

# ESTUDIO DE CASO EN MEDIO AMBIENTE Y SALUD: LA CONTAMINACION DEL LAGO XOLOTLAN (MANAGUA), NICARAGUA

Salvador Montenegro<sup>11</sup>

## RESUMEN

*Se presenta una visión general del Lago Xolotlán (conocido también como Lago de Managua) y de las investigaciones realizadas sobre el mismo, por el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua. Se discute la situación de degradación avanzada del cuerpo de agua producto del deterioro de su cuenca hidrográfica y por la contaminación que recibe de fuentes tanto difusas como puntuales, consistentes en desechos agroquímicos, desechos municipales, aguas negras crudas, efluentes industriales, efluentes geotérmicos y otros. La característica endorreica de este lago y su tendencia de salinización natural, le confieren particular vulnerabilidad ante la contaminación, ya que tóxicos como metales pesados y plaguicidas, además de elevar su concentración, permanecen sin salida y son resuspendidos por la turbulencia. El Xolotlán actúa también como un distribuidor muy homogéneo de los gérmenes patógenos que recibe, lo que contribuye a su elevada peligrosidad. Se concluye que el Lago Xolotlán constituye un caso documentado de cómo la degradación ambiental se transforma en un "boomerang" de alto riesgo para la salud de la población.*

## INTRODUCCION

El Lago Xolotlán, cuya extensión es de 1.000 KM<sup>2</sup>, es el menor de los dos grandes lagos en el valle tectónico de Nicaragua. Su cuenca hidrográfica sextuplica el área de la superficie del lago, siendo las actividades humanas desarrolladas sobre la misma, la causa de los problemas de este lago.

La característica fisiográfica más notoria de este lago, es su poca profundidad en relación a su gran extensión. Además, un amplio espacio abierto de bajo relieve bordea la costa norte, permitiendo a los vientos soplar sin obstáculos. Estos vientos provocan turbulencia en la columna de agua, causando su mezcla total. Este fenómeno ocurre constantemente durante todo el año. La combinación de poca profundidad y acción de

vientos fuertes, hacen del Lago Xolotlán un ambiente lacustre muy peculiar.

La cuenca del Lago Xolotlán es endorreica, ya que usualmente mantiene un nivel de agua fluctuante por debajo de su nivel de descarga (40.5 msnm). Durante el presente siglo, el Xolotlán ha excedido esa cota en solamente tres cortos intervalos, todos asociados a períodos de lluvia copiosos. Posiblemente hay un flujo subterráneo pequeño, aunque de magnitud desconocida hacia el Lago Cocibolca (Lago de Nicaragua).

El gran espejo de agua es una eficiente puerta de salida del agua por evaporación, siendo ésta mucho mayor que los ingresos totales obtenidos por precipitación, resultando un balance negativo. Ello, unido a la ausencia de una salida superficial de agua, explica la tendencia al aumento en la salinidad que se observa en el Lago Xolotlán.

El agua del Lago es alcalina. Adicionalmente, la escorrentía procedente de la cuenca

<sup>11</sup> Director del Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua. Universidad Autónoma de Nicaragua. Apartado postal 4598.

fuertemente erosionada, aporta sales y agroquímicos. Mayor importancia tiene el aporte de contaminantes hecho por la Ciudad de Managua, con aproximadamente un millón doscientos mil habitantes, cuyas aguas negras son descargadas directamente en el Lago, sin ningún tratamiento. De igual forma, aguas residuales industriales de unas 300 pequeñas empresas, así como desechos del basurero municipal situado sobre la costa, ingresan sin control ni supervisión al lago.

## METODOLOGIA

El programa de investigación consistió en campañas de muestreo en el campo, análisis de las muestras en el laboratorio, procesamiento de los datos y preparación de reportes científicos. El programa de muestreos del primer año se llevó a cabo mensualmente en once estaciones (Fig. 2), para observar tendencias estacionales. Se hicieron también muestreos transeccionales para detectar posibles gradientes. Después del primer año, se realizaron muestreos en dos estaciones (1 y 7), del Lago. También se intensificaron los muestreos (diariamente), en cuatro períodos críticos del año: comienzo y finales de la estación seca y comienzo y finales de la estación de lluvias.

Además, se estudió la composición y las concentraciones de los contaminantes metálicos de mayor riesgo (mercurio y plomo), y de los quince plaguicidas organoclorados de mayor uso. También se ha investigado el arsénico dentro del Xolotlán. Cada uno de estos contaminantes ha sido investigado en los sedimentos, el agua y en el tejido vivo de peces. Se llevó a cabo un estudio de rastreo del *Vibrio cholerae* ambiental, tanto en aguas abiertas y el litoral, como en la periferia costera del Lago (perímetro de 200 Km aproximadamente). Durante la etapa de alarma pre-epidémica, se monitoreó las alcantarillas en rastreo del vibrión.

Las publicaciones producidas cubren un espectro muy amplio de temas, entre los que se encuentran estudios taxonómicos y de la interacción de las comunidades biológicas con variables ambientales, ecología del fitoplancton, zooplancton, zoobentos y el necton. Posteriormente, se incluyeron estudios de química y microbiología (aspectos sanitarios y actividad heterotrófica)

## RESULTADOS

### El Ecosistema

Los resultados generales sugieren una notable homogeneidad horizontal y vertical en el Lago Xolotlán, producida por la acción constante del viento. Las medias mensuales de la velocidad del viento para el lapso 1958-1991, medidas en la Estación Meteorológica del Aeropuerto Augusto César Sandino por INETER (12° 08'N y 86° 10'O), evidencian las elevadas fuerzas del viento que actúan sobre el Lago Xolotlán. Esas fuerzas mantienen el agua en movimiento, principalmente durante el periodo seco (Diciembre a Mayo), cuando se intensifica la velocidad del viento. En esa época se observan celdas de Langmuir de varios kilómetros de longitud que corren paralelas al eje de la dirección del viento (predominantemente del Este).

La poca profundidad del lago Xolotlán y el movimiento del agua producido por el viento, contribuyen a la suspensión repetida de los sedimentos. A partir de los 2 m de profundidad, predominan el lodo y la arcilla en los sedimentos (Swain, 1966; Pum, 1986). En consecuencia, los sedimentos son inestables y la turbidez del agua es alta (profundidad del disco de Secchi: 0.2-0.5 m). La inestabilidad de los sedimentos impide el establecimiento de una comunidad bentónica diversa y numerosa (Bijlmakers & Sobalvarro, 1988).

Otros efectos importantes del viento sobre el Lago Xolotlán incluyen: a) el aumento de la disponibilidad de nutrientes en la zona fótica; b) el pobre desarrollo de las macrofitas por la fuerte acción de las olas sobre la zona litoral y, c) la distribución homogénea del oxígeno en concentraciones usualmente altas en toda la columna de agua.

Este último efecto es de especial significancia para el Lago Xolotlán, debido a que su enorme carga orgánica demanda una elevada disponibilidad de oxígeno para la descomposición bacteriana de la materia orgánica.

Pudiera esperarse que el Lago Xolotlán fuera anóxico, sin embargo, siempre se observaron altas concentraciones de oxígeno

en todas las estaciones de muestreo. Por ejemplo, la DQO promedio de 8 estaciones de muestreo, frente a la ciudad de Managua (Enero de 1989), fue 159.6 mg O<sub>2</sub>/l. Sin embargo, la concentración media de oxígeno disuelto fue 8.15 mg/l a 29.8 °C (110% de saturación). La evidencia que el oxígeno producido por la actividad fotosintética no basta para satisfacer la alta demanda, se obtiene de las mediciones de oxígeno disuelto en días de calma. Apenas algunas horas de calma de viento pueden producir anoxia severa en este Lago. De hecho, muchos peces muertos se observan en tales oportunidades.

El lago es polimíctico cálido. Sin embargo, el área frente a la ciudad de Managua es diferente. El Lago se mezcla al menos una vez al día, incluso en días de poco viento y aumenta la frecuencia de mezcla a medida que aumenta la fuerza eólica.

El fitoplancton está formado por 122 especies. Las algas se encuentran homogéneamente distribuidas en todo el Lago, aunque la biomasa media anual es más alta (13.32 ± 6.87 mg/l peso fresco), donde la influencia antropogénica es más directa (frente a la ciudad de Managua) que en otras localidades (8.26 ± 2.9 mg/l peso fresco). La biomasa más alta se observó en los meses secos. Las Cianofitas constituyen la mayor parte de la biomasa durante gran parte del año. Ocasionalmente la biomasa de Diatomeas sobrepasa a la de las algas verdiazules. Las Clorofitas son menos abundantes, pero es el grupo más diverso.

La producción primaria es alta y constante en el espacio y en el tiempo. Las mediciones de Erikson et al (1990), dieron una producción bruta diaria de 18-19 g O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> (4-6 gC/m<sup>2</sup>/d). Por lo tanto, el Lago Xolotlán se encuentra entre los más productivos del mundo. El estado hipertrófico del Lago se evidencia también a través del alto valor de la clorofila-a (79 ug/l promedio anual) y del contenido de P-total (22-201 ug/l). La respiración total promedio 4.9 gC/m<sup>2</sup>/d en el punto 7. Las concentraciones de bacterias heterotróficas en el Lago se encuentran entre los valores más altos reportados en la literatura (20-25 x 10<sup>6</sup>/ml). La producción bacterial medida por incorporación de timidina (3H) es también muy alta (35-140 pmol).

Hay 20 especies en el zooplancton. La biomasa de copepodos es más alta que la de otros grupos (80.8%). Los rotíferos son más abundantes en zonas de entrada de aguas servidas, donde las partículas orgánicas son abundantes. Los cladoceros se encuentran siempre en bajas densidades. La depredación por los peces planctívoros (Cisneros et al, 1990), probablemente los controla. La biomasa máxima (peso seco) se alcanza durante la estación seca, cuando la biomasa de fitoplancton es también máxima.

El zoobentos está representado por 74 especies en la zona litoral, donde dominan los *Chironomidae*. Hay solo 3 especies que viven en la zona profunda, donde 312 mg/m<sup>2</sup> corresponden a biomasa de *Oligochaeta*.

## Efectos de la Contaminación

Las sustancias tóxicas, sean de origen agrícola o industrial que llegan al Xolotlán, tienden a aumentar en concentración a medida que el tiempo pasa, ya que las aguas no tienen otra salida que la evaporación, que deja atrás los solutos y causa salinización progresiva. La vulnerabilidad de éste ecosistema es por ello aún mayor cuanto más grande es el ingreso de éstas sustancias. Además, los tóxicos más preocupantes son también activos indefinidamente, como es el caso de metales pesados y plaguicidas organoclorados.

La contaminación por mercurio es preocupante. Las concentraciones de mercurio total en los sedimentos son similares a las reportadas en países industrializados (0.62 ± 0.46 ugHg/g). Los peces comestibles muestran niveles peligrosos para el consumo humano (0.63 ± 0.22 ugHg/g). El arsénico presente en el Xolotlán se encuentra asociado a la actividad volcánica, aunque ha sido incrementado por la acción humana a través del efluente de la Planta Geotérmica, que descarga directamente en aguas del Xolotlán. La concentración de arsénico en el agua cerca del punto de descarga se determinó en 16,700 ug/l. En el resto del lago se encontró entre 10.23 y 30.13 ug/l. En los sedimentos y en los peces, las concentraciones fueron mucho menores (5.37-8.65 ug/g), lo que no significa que sea despreciable el riesgo (Lacayo et al, 1992).

Respecto al trabajo de investigación sobre plaguicidas, se buscó once organoclorados en total, encontrando que en dos de las especies de peces más popularmente consumidas (*Sarotherodon mossambicus* y *Cichlasoma managuense*), toxafeno estuvo presente en 80% de los especímenes y en todas las muestras de sedimentos. El DDT y sus metabolitos DDE o DDD también fueron una constante en todas las muestras, aunque en bajas concentraciones (Calero et al, 1992).

Durante el período comprendido de Abril de 1991 y Febrero de 1992, se realizó en 23 puntos del lago Xolotlán determinación del Cólera. El total de cepas estudiadas fue de 900, habiéndose aislado: 36 Cepas rugosas de *Vibrio cholerae*, 400 Cepas de *Vibrio cholerae* y No. O1 y no hubo aislamiento de *V. cholerae* en 424 muestras.

Densidades máximas de bacterias coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales fueron encontradas entre las estaciones 2 y 9, en el sector receptor de efluentes pluviales, domésticos e industriales sin tratamiento. Densidades más bajas se encontraron en las estaciones más alejadas de la zona urbanizada de la Ciudad de Managua, no haciéndola apta para baño, recreación ni pesca.

Además, se investigó la presencia del Cólera en 1624 pescados de diferentes especies comestibles, en los que se estudió 462 cepas. Se aisló 85 cepas rugosas de *Vibrio Cholerae*, 7 cepas de *Vibrio Cholerae* No. O1 y 370 de otros aislamientos.

## CONCLUSIONES

La situación ecológica deteriorada del Lago Xolotlán constituye un peligro para la salud de la población de Managua. La actividad de duración indefinida de muchos de los contaminantes de alta peligrosidad que ha recibido, le convierte en una bomba de tiempo con acción silenciosa. La aparición del *Vibrio cholerae* en sus aguas, agrega una nueva dimensión al riesgo del contacto, aunque existen otros gérmenes patógenos de igual peligro. Su proximidad a los reservorios de agua potable y sus posibles efectos sobre las aguas subterráneas, interfiere con las posibilidades

de explotación de estos reservorios como es el caso del lago cratérico de Asososca, fuente principal de abasto de agua potable para la Capital, ahora bajo riesgo de contaminación por inversión del gradiente del agua subterránea.

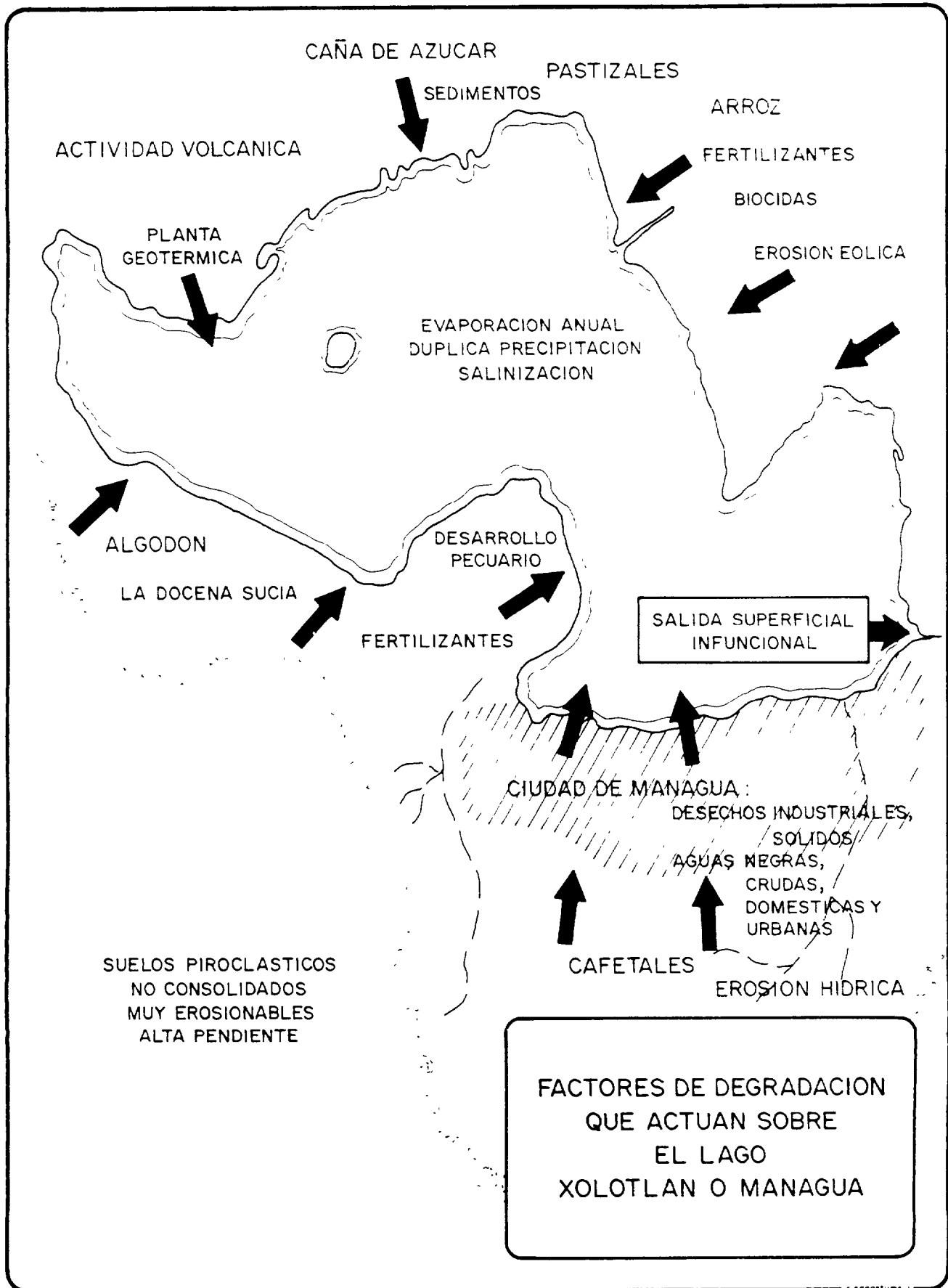
Esto ilustra la paradoja del agua en Nicaragua, donde escasea el agua de buena calidad, a pesar de la gran variedad de cuerpos de agua dispersos a través de todo el país.

Ahora más que nunca, resulta necesario que las medidas correctivas que se ha concebido implementar para resolver los problemas que afectan al Lago Xolotlán y que arriesgan la salud de la población, empiecen a aplicarse.

## REFERENCIAS

- Byjlmakers, L., & Sovalbarro, I. Ecological studies on the profundal benthic invertebrate fauna of Lake Managua, Nicaragua. *Tropical Freshw. Biol.* 1(1), 1988. 30-41.
- Cisneros, P. & Mangas, E. Zooplankton studies in a tropical lake (L. Xolotlán, Nicaragua). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 1991. 24: 1167-1170.
- Cole, G. A. Limnology of the Great Lakes of Nicaragua. In Thorson, T.B. (Ed.): *Investigations of the Ichthyofauna of Nicaraguan Lakes*, 9-15. School of Life Sciences, Univ. of Nebraska-Lincoln, 1976.
- Erikson, R., Hooker, E., & Mejía, M. The dynamics of photosynthetic activity in Lake Xolotlán. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 1991. 24:1163-1166.
- Hooker, E., Hernández, S., Chow, N., & Vargas, L. Phytoplankton studies in a tropical lake (Lake Xolotlán, Nicaragua) *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 1991. 24:1163-1166.
- Infante, A. Annual variations in abundance of zooplankton in Lake Valencia (Venezuela). *Arch. Hydrobiol.*, 1982. 93:194-208.

- Infante, A., & Montenegro, S. Lago de Managua (Nicaragua) y Lago de Valencia (Venezuela): comparación de dos lagos tropicales altamente intervenidos. In: Water Resources Management and Protection in Tropical Climates. Quezada, Gutiérrez & Landner (Eds), 1990. 169-175.
- IRENA. Informe final del Taller Internacional de Salvamento y Aprovechamiento Integral del Lago de Managua, 1982. 2 vol., 131pp.
- J.R.M. (Alcaldía de Managua). Informe del Seminario Nacional: Salvación del Lago de Managua, 1982. 46 pp.
- Lacayo, M., Cruz, A., Lacayo, J. & Fomsgaard, I. Mercury contamination in Lake Xolotlán (Nicaragua). Verh. Internat. Verein. Limnol, 1991. 24:1174-1177.
- Montenegro Guillén, S. Limnology of Lake Xolotlán, Nicaragua: An Overview. Verh. Internat. Verein. Limnol, 1991. 24:1155-1157.
- PUM, M. Análisis Granulométrico del Sedimento del Lago Xolotlán. IRENA unpublished report, 1986 9p.
- SWAIN, F. M. Bottom sediments of Lake Nicaragua and Lake Managua, Western Nicaragua. J. Sed. Petrol, 1966 36(2): 522-540.
- Vammen, K., Erikson, R., Vargas, M. & Bell, R. Heterotrophic activity and bacterial growth in a tropical lake (Lake Xolotlán, Managua, Nicaragua). 1991. Verh. Internat. Verein. Limnol. 24:1171-1173.



534-

5343



Organización Panamericana de la Salud (OPS)  
Organización Mundial de la Salud (OMS)



AGUA • SALUD • DESARROLLO • LA MUJER Y EL MEDIO AMBIENTE • EL TRABAJO

PRIMERA CONFERENCIA CENTROAMERICANA SOBRE  
**ECOLOGIA Y SALUD**  
SAN SALVADOR EL SALVADOR • 1-3 DE SEPTIEMBRE • 1992

## MEMORIA

