

PRIMEROS RESULTADOS SOBRE LA EVALUACION DEL IMPACTO ANTROPICO SOBRE EL LAGO DE MANAGUA, NICARAGUA

Víctor Martínez¹, Julio Lacayo¹, Silvia Hernández¹, Maximina Altamirano¹ y Joan-Albert Sanchez-Cabeza²

¹Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua.

²Departamento de Física, Universidad Autónoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, España.

RESUMEN.

El Lago de Managua (Xolotlán) ha recibido durante su historia reciente vertidos de contaminantes procedentes de muy diversas fuentes, incluyendo residuos sólidos urbanos y aguas urbanas residuales sin, o con poca, depuración, vertidos de residuos industriales, aguas contaminadas por actividades agropecuarias, etc. Los sedimentos lacustres y marinos han sido ampliamente utilizados como registros cronológicos de procesos ambientales en el pasado. En particular, los sedimentos pueden ser utilizados como útiles herramientas para estudiar la evolución de los ecosistemas que se encuentran bajo la presión del hombre. El objetivo de este trabajo es evaluar el potencial de los sedimentos del Lago de Managua, como registro histórico del impacto del hombre sobre el mismo. Para ello, se han analizado hasta 17 testigos sedimentarios del lago, de los cuales se ha obtenido la geocronología reciente de 13. Ello ha permitido conocer los procesos de sedimentación reciente (durante los últimos 200 años) en el mismo. La máxima tasa de sedimentación se ha observado en una zona próxima a la ciudad de Managua y en el centro del lago.

El registro de metales pesados en 4 de los testigos analizados hasta el momento han permitido determinar la evolución histórica de la contaminación del lago en periodos comprendidos durante los últimos 2 siglos, dependiendo de los ritmos de sedimentación observados. Se ha observado el incremento generalizado de la contaminación por todos los metales pesados analizados. En particular, se describe la evolución de la contaminación producida por el mercurio vertido por ELPESA, industria electroquímica productora de sosa cáustica y compuestos clorados, en la ciudad de Managua. Por otra parte, el registro de diatomeas observado ha permitido establecer, de forma preliminar, la aparición de procesos de eutrofización en el lago.

INTRODUCCION.

El Lago de Managua está localizado en una fosa tectónica entre la vertiente del Atlántico y del Pacífico; es parte de una cuenca endorreica, poco profundo, con una superficie de 1016 km²; la cuenca del lago incluyendo el espejo de agua, abarca una extensión de 6 600 km² en su mayoría de tierras dedicadas a la agricultura. Dada la inclinación de las pendientes y de la fragilidad de los suelos, la actividad erosiva es intensa, sobre todo en las áreas donde la vegetación original ha sido sustituida por cultivos anuales dispersos.

El lago se caracteriza por una alta salinización natural y en vías de eutrofización originada por la actividad antrópica, específicamente por el aporte de desechos de origen humano e industriales. La actual situación ecológica del Lago de Managua (Xolotlán) representa un gran riesgo para los ciudadanos de Managua (Montenegro, 1991). La proximidad del lago a los reservorios de agua de consumo y su posible efecto sobre las aguas subterráneas constituyen un alto potencial de

contaminación. Las aguas mismas de este lago no son adecuadas para consumo humano, ni aptas para irrigación. Por esta razón, el Gobierno de Nicaragua ha dado una gran prioridad para la restauración de las condiciones ecológicas naturales o salvación del lago; que tendría implicaciones significativas en aspectos socio-económicos en áreas cercanas a este cuerpo de agua.

Este estudio contribuirá a comprender las transformaciones y procesos ocurridos sobre el Lago de Managua, para permitir por comparación con la situación actual, establecer la magnitud de los cambios. El período de tiempo a estudiar son aproximados a los últimos doscientos años.

Este trabajo hace uso de indicadores directos e indirectos de contaminación; entre los primeros figuran los metales pesados y los segundos, diatomeas; indicadores que se encuentran registrados en los sedimentos de este lago.

En este Proyecto se han empleado técnicas nucleares para realizar el control cronológico, específicamente se ha analizado Pb-210; junto con otros métodos, se ha derivado información sobre la tasa de sedimentación y la descarga de sedimentos con metales pesados.

La finalidad principal este estudio es evaluar la evolución histórica de la contaminación antrópica y su efecto en la flora y fauna del ecosistema del lago. La evaluación cronológica de los resultados se basa aplicando, tanto la ley del decaimiento radiactivo del Pb-210, como del modelo CRS (Constant Rate of ²¹⁰Pb Supply; Appleby and Oldfield, 1978).

La ley del decaimiento radiactivo de cualquier isótopo se rige por la formula siguiente :

$$A = A(o) \exp (-\lambda t)$$

en donde

A = ²¹⁰Pb en exceso próximo a la capa de edad t,

λ = Constante de desintegración radiactiva del ²¹⁰Pb,

A(o)= Inventario de ²¹⁰Pb en exceso de toda la columna de sedimento.

Una de las más favorables aplicaciones del ²¹⁰Pb ha sido para realizar fechamientos de sedimentos de los lagos. Razones de sus buenos resultados en este contexto, entre otras son: las zonas deposicionales en los lagos son a menudo medios ambientales de baja energía, con orden secuenciales de los sedimentos; los lagos son sistemas relativamente cerrados y más aptos para modelajes y las tasas de sedimentación caen frecuentemente en un rango, el cual es apropiado para el fechamiento con ²¹⁰Pb - no tan lento, ya que en este caso el perfil es seriamente perturbado por procesos de mezcla post-deposicional y - no tan rápido, debido a que en este caso, el aporte atmosférico es diluido a un nivel insignificante (Appleby, P. G., 1994).

MATERIALES Y METODOS.

Para la ejecución de este estudio fue necesario la captación de perfiles de sedimentos, con la finalidad de observar la contaminación por metales pesados, la biodiversidad de diatomeas y la tasa de sedimentación en ciertos puntos del lago. Se realizaron dos campañas de muestreo, una en Junio de 1995 y otra en Junio de 1997, en total se captaron 17 perfiles de sedimento, en diferentes puntos del Lago de Managua (Fig. 1), de los cuales 13 de ellos se analizaron cronológicamente y solamente 4 fueron descritos, desde el punto de vista de la contaminación por metales pesados y la presencia de diatomeas bioindicadoras de eutrofización. Estos perfiles fueron tomados usando, en la primera campaña un Core Wildco con tubos de PVC transparentes de longitud de 45 cm y un diámetro interno de 4.6 cm; en la segunda campaña se empleó un Core UWITEC con tubos de PVC transparentes de longitud de 75 cm y un diámetro interno de 9

cm. Estos perfiles fueron seccionados cm a cm, usando aros de acetato con diámetros

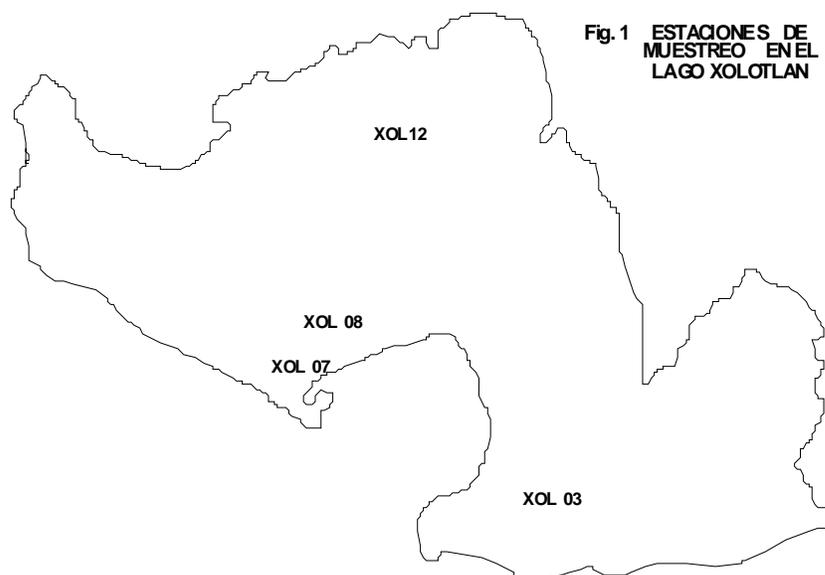
internos de 4.2 cm, para los perfiles de la primera campaña y 8.6 cm, para los perfiles de la segunda campaña; la altura de los aros en ambos casos era de 1 cm.

La determinación de ^{210}Pb fue hecha por medio del análisis de ^{210}Po , un isótopo que se encuentra en equilibrio radiactivo con el ^{210}Pb en los sedimentos. En relación con otras técnicas, el análisis de ^{210}Po tiene la ventaja de muy alta exactitud y el empleo de cantidades pequeñas de muestra. Las muestras seccionadas cm a cm fueron lixiviadas utilizando, aproximadamente entre 0.5 y 1 g, agregándole una mezcla de HCl y HNO_3 concentrados (1:1). Las químico-deposiciones se hicieron sobre discos de plata usando como trazador, ^{209}Po , el cual se emplea también como un trazador interno.

Las mediciones de radioactividad fueron hechas utilizando un espectrómetro alfa, marca Canberra (Quad Alpha Spectrometer, Modelo 7404) acoplado a un Mixer/Route, marca Canberra, modelo 1520. Los espectros resultantes de las mediciones fueron recopilados y cuantificados por medio de un programa (AlphaWorks).

Los metales pesados analizados fueron los siguientes: Hg, Pb, Cu, Cr y Zn; éstos fueron analizados, hasta el momento en ciertos perfiles (XOL03, XOL07, XOL08 y XOL12); se usó un Espectrofotometro de Absorción Atómica, VARIAN, Spectra AA-20 con Horno de Grafito (VARIAN GTA-96) y Generador de Hidruro (VARIAN VGA-76).

El recuento de diatomeas se hizo utilizando un microscopio compuesto de 5 objetivos, Laborlux D, Leitz.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Tanto los resultados de los análisis de Pb-210 como de las dataciones se presentan en las Tablas No. 1 y 2. En la discusión en sí, se expondrán los resultados de los análisis para cada perfil de sedimento, realizando sus interpretaciones de los parámetros indicadores de contaminación.

Tabla No. 1. Resultados de los Análisis con Pb-210.

Código	Columna de agua (m)	Potencia (cm)	Ra-226 (Bq/kg)	excPb-210 sup. (Bq/kg)	excPb-210 sup. (Bq/m ²)	Inventario Pb-210 (Bq/ m ²)
XOL03	2.8	53	14.76 ± 0.62	33.14 ± 4.09	14.09 ± 1.74	1561.58 ± 98.93
XOL07	3.4	72	6.11 ± 0.46	40.19 ± 7.02	10.17 ± 1.78	267.27 ± 7.52
XOL08	6.7	53	8.21 ± 0.22	47.32 ± 8.92	22.30 ± 4.20	220.24 ± 6.85
XOL12	6.3	59	12.65 ± 0.23	30.32 ± 4.54	17.22 ± 2.58	324.27 ± 8.46

Tabla No. 2. Resultados del Fechamiento con Pb-210.

Código	Fecha de Muestreo	Flujo Pb-210 (Bq/ m ² *año)	Tasa de Sedimentac. (mm * año)	Tasa de sedimentac. (kg/m ² /año)	Prof. de mezcla (cm)
XOL03	/4/7/97/	47.88 ± 3.03	11.71 ± 0.18	1.73 ± 0.01	14.00
XOL07	/5/7/97/	8.19 ± 0.23	0.94 ± 0.05	0.13 ± 0.00	5.00
XOL08	/5/7/97/	6.75 ± 0.21	0.12 ± 0.01	0.74 ± 0.03	5.00
XOL12	/5/7/97/	9.94 ± 0.26	0.79 ± 0.08	0.23 ± 0.01	10.00

DISCUSIÓN.

Se enmarcará en el aspecto relacionado con el objetivo principal de este estudio; evaluar la evolución histórica de la contaminación antropogénica del Lago Xolotlán, en donde se relacionará el fechamiento con la descarga de algunos metales pesados en el lago y la existencia de ciertas especies de diatomeas, indicadoras de eutrofización de un cuerpo de agua; indicadores que se encuentran registrados en los sedimentos, los cuales actúan como depósitos de contaminantes.

El Lago de Managua, se adecua como un buen cuerpo de agua, para realizar estudios de registro histórico y de impacto antrópico.

Para su análisis cronológico fue empleado el modelo CRS (Constant Rate of ²¹⁰Pb Supply), un modelo de capa mezclada; el cual usa las masas acumulativas en lugar de la profundidad (Abril and García, 1991). Este modelo es el adecuado para la determinación de la edad de cada capa de un perfil de sedimento, cuando se va a estudiar su evolución y de algunos parámetros indicadores de contaminación, tales como los metales pesados y la existencia de ciertos bioindicadores de contaminación; durante los últimos 100 o 200 años.

El Lago de Managua es un cuerpo de agua bastante somero de acuerdo a las profundidades de las columnas de agua de las estaciones muestreadas, estas oscilan entre 1 m y 23.8 m. La potencia de los perfiles de sedimento varió entre los 320 mm y 770 mm; esto influenciado principalmente por la presencia de zonas no erosivas, es decir, de bajas tasa de sedimentación.

La evaluación de los resultados obtenidos se centrará en el estudio de las concentraciones de los elementos Hg, Pb, Cu, Cr y Zn; encontrados a lo largo de algunas columnas de sedimento, (XOL03, XOL07, XOL08 y XOL12), asociado a cada capa de sedimento, que tiene una edad estimada.

Las estimaciones en cuanto al comportamiento de los metales pesados, como factores de contaminación, se hará en base a los excesos de éstos con respecto a los niveles bases o naturales, considerados para otros lagos, los cuales son los siguientes :

Hg se basa en el valor determinado en el Lago Dufault, Canadá (Speyer, M. R., 1980), donde se encontró un promedio de 0.26 ppm y un rango entre 0.07 y 0.14 ppm;

Pb es a partir de valores determinados en los Lagos Articos del Canadá (Moore, J. W. 1979), con un promedio de 20.00 ppm y un rango entre 2.00 y 50.00 ppm;

Cu tiene como nivel natural promedio, 39.00 ppm en un rango de 7.00 a 62.20 ppm, encontrado en los Lagos Articos del Canadá (Moore, J. W., 1979);

Cr, su nivel natural se basa en el valor promedio determinado en el Lago Hurón de Canadá, 37.00 ppm en un rango de 26.00 a 60.00 ppm (Helz, G. R., 1976);

Zn, su nivel natural se basa en el valor promedio determinado en las costas continentales ubicadas al Sureste de los Estados Unidos, 6.00 ppm (Bothner, M. H., et al., 1980).

Perfil captado Frente a la Isla del Amor (XOL03): La ubicación de esta estación es en las cercanías, donde estaba asentada la industria electroquímica, ELPESA. La Figura 1 indica la concentración de los metales pesados analizados en función del fechamiento.

Los resultados en exceso de **Hg** a lo largo de esta columna son significativos y se inician a partir de 1969, fecha próxima al montaje de la industria electroquímica, ELPESA, que usaba al Hg como catalizador; hasta finales de 1992, donde se observa una pequeña disminución del contenido, asociado con el cierre de esta fábrica. A partir de 1969, el contenido de este metal sigue una misma tendencia, un pequeño incremento con respecto al nivel tomado como base, a lo largo de toda la columna de sedimento, entre 1975 y 1978 se nota un incremento, durante ese período se da una gran producción. Los resultados variaron en el rango entre 1.77 y 0.09 ppm; este rango es similar al medido en ciudades industrializadas; el nivel superior de este rango se encontró en el tercer trimestre de 1991. La presencia de este metal en la columna de agua ha influenciado bastante en la fauna peces, donde se ha detectado concentraciones promedios de 0.63 ± 0.22 ppm en la especie *Cichlasoma managuense* y 0.07 ± 0.14 en la especie *c. citrinellum*; también se encontró una concentración promedio de 5.03 ± 6.2 ppm en el cabello de pescadores artesanales y su familiares; por lo que se deduce que ha influido sobre la población (Lacayo, M. et al., 1991).

Los factores, además de ELPESA, que han influenciado en el alto contenido de Hg en esta zona son desechos producidos por las industrias de pinturas, plaguicidas, el uso mismo del Hg como catalizador, baterías y farmacéutica.

El **Pb** experimenta un leve ascenso con respecto al nivel base entre el tercer trimestre de 1969 y el tercer trimestre de 1974, en ese período es cuando se da el mayor desarrollo industrial en Managua; después su comportamiento es casi lineal, parecido al del Hg. La existencia de este metal es originado por desechos provenientes del almacenamiento de baterías de acumuladores, pigmentos, combustión de leña, de diesel y gasolina. El contenido de Pb en los suelos es muy alto, debido principalmente al Pb arrastrado de los suelos aledaños, que están cerca de carreteras, el Pb es depositado en los suelos proveniente de la combustión de gasolina con aditivos de Pb.

Los resultados obtenidos están en el rango comprendido entre 32.08 y 18.00 ppm. La presencia de este elemento en el cuerpo de agua, también ha dañado el equilibrio ecológico en la zona de estudio.

El **Cu** se manifiesta en exceso a lo largo de toda la columna de sedimento, los resultados encontrados se encuentran entre 135.77 y 100.67 ppm, siendo este rango muy fluctuante. Este elemento se origina en el lago por factores diferentes, entre ellos, la combustión de gasolina, diesel y leña, proviene también de partículas arrastradas de zonas, donde han ocurrido incendios forestales y de partículas volcánicas.

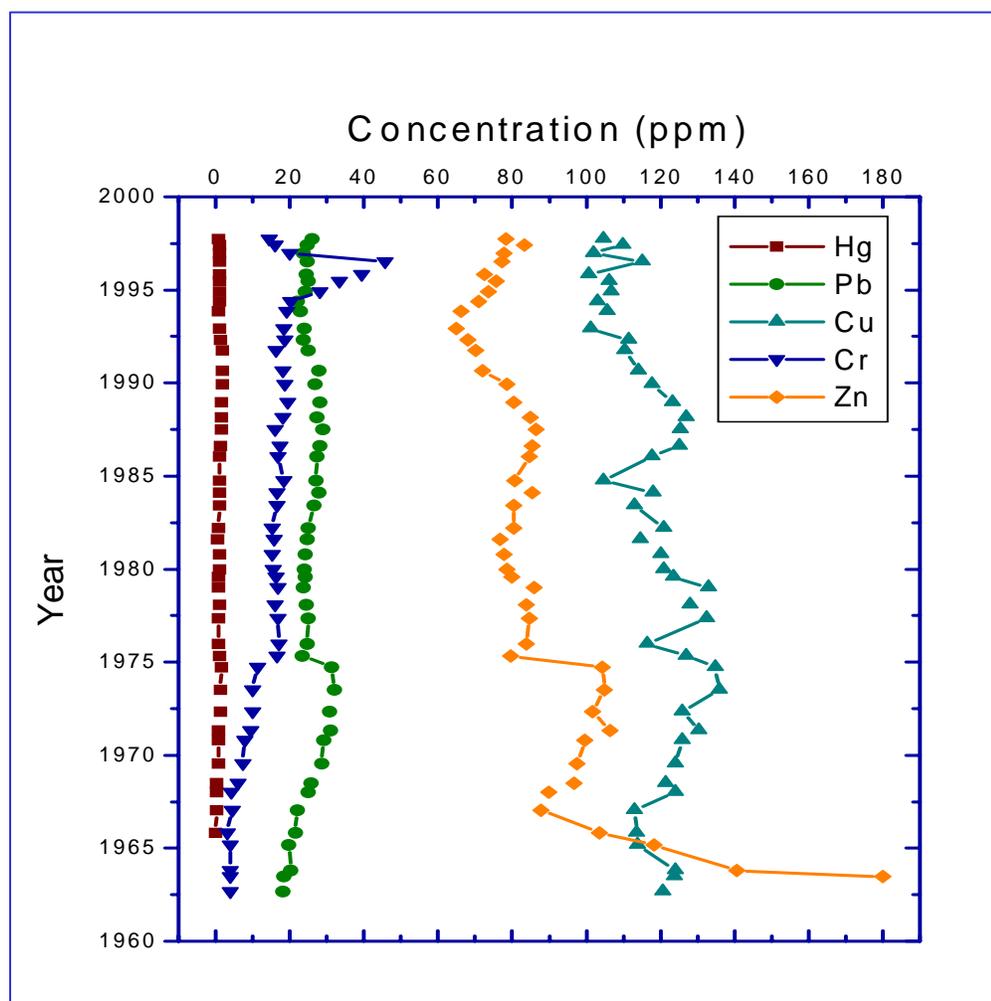


Figura 2. Perfil XOL03. Concentraciones de Metales Pesados en función de su Fechamiento.

El **Cr** se encuentra en la mayor parte del perfil, por debajo del nivel base sin; embargo, hay un ligero ascenso entre mediados de 1995 y mediados de 1996, asociado seguramente a un incremento de la actividad de las tenerías. Los resultados en este perfil de sedimento variaron entre 45.59 y 33.41 ppm, se manifiesta una fluctuación bien marcada a lo largo de todo el perfil. Su presencia se debe principalmente a la actividad de las tenerías ubicadas en el sector industrial.

Los niveles de **Zn** encontrado en este perfil de sedimento están muy por encima de los niveles promedio naturales determinados en las costas continentales ubicadas al Sureste de los Estados Unidos, 6.00 ppm (Bothner, M. H., et al., 1980). El rango determinado en el perfil oscila entre 180.00 y 65.00 ppm. Los tres últimos valores correspondientes a este perfil no son muy confiables, por razones analíticas, en cuanto a la cantidad de masa usada; sin considerar esos valores hay ligero incremento en el período comprendido entre la mitad del año 1968 y el tercer trimestre de 1974, comportamiento cronológico similar al del Pb.

Este metal se encuentra en este perfil, principalmente por la actividad relacionada con reenchaumamiento (Vulcanización); que es muy grande en la zona.

Perfil captado frente a las costas de la Ciudad de Mateare (XOL07): En la Figura 3 se manifiesta el contenido de los metales pesados en función del período de tiempo fechado.

El **Hg** experimenta un ligero ascenso con respecto al nivel base, a partir del primer trimestre del año 1986; existen en el perfil zonas, donde no se detectó este metal; entre 85 y 125 mm y también entre 195 y 245 mm. Es de esperarse que por el efecto de corrientes marinas haya sido arrastrado Hg de la zona correspondiente a la zona donde se captó el perfil XOL03 y que se haya venido acumulando a partir de la fecha anteriormente señalada. El rango analizado determinado oscila entre 0.32 y 0.02 ppm. Su comportamiento es casi lineal a lo largo de toda la columna de sedimento.

El contenido de **Pb** a lo largo de todo el perfil es parecido al nivel base natural, no se podría considerar que hay un aporte antrópico significativo; varía entre 22.12 y 0.33 ppm. En algunas secciones no se logró determinar este elemento (215, 235 y 245 mm). El incremento es notorio a lo largo de todo el perfil de una manera ligera.

Las concentraciones de **Cu** a lo largo de toda la columna de sedimento están por encima del nivel base considerado, encontrándose un nivel bien alto, a finales de 1968, con un valor de 118.61 ppm. Sus concentraciones fluctúan entre 118.61 y 46.14 ppm.

Todo el perfil de sedimento, en cuanto a la presencia de **Cr**, se encuentra por debajo del nivel natural considerado, es decir no hay aporte significativo al cuerpo de agua por parte del hombre.

Su comportamiento a lo largo de toda la columna de sedimento es lineal, muy semejante al del Hg. El rango de las concentraciones encontradas fluctúan entre 10.74 y 7.16 ppm, rango inferior al determinado en el punto XOL03.

Su presencia se debe principalmente a los desechos domésticos en donde han empleado sulfato de cobre para combatir poblaciones altas de algas.

El aporte de **Zn** a la columna de sedimento se incrementa desde la misma base, estando los resultados muy por encima de los niveles naturales propuestos. Se observa un incremento bien notorio a mediados de 1975, fecha donde se dió el mayor apogeo industrial en Managua, hasta 1997, parece darse una mayor acumulación de este elemento en este período y en este punto de muestreo. El intervalo determinado de las concentraciones de este elemento osciló entre 54.28 y 31.02 ppm.

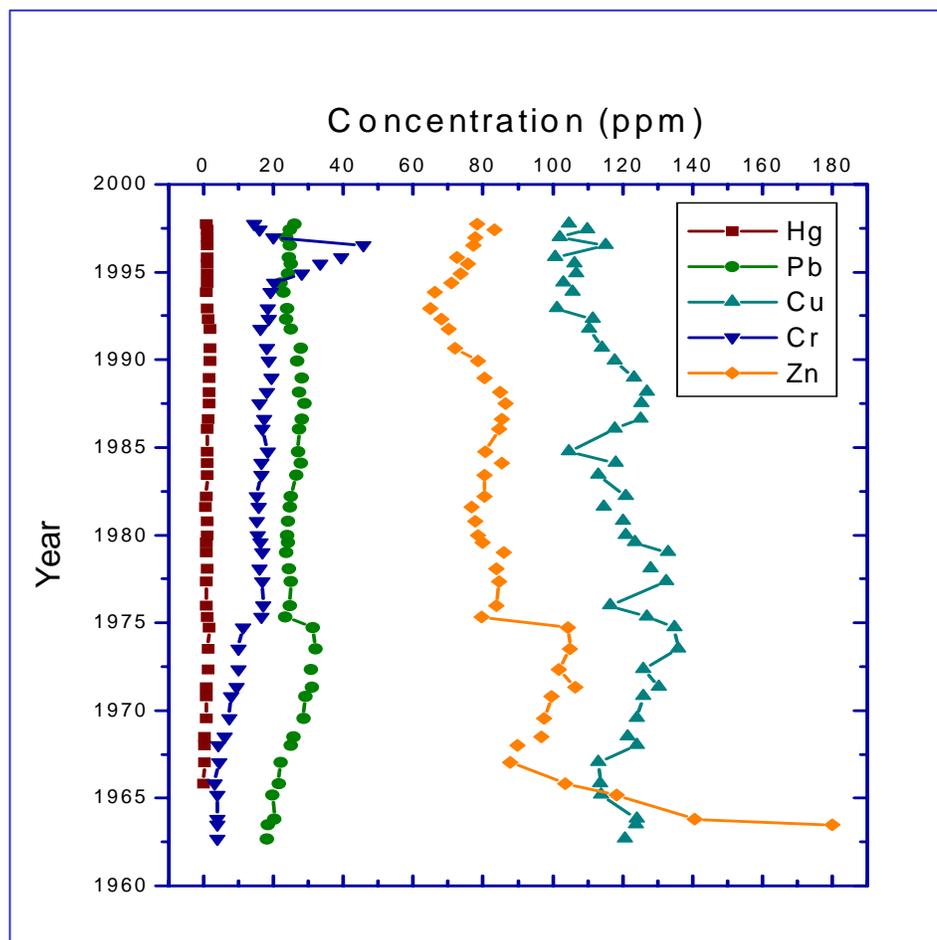


Figura 3. Perfil XOL07. Concentraciones de Metales Pesados en función de su fechamiento.

Perfil captado entre el Centro del Lago y las costas de la ciudad de Mateare (XOL08): En la Figura 4 se presenta la concentración de los metales pesados en función de la cronología determinada.

El **Hg** logró determinarse hasta la sección de 75 mm y los resultados en exceso de Hg a lo largo de esta columna de manera significativa comienzan a manifestarse a partir del primer trimestre de 1963 (55 mm) hasta el final del período fechado (1997). El nivel superior encontrado en este perfil es casi el doble (0.51 ppm) con referencia al nivel superior del punto anterior (XOL07); con respecto al perfil XOL03, este resultado es 3.5 veces menor. Se nota que por el efecto de las corrientes del fondo del lago hay un mayor arrastre y acumulación de este elemento hacia este sector, desde la zona de ELPESA, en comparación con los resultados encontrados en XOL07.

A partir del primer trimestre de 1963, el contenido de este metal sigue una misma tendencia, incremento leve, a lo largo de toda la columna de sedimento. El rango de concentración oscila entre 0.51 y 0.05 ppm.

El **Pb** sufre un decrecimiento entre 1712 y 1824, antes y después de este período se comporta de manera lineal; además experimenta un valor pico a mediados de 1978. Los resultados obtenidos se encuentran en el rango comprendido entre 13.30 y 3.21 ppm, valores inferiores con referencia a los encontrados en XOL03 y XOL07.

El **Cu** se manifiesta en exceso a lo largo de toda la columna de sedimento en forma lineal, apareciendo un primer incremento en el primer trimestre de 1963, un segundo incremento se da

entre mediados del 78 y el segundo trimestre de 1994. Los resultados encontrados oscilan entre 85.48 y 57.87 ppm, siendo este rango inferior al determinado en los puntos XOL03 y XOL07.

El **Cr** se encuentra en todo el perfil, por debajo del nivel base; sin embargo, hay un ligero incremento a partir del primer trimestre de 1712, no se conoce con exactitud la actividad del hombre en esa época y en esa zona. Los resultados encontrados en este perfil de sedimento variaron entre 13.78 y 0.49 ppm, rango muy por debajo del determinado en la estación XOL03 y muy parecido al determinado en XOL07; se manifiesta una tendencia casi lineal a lo largo de todo el perfil, antes y después del incremento, debido al material erosionado proveniente de zonas agrícolas, donde se han utilizados grandes cantidades de fertilizantes y a las actividades relacionadas con el preparado de cueros y de textilería.

Los niveles de **Zn** encontrado en este perfil de sedimento están muy por encima de los niveles promedio naturales determinados en las costas continentales ubicadas al Sureste de los Estados Unidos, 6.00 ppm (Bothner, M. H., et al., 1980). El rango en el perfil varía entre 66.60 y 29.81 ppm, rango muy parecido al determinado en XOL07 y muy inferior al del punto XOL03. Se encuentra un primer incremento en el primer trimer trimestre del año de 1712, igual que con el Cr; un segundo incremento se da a partir del año 1913 asta 1963 y un último ascenso se experimenta a partir de 1985 hasta 1997.

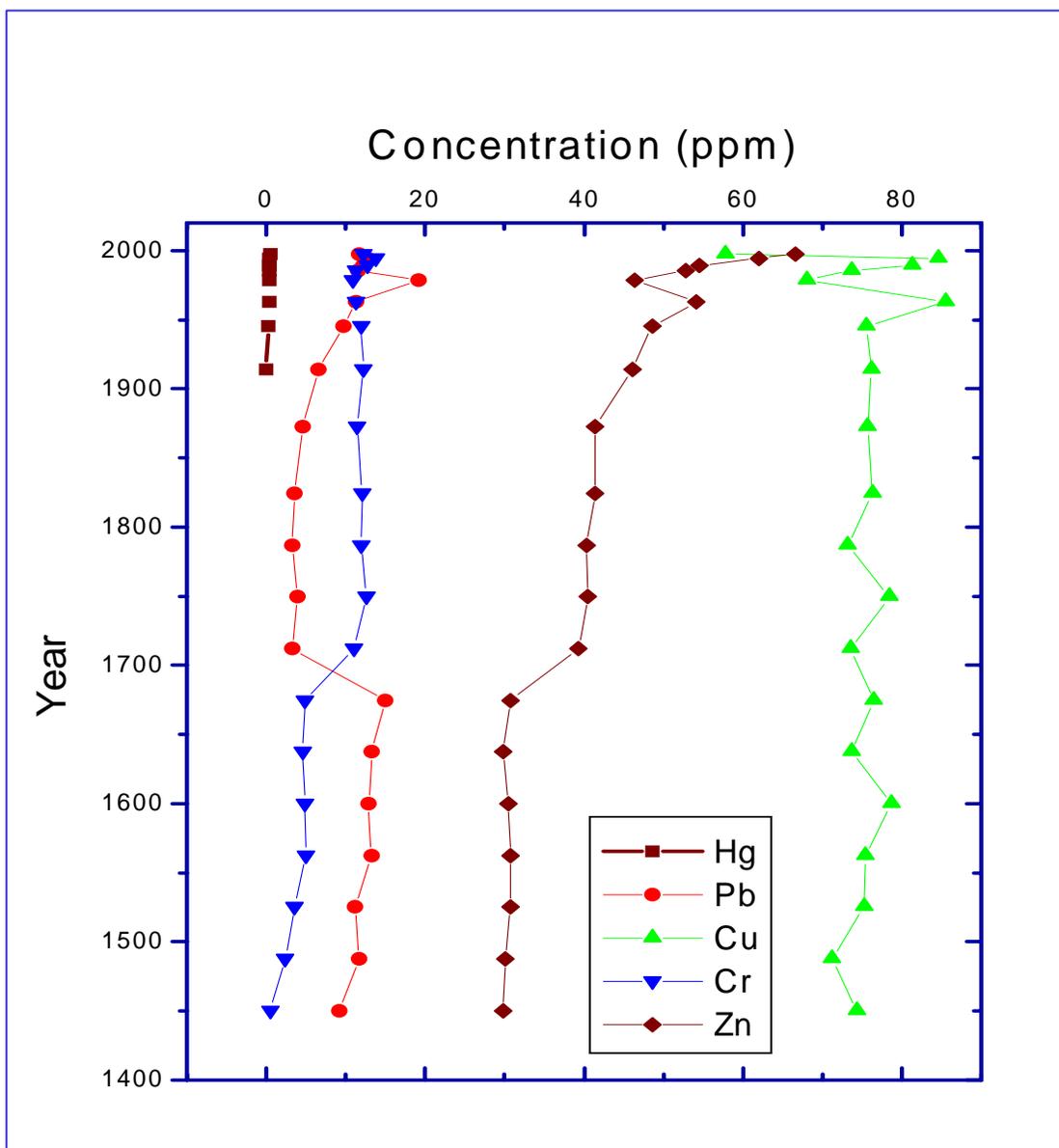


Figura 4. Perfil XOL08. Concentraciones de Metales Pesados en función de su fechamiento.

Perfil frente al Delta del río Viejo (XOL12): Esta columna de sedimento corresponde a la subcuenca del Norte. La Figura 5 indica el contenido de los metales pesados en función del período fechado.

El único valor de **Hg** por arriba del nivel base, se encuentra en el sedimento superficial de este perfil (0.41 ppm), a excepción del valor encontrado a los 135 mm; existen en el perfil zonas, donde no se detectó este metal; desde 115 mm hasta el fondo de la columna de sedimento. El rango analizado determinado oscila entre 0.41 y 0.04 ppm, rango muy semejante a los determinados en XOL07 y XOL08. A lo largo de toda la columna de sedimento su comportamiento es casi lineal, experimentando un ligero incremento desde la base del perfil hasta la superficie.

El contenido de **Pb** a lo largo de todo el perfil es parecido al nivel base natural, no hay un aporte antrópico significativo; varía entre 17.66 y 9.52 ppm. El comportamiento es casi lineal de una

manera ligera a lo largo de todo el perfil.

Las concentraciones de **Cu** a lo largo de toda la columna de sedimento están por encima del nivel base considerado, encontrándose una fluctuación con altibajos bien remarcados en las secciones finales del perfil (5 - 45 mm), iniciando a finales de 1986, con un valor de 152.83 ppm. Sus concentraciones fluctúan entre 152.83 y 69.44 ppm, este es el mayor rango encontrado en el lago. Los valores grande encontrados en este perfil, seguramente provienen de material arrastrado desde las zonas cafetaleras, donde se usan sales de Cu, para combatir la roya del café; además de materiales arrastrados provenientes de zonas agrícolas donde se ha venido empleando fertilizantes fosfatados. El Cu es transportado principalmente por río Viejo; los estuarios son consideradas zonas de deposición.

Todo el perfil de sedimento, en cuanto a la presencia de **Cr**, se encuentra por debajo del nivel natural considerado, es decir, no hay un aporte antrópico significativo al lago.

Su comportamiento a lo largo de toda la columna de sedimento experimenta un ligero incremento a partir de finales de 1904 hasta el primer trimestre de 1925; debido al material erosionado de zonas agrícolas, donde se ha usado bastante abonos fosfatados; además de actividades relacionadas con el tratamiento de cueros y actividades textiles. El rango de las concentraciones encontradas oscilan entre 31.65 y 5.69 ppm, rango un poco inferior al determinado en el punto XOL03; pero superior a los determinados en los puntos XOL07 y XOL08.

El aporte de **Zn** a la columna de sedimento se incrementa desde la misma base, estando los resultados muy por encima de los niveles naturales propuestos. Se observa un incremento bien notorio a partir del primer trimestre de 1934. En el período comprendido entre 1986 y 1997, se determinaron los mayores niveles de este metal; éstos están muy fluctuantes. El intervalo determinado de las concentraciones de este elemento osciló entre 66.50 y 33.08 ppm, intervalo bastante semejante al determinado en la estación XOL08.

Al relacionar los 4 perfiles con respecto al fechamiento y concentraciones de metales pesados, podría decirse que el punto base de la contaminación antrópica al Lago de Managua es el XOL03, ubicado en la cuenca Sur del lago, cercano a la zona industrial de Managua; donde fueron encontrados los mayores valores; exceptuando los valores de Cu, determinado en el punto XOL12; por lo tanto, esta sería considerada la estación de referencia. Al analizar los resultados hay que tomar en cuenta, cuando se da el inicio del mayor desarrollo técnico industrial en Managua, considerándose que fue a inicio de la década de los ´70; también hay que tomar en cuenta el crecimiento desmedido de la población de Managua, que fue a inicio de los años ´80 y el auge de la agricultura.

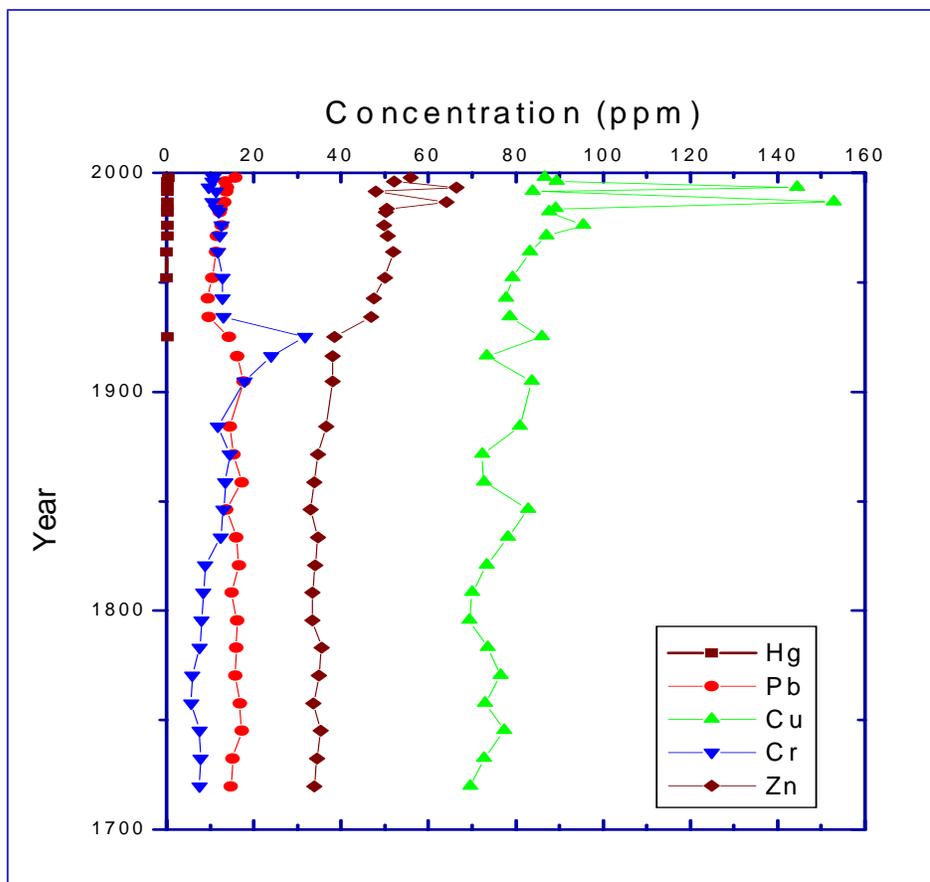


Figura 4. Perfil XOL12. Concentraciones de Metales Pesados en función de su fechamiento

Los límites detectables para los metales pesados analizados son los siguientes:

Hg: 0.002 ppm; Pb: 0.500 ppm; Cu: 0.250 ppm; Cr: 0.500 ppm; Zn: 0.062 ppm.

Diatomeas.

En el caso de las diatomeas, son algas microscópicas con pared celular silíceica llamada frústula, lo que permite su preservación en los sedimentos. Son numerosas y de forma variada, se encuentran en casi la mayoría de los hábitats; en suelos, sedimentos, rocas y plantas acuáticas o como plancton (Haworth, 1985). Muchas taxa parecen ser cosmopolitas en su distribución, algunas son extremadamente específicas en sus requerimientos físicos-químicos. Constituyen el grupo más abundante y diverso de microfósiles encontrados en los sedimentos lacustres y son utilizados para documentar grandes cambios químicos en los lagos, resgistrando las condiciones ambientales pasadas. Sin embargo pocos estudios sistemáticos se han realizado en comparación al alcance que estos representan.

Los resultados muestran un incremento poblacional del género *Stephanodiscus sp.* y de

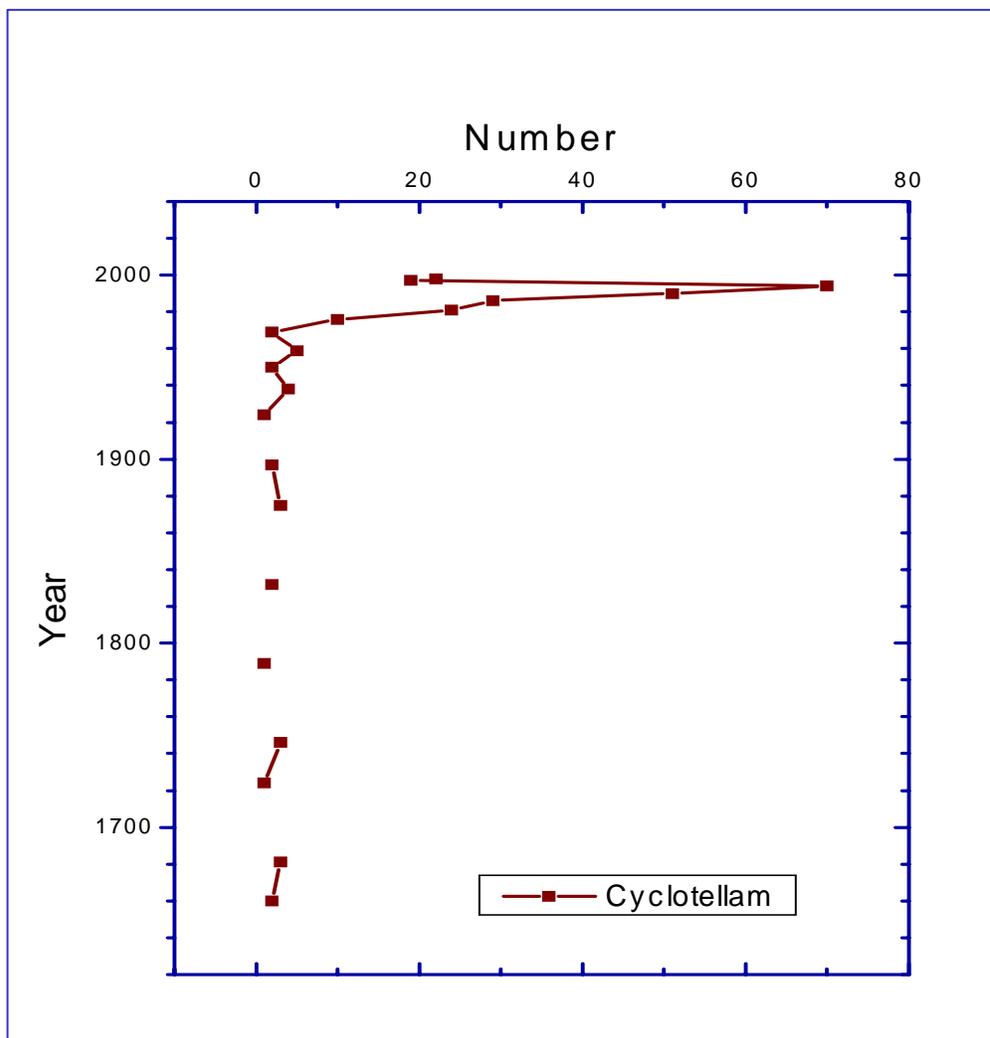


Figura 5. Relación entre la existencia de la especie *Cyclotella meneghiniana* y el período de fechamiento del perfil XOL07.

Cyclotella meneghiniana en los primeros 10 cm. de los perfiles XOL07 y XOL08; los resultados se indican en las Figuras 5 y 6, en donde se relacionan el número (existencia) de esta especie en función del periodo fechado. Posiblemente su presencia obedezca al enriquecimiento de nutrientes que da la condición de alcalina e hipertrófica al lago. Estudios realizados en sedimentos de los lagos de Minnesota (Bradbury, 1975; Brugam, 1979; Allott, 1979) reportan al género *Stephanodiscus*, especialmente *S. hantzschii* como especie indicadora de alteración humana. Richard (1983), la reporta como especie característica de lagos eutróficos y alcalinos. *Cyclotella meneghiniana*, también fue dominante en los lagos más eutróficos de la región de Minnesota.

Se observará como el lago, poco a poco fué perdiendo su condición ecológica natural, hecho denotado por el aumento paulatino de la *Stephanodiscus sp.*

En el perfil de sedimento del punto XOL08, la especie *Stephanodiscus sp.*, se encuentra en una cantidad bien considerada, hay intervalos de tiempo, donde no aparece esta especie; eso no es un indicio que el lago haya experimentado una recuperación de sus condiciones ecológicas

normales. El primer incremento significativo del número de especies, se observa a partir de 1914 hasta 1963, año en que desaparece esta especie. El mayor número de especies aparecen en 1985; a partir de ese año hasta 1997, se da una reducción paulatina en el número presente de esta especie, hasta encontrarse en un número de 89; eso tampoco es un indicio de la recuperación ecológica del medio.

En la columna de sedimento, XOL07, la presencia de la especie *Cyclotella meneghiniana* se notan algunos intervalos vacíos. A partir de los años 90 es que se comienza a observar un incremento considerable, juzgando este período, como el de mayor grado de contaminación.

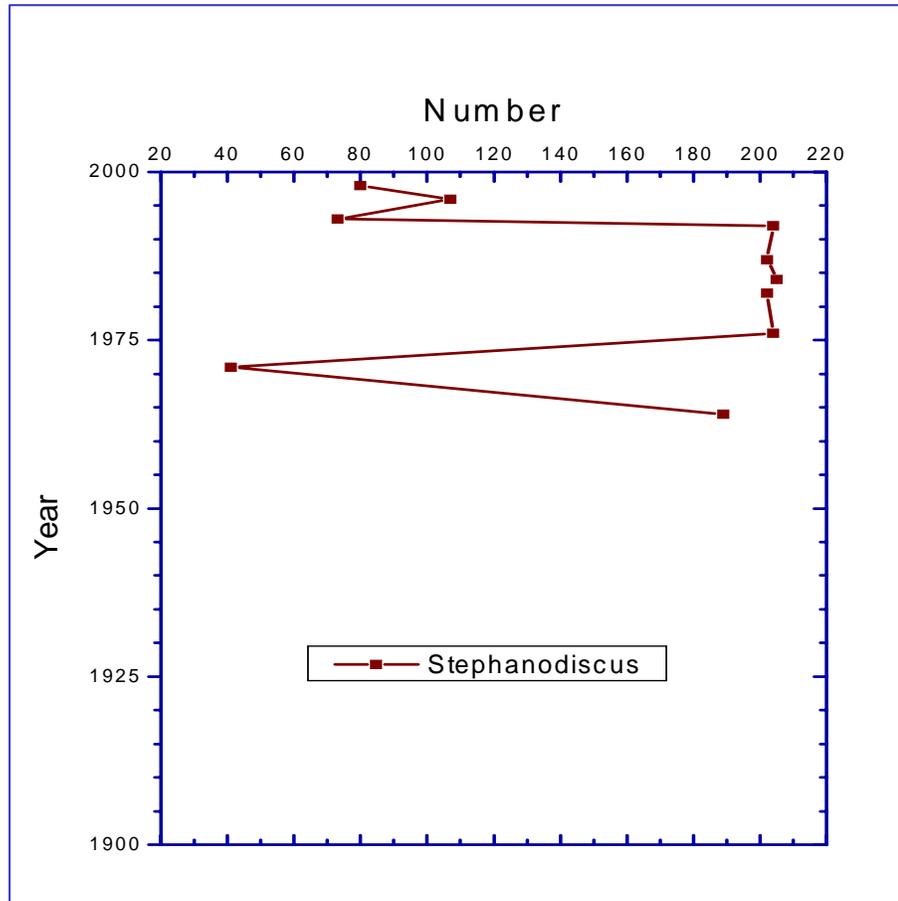


Figura 6. Relación entre la existencia de la especie Stephanodiscus y el período de fechamiento del perfil XOL08.

Conclusiones Preliminares.

- La aplicación de técnicas nucleares en el estudio de la evaluación del impacto antrópico sobre el Lago de Managua, ha permitido tener una reseña histórica en los últimos 100 o 200 años, para comprender las transformaciones y procesos ocurridos, lo que permite realizar comparaciones con la actual situación y así establecer la magnitud de los cambios. Específicamente el control cronológico se realizó mediante el uso del radioisotopo, Pb-210, el cuál junto a un modelo (CRS, Constant Rate of Pb - 210 Supply) que permitió tener una visión de lo que ha acaecido sobre el Lago de Managua en los últimos 100 o 200 años.
- Los resultados obtenidos hasta el momento, indican que el Lago de Managua, ha venido sufriendo un deterioro en cuanto a su calidad, tanto desde el punto de vista ecológico como estético, por la intervención del hombre, principalmente por los desechos industriales descargados sin ningún tipo de tratamiento, en donde la acumulación de metales pesados en el sedimento, señalan en los últimos años, un alto grado de contaminación, cuando se da el mayor empuje industrial y el aumento poblacional en Managua. El aumento de la acumulación de metales pesados en el sedimento se debe en parte al tipo de material que se fijan, en este caso a sedimento arcilloso con un alto contenido de materia orgánica.
- La aparición de ciertas especies de diatomeas, *Stephanodiscus sp.*, en períodos definidos, son bioindicadores de la eutrofización que ha venido sufriendo el Lago de Managua, aumento de la biodisponibilidad de nutrientes, variación del pH, aumento de las temperaturas y la salinidad; también hay que mencionar la desaparición de ciertas especies, antes del conocido período de desarrollo en la ciudad de Managua. La ausencia de estas especies son un indicador que también los metales pesados influyen sobre el habitat de ellas y por tanto inciden en el ciclo ecológico del sistema y algunas veces sobre la cadena alimenticia.
- Otro aspecto importante son las grandes tasas de sedimentación encontradas en algunos puntos; esto originado por despales, incendios forestales y deforestación sufrida principalmente en las subcuencas Norte y Sur, previéndose por tanto, la formación de un gran valle en la cuenca misma de este cuerpo de agua.

En resumen se puede concluir, que en este cuerpo de agua la contaminación por metales pesados, principalmente por Hg, Pb y Cr; se mantiene en la columna de sedimento; por el fenómeno de resuspensión de ellos, los metales pesados pasan a la columna de agua; existiendo en la actualidad, por el efecto de la gran cantidad de lluvia y al desaguar el Lago de Managua en el Lago Cocibolca a través del río Tipitapa, el gran peligro de contaminación de este último. Otra vía de comunicación de los dos lagos, es a través de las aguas subterráneas que alimentan al Lago de Managua y cuya dirección es hacia la parte sur del lago, específicamente hacia el Lago Cocibolca (Rozanski, K., 1999). Con plena seguridad, también estará la presencia en el Lago Cocibolca de bioindicadores de eutrofización, concretamente en este caso, de la *Stephanodiscus sp.*; ya que la disponibilidad de grandes concentraciones de nutrientes (materia orgánica) y condiciones físico-química, aptas para esta especie se comienzan a manifestar de una manera muy avanzada.

Bibliografía.

- Bothner, M. H., Aruscavage, P.J., Ferree, W. M. and Baedecker, P. A., 1980, Trace metals concentrations in sediment cores from the Continental Shelf off the south-eastern United States. *Estuarine and Coastal Marine Science* **10**:523-541.
- Calero, S., Fomsgard, I., Lacayo, M., Martínez, V. and Rugama, R., 1993, Toxaphene and other organochlorine Pesticide in fish and sediment from Lake Xolotlán, Nicaragua. *International Journal Analytic Chemistry*, **53**: 297-305.
- Haworth, E. 1985. The highly nervous system of the english lakes: aquatic ecosystem sensitivity to external changes, as demonstrated. *Freshwat. Biol. Ass. Annual report No. 53*: 60 - 79.
- Helz, G. R., 1976, Trace element inventory for the northern Chesapeake Bay with emphasis on the influence of man. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **40**:573-580.
- IRENA (1982), Taller Internacional de Salvamento y Aprovechamiento Integral del Lago de Managua (Xolotlán). Instituto Nicaraguense de Recursos Naturales y del Ambiente.
- Lacayo, M. (1991), Physical and Chemical Features of Lake Xolotlán (Managua), *Hydrobiol. Bull.* **25(2)**, 111-116.
- Lacayo, M., Cruz, A., Lacayo, J. and Fomsgaard, I. (1991), Mercury contamination in Lake Xolotlán (Managua), *Hydrobiol. Bull.* **25(2)**, 173-176.
- Montenegro-Guillen, S. (1991), Limnological perspective of Lake Xolotlán (Managua): the Plalm, *Hydrobiol. Bull.* **25(2)**, 105-109.
- Montenegro-Guillén, S., Vammen, K. and Cisneros, R. (1991), Biotic interactions in Lake Xolotlán (Managua): an integrated approach, *Hydrobiol. Bull.* **25(2)**, 177-179.
- Moore, J. W., Beaubien, V. A. and Sutherland, D. J., 1979, Comparative effects of sediment and water contamination on benthic invertebrates in four lakes. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.* **23**: 840-847.
- Olade (1981), Estudio de Reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua. In: *Contaminación del lago Xolotlán por Efectos de Aguas Termales*, INE, Managua, 1-53.
- Masqué, B. P., 1995, Introducció a la Datació de Sediments Marins mitjançant la Técnica del ²¹⁰Pb. *Treball de Recerca, Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra, Esapña.*
- Pum, M. (1986), Analisis Granulométrico del Sedimento del Lago Xolotlán, IRENA, 9p (internal report).
- Richard, B. 1983. The relationship between fossil diatom assemblage and limnological conditions. *Hidrobiologia.* 98: 223 - 235.
- Ringelberg, J., Infante, A. and Montenegro-Guillen, S. (1991), *Limnology of Lake Xolotlán (Lake Managua), Nicaragua*, Special Number of Hydrobiological Bulletin, **25(2)**.
- Rozanski, K.; 1999, Water Balance of Lake Xolotlán - Assessment of Groundwater Inflow and Outflow Rates using Isotope Data. *Technical Inform of Project NIC/8/010.*
- Speyer, M. R., 1980, Mercury and Selenium concentrations in fish, sediments and water of two northwestern Quebec lakes. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.* **24**:427-432.
- Wyrick, B. (1981), Chemical plant's poison inflames a nation, Part VIII: Hazards for export (newspaper article), *Newsday*, US.