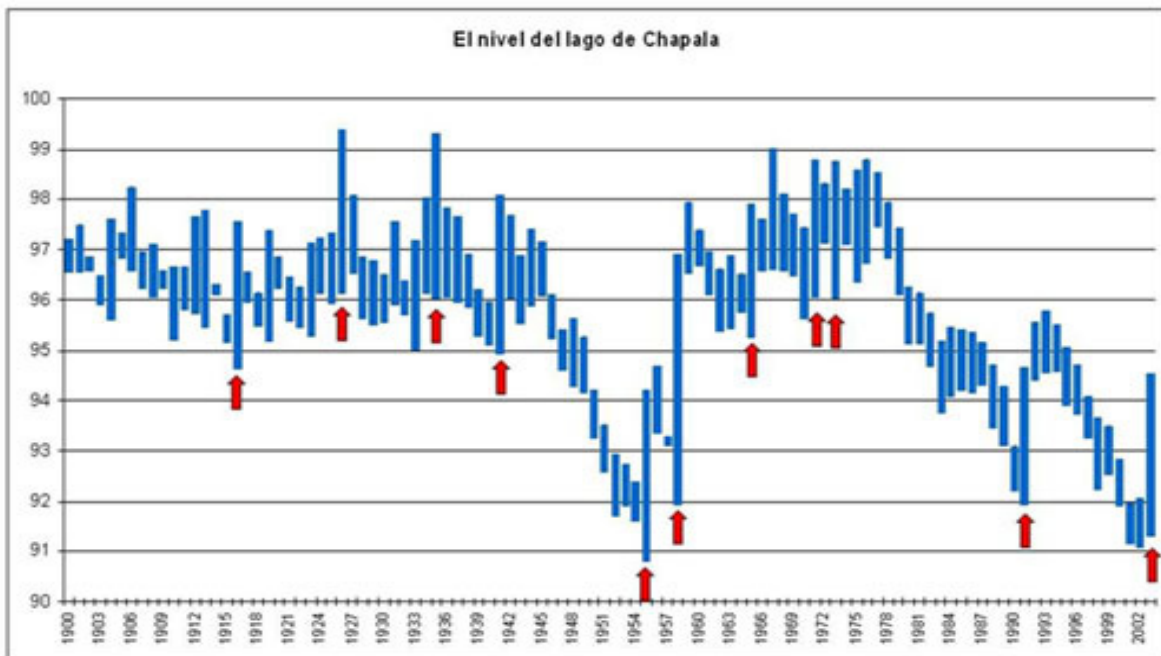


Fig. 4. Fluctuaciones de nivel de tres lagos del centro occidente de México (Chapala, Pátzcuaro y Cuitzeo). (Información tomada de: Proyecto Franco-Mexicano de Investigación 2002-2005 para Chapala, Coordinación de Dragado, Comisión de Pesca del Gobierno del Estado de Michoacán para Pátzcuaro y Comisión Nacional del Agua para Cuitzeo).

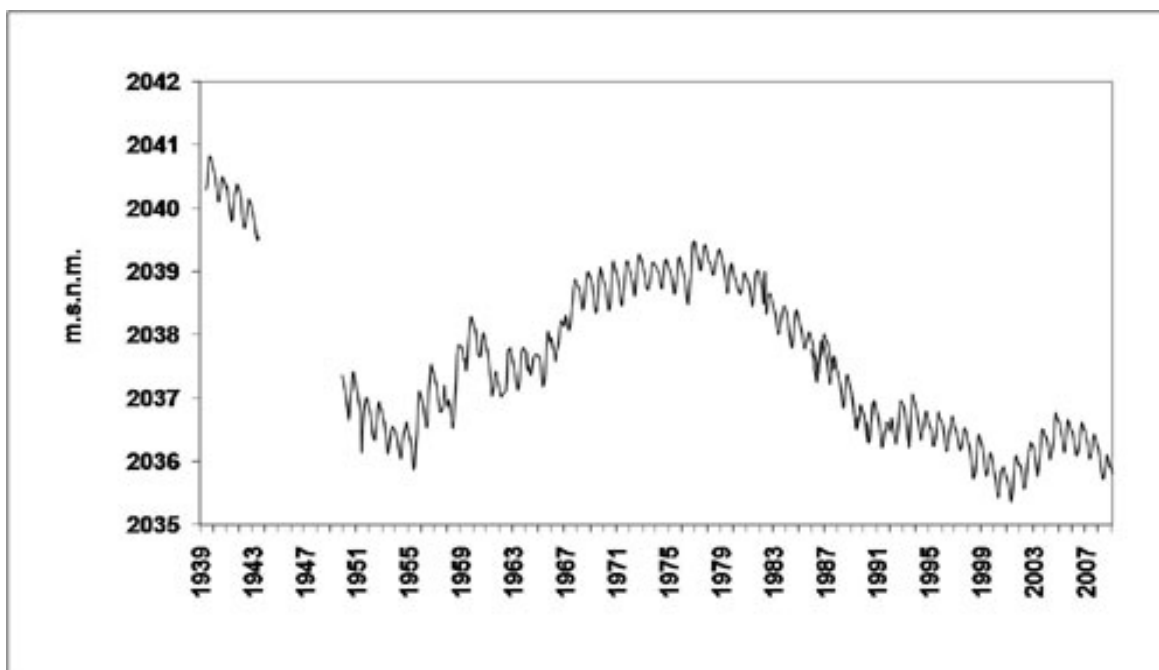


Fig. 4a. Fluctuaciones de nivel de tres lagos del centro occidente de México (Chapala, Pátzcuaro y Cuitzeo). (Información tomada de: Proyecto Franco-Mexicano de Investigación 2002-2005 para Chapala, Coordinación de Dragado, Comisión de Pesca del Gobierno del Estado de Michoacán para Pátzcuaro y Comisión Nacional del Agua para Cuitzeo).

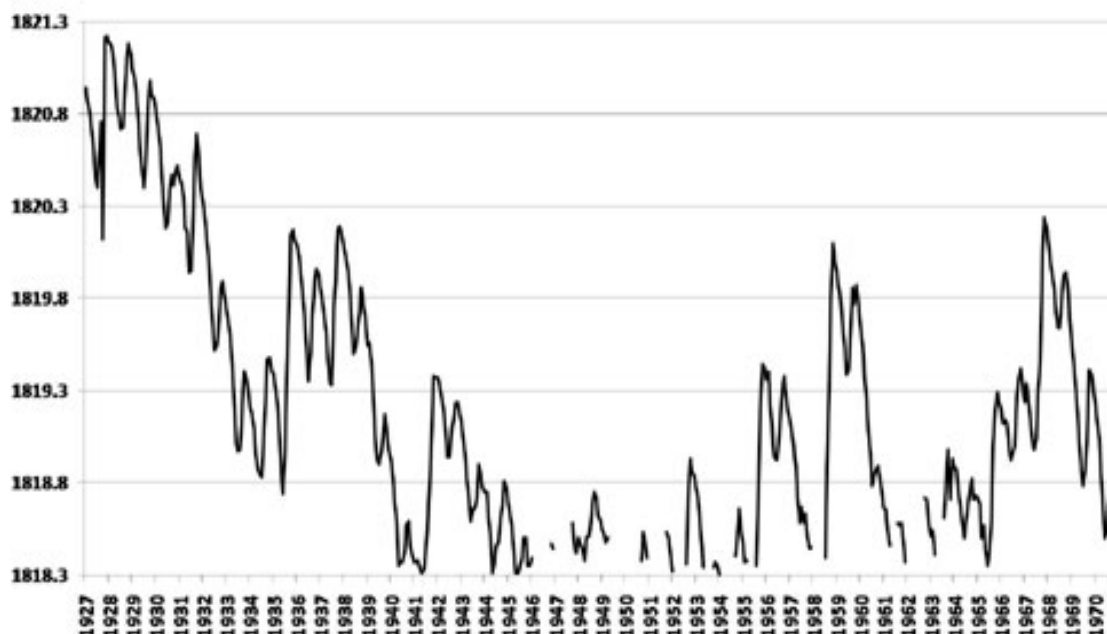


Fig. 4b. Fluctuaciones de nivel de tres lagos del centro occidente de México (Chapala, Pátzcuaro y Cuitzeo). (Información tomada de: Proyecto Franco-Mexicano de Investigación 2002-2005 para Chapala, Coordinación de Dragado, Comisión de Pesca del Gobierno del Estado de Michoacán para Pátzcuaro y Comisión Nacional del Agua para Cuitzeo).



Fig. 5. Isla San Pedrito en el lago de Pátzcuaro



Fig. 5. Isla San Pedrito en el lago de Pátzcuaro (condición a finales de los años 1930)



Fig. 5. Isla San Pedrito en el lago de Pátzcuaro (condición actual).