

Plomo, arsénico, cadmio y cobre en el lago Asososca, Nicaragua

Palabras Claves: Plomo, arsénico, cadmio, sedimentos, agua.

Autores: Adela C. Cruz G., Inge Fomsgaard, Julio Lacayo M.

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de
Nicaragua. 1991

Apartado Postal 4598, Managua, Nicaragua.

SUMARIO

El estudio se realizó de Julio 1991 a Abril 1992 en dos componentes (Agua y Sedimento) del lago Asososca. Las concentraciones de plomo en agua estuvieron dentro de rangos normales para agua potable, pero mostraron diferencia significativa entre los meses. No hubo diferencia entre las estaciones de muestreo y profundidades. El arsénico estuvo en un rango relativamente normal, pero la concentración en el séptimo mes fue significativamente más baja. El cadmio y cobre tuvieron concentraciones normales. Los sedimentos superficiales del lago fueron homogéneos para cobre y cadmio. Las concentraciones de plomo y arsénico en sedimento fueron significativamente más altas en la estación Bomba que en las demás estaciones.

OBJETIVOS Y ANTECEDENTES:

El lago Asososca se encuentra en un cráter volcánico inactivo situado al oeste de la ciudad de Managua, con una superficie de 736,000 m², 35 m sobre el nivel del mar, un diámetro N/S 800m, E/O 1000 m, con una profundidad máxima de 91 m, y un volumen estimado de 44 millones de m³ (Incer, 1964). El lago Asososca es una fuente importante de abastecimiento de agua potable para aproximadamente un 30% de la población de Managua (UNAN, 1978).

Las instalaciones de fábricas como Electroquímica Pesada, S.A., Hércules de Centroamérica, S.A. (ELPESA-HERCASA),

Refinería ESSO, MAYCO, S.A. etc. que liberan grandes cantidades de gases tóxicos ubicadas en las cercanías del lago Asososca y el riesgo que existe de la carretera que va de Managua- León altamente transitada por vehículos de todo tipo (livianos y pesados) podrían ser causantes de una contaminación por metales pesados.

El objetivo principal de este estudio fue cuantificar las concentraciones de plomo, arsénico, cadmio y cobre en agua y sedimento del lago de Asososca.

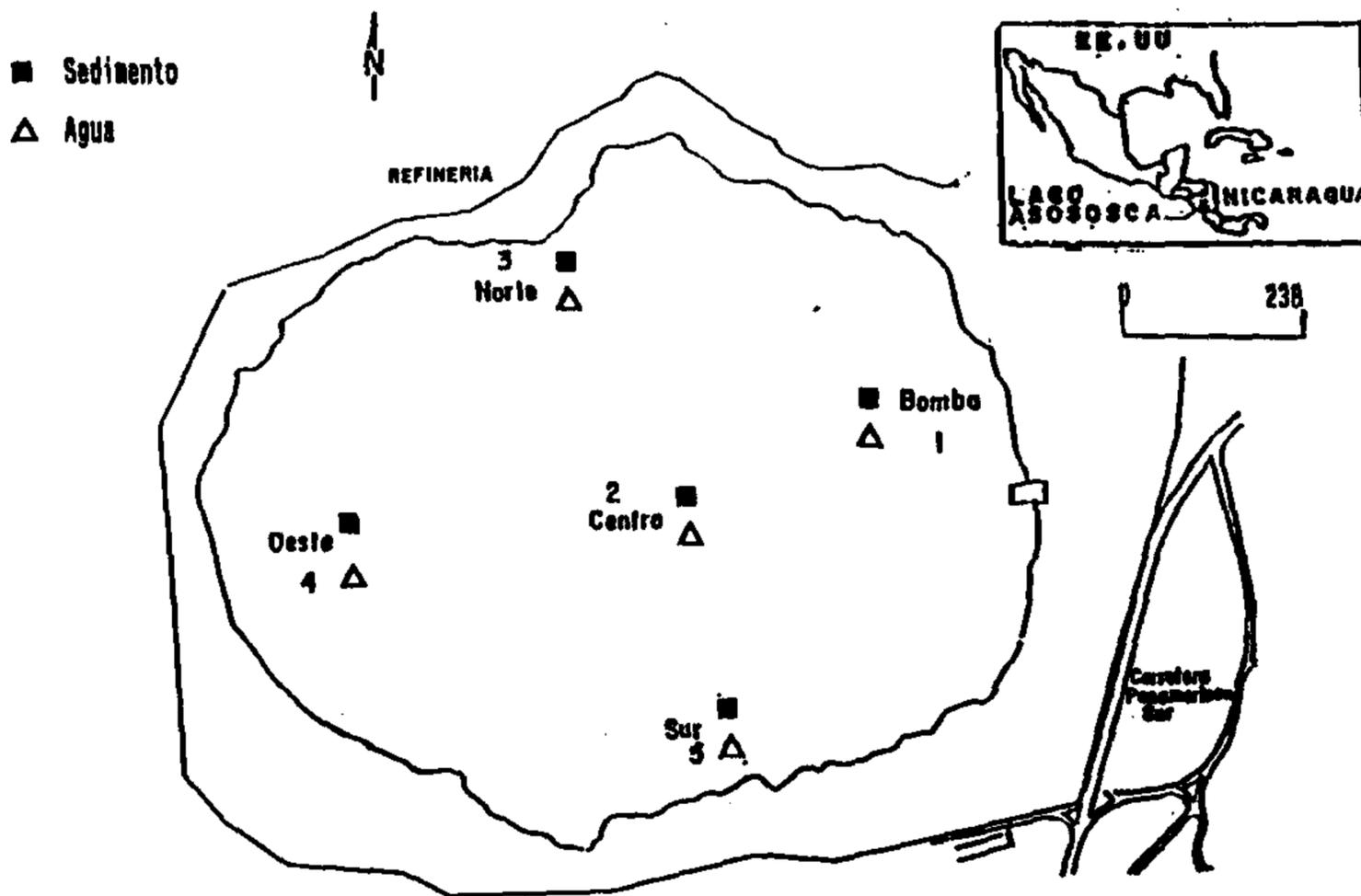


Fig.1 Estaciones de muestreo de Pb, As, Cd, Cu en agua y sedimentos en el lago Asososca, Nicaragua.

METODOLOGIA:**Agua**

Se realizaron muestreos trimestrales de julio 1991 - abril 1992. Las muestras de agua se tomaron con botella van Dorn en tres diferentes profundidades (superficie, intermedio y fondo) y en cinco estaciones de muestreo (Figura 1), en botellas de polietileno. Se preservaron con 2 ml de HCl 37% por litro de muestra y se almacenaron posteriormente bajo refrigeración (4 °C) hasta el momento del análisis.

Para los análisis de plomo y cadmio en el agua se utilizó modificación química de paladio-ácido ascórbico 500 mg·l⁻¹ y 0.25% respectivamente, con pre-inyección de paladio (10 µl) y atomización de pared (Varian, 1988). Las muestras se leyeron en un espectrofotómetro de absorción atómica VARIAN SpectrAA-20 con horno de grafito. Con una solución standard-I de multi-elementos ICP de 5.0 µg Pb·l⁻¹ se controló la exactitud del método el cual fue ± 0.4%. La desviación standard relativa del método fue ≤ 3.5%. El límite de detección fue de 0.94 µg Pb·l⁻¹. Para el análisis de cadmio se leyó la solución ICP en el modo de adición de estándares y se mostró que la exactitud fue ± 8.6%. El límite de detección del método de cadmio fue de 0.2 µg Cd·l⁻¹.

En el análisis de arsénico total en agua se realizó una

digestión previa con ácido clorhídrico. A 100 ml de muestra se agregaron 10 ml de HCl concentrado. La digestión se llevó a cabo en una plancha de calentamiento a una temperatura aproximada de 60 °C, evaporándose suavemente hasta obtener un volumen de 25 ml (*Standard Methods*, 1985). Antes de ser aforadas las muestras se agregaron 10 ml de ioduro de potasio (10%) y posteriormente se cubrieron con papel de aluminio para protegerlas de la luz, manteniéndolas en la oscuridad durante 50 minutos aproximadamente mientras se efectuaba la reducción As^{V} a As^{III} . Además de preparar una curva de calibración (10, 25, 50, 75 $\mu\text{g As}\cdot\text{l}^{-1}$) se preparó un estándar de calibración con una concentración de 400 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ el cual sirvió para controlar las condiciones del tiempo de estabilización del sistema cuando se usa la trampa de drierite (*Le Houillier*, 1986). Posteriormente las muestras fueron leídas en un espectrofotómetro de absorción atómica VARIAN SpectrAA-20 con Generador de Vapor VGA-76. El límite de detección del método fue de 1.7 $\mu\text{g As}\cdot\text{l}^{-1}$. Se prepararon muestras de arsénico con concentraciones conocidas para controlar la exactitud del método la cual resultó ser de $\pm 3.36\%$. El recobro de muestras con agregado estuvo entre 106.64 - 123.24 %.

Para las determinaciones de cobre en agua se realizó una digestión previa con ácido clorhídrico (*ISO*, 1986), se reguló el pH de 7 - 8 para evitar posibles interferencias de hierro

y luego se realizó una extracción con 5 ml de ammoniumtetramethylendithiocarbamato (APDC) y 10 ml de metil iso-butil cetona (MIBK) (Voth, 1981). Se dejaron reposar las muestras aproximadamente 40 minutos para separar la fase orgánica de la acuosa, luego las muestras fueron centrifugadas a 4,000 rpm durante un período de 5 minutos. Con la optimización de un programa adecuado de temperaturas de las etapas de secado (85,95,120 °C), mineralización (200 °C) y atomización (1,000 °C), las muestras fueron leídas con un solo standard de calibración de concentración de $10 \mu\text{g Cu}\cdot\text{l}^{-1}$ para obtener una curva de 2.0, 4.0 y $6.0 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ en un espectrofotómetro de absorción atómica VARIAN SpectrAA-20 con horno de grafito GTA-96. Se prepararon muestras con una solución standard-I de multi-elementos ICP de $7.5 \mu\text{g Cu}\cdot\text{l}^{-1}$ para controlar la exactitud del método la cual resultó $\pm 1\%$. La desviación standard relativa del método fue de $\leq 5.9 \%$. El límite de detección del método fue de $0.26 \mu\text{g Cu}\cdot\text{l}^{-1}$.

Sedimentos

Los sedimentos superficiales se colectaron por duplicado en las mismas cinco estaciones que las muestras de agua, con draga Ekman (0-5 cm). Las muestras de sedimentos fueron centrifugadas, secadas a temperatura ambiente, maceradas y luego almacenadas en frascos de polietileno hasta su análisis. Para los análisis de plomo, cadmio y cobre en sedimentos fue necesaria una lixiviación de las muestra, se pesaron 1.5

gramos, se agregó una mezcla de 1:3 de HNO_3 -HCl concentrado y se digirió en baño maría a 80°C durante una (1) hora con agitación constante. Las muestras fueron aforadas a 100 ml con agua destilada. Se prepararon estándares de concentraciones 1.0, 2.0, y 5.0 $\text{mg Pb}\cdot\text{l}^{-1}$; 0.5, 2.5 y 5.0 $\text{mg Cd}\cdot\text{l}^{-1}$, y 1.0, 2.5, 5.0 $\text{mg Cu}\cdot\text{l}^{-1}$. La exactitud y la desviación estandar relativa del método se comprobaron realizando análisis de muestras certificadas de NBS 2704 River Sediment de cada uno de los elemento y son reflajas la Tabla # 7. Los límites de detección para plomo, cadmio y cobre son los siguientes: 1.8 $\mu\text{g Pb}\cdot\text{g}^{-1}$; 0.83 $\mu\text{g Cd}\cdot\text{g}^{-1}$, 2.8 $\mu\text{g Cu}\cdot\text{g}^{-1}$ respectivamente.

El arsénico en sedimentos fue analizado con el método de generación de hidruros (Hobbins, 1982), usando un generador de vapor VGA-76. 0.25 gramos de muestra fueron digeridos con 5ml de HCl 37% y tres (3) porciones de 0.5 ml de peroxido de hidrógeno al 30% agregadas cada 20 minutos (Moffett, 1988). Posteriormente las muestras se colocaron en un baño maría a una temperatura entre 90 y 100°C durante 30 minutos, se adicionaron 10 ml de ioduro de potasio antes de aforar las muestras a 100 ml con agua destilada. Las muestras se pusieron en la oscuridad aproximadamente 50 minutos. Se preparó una curva estándar en concentraciones de 10, 25, 50 y 75 $\mu\text{g As}\cdot\text{l}^{-1}$ y una solución de estabilización de 400 $\mu\text{g As}\cdot\text{l}^{-1}$ en las mismas condiciones que las muestras. Para la lectura de las muestras se utilizó una longitud de onda de 193.7 nm,

un slit 0.5 nm, con llama aire/acetileno. La exactitud del método se comprobó mediante el análisis de muestras certificadas de EPA (Ver Tabla # 1). El límite de detección obtenido fue de $0.11 \mu\text{g As}\cdot\text{g}^{-1}$

Tabla No. 1 "Determinaciones de plomo, cadmio, cobre y arsénico en muestras certificadas de sedimentos NBS Y EPA" .

Muestra	Plomo	Cadmio	Cobre	Arsénico
NBS 2704	161 ± 17	3.45 ± 0.22	98.6 ± 5.0	
EPA	-	-	-	4.19
CIRA-UNAN	172.	3.3	106	4.1
%RSD MAX	± 3.2	± 10.2	± 2.8	± 3.5

RESULTADOS Y DISCUSION:

Agua

Los resultados obtenidos de plomo en agua del lago de Asososca están reflejados en la Tabla # 2. Concentraciones naturales de plomo en el agua de lagos y ríos fluctúan de 1 - 10 $\mu\text{g Pb}\cdot\text{l}^{-1}$ (OPS, 1984). Sin embargo niveles mucho más altos ocurren frecuentemente cerca de carreteras y ciudades debido a la combustión de gasolina (Moore & Ramamoorthy, 1984). El límite permisible de plomo en agua potable es de 50 $\mu\text{g Pb}\cdot\text{l}^{-1}$ (OPS, 1985). Cuando un cierto número de los valores están por debajo del límite de detección McBean y Rovers (1984) se recomienda reemplazar estos valores con datos igual a: (a) el límite de detección (b) la mitad del límite de detección y/o (c) poner cero y efectuar el análisis de varianza en los tres

casos. Un análisis de varianza multifactorial aplicado a las concentraciones encontradas tanto según (a) como (b) demostraron diferencia significativa entre los meses pero no mostró diferencias entre las estaciones ni entre las profundidades.

La diferencia en las concentraciones de plomo total en agua en los meses de julio y octubre fueron menores que las encontradas en enero y abril. Esta diferencia probablemente se deba a que estos meses corresponden a la época lluviosa y la concentración del metal es diluida.

Tabla 2. Concentraciones de plomo total en agua del lago Asososca, Nicaragua ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$).

Estaciones de muestreo		Meses			
		Julio 91	Octubre 91	Enero 92	Abril 92
Centro	Sup.	1.24	0.94	1.53	0.94
	Int.	1.58	0.94	3.78	2.46
	Fon.	1.58	0.94	8.69	2.90
Oeste	Sup.	1.13	1.09	1.29	9.78
	Int.	1.05	0.94	9.95	11.18
	Fon.	15.67	<L.D.	3.12	7.29
Norte	Sup.	0.94	0.94	1.77	10.40
	Int.	0.94	0.94	8.33	8.7
	Fon.	8.48	0.95	4.97	11.94
Bomba	Sup.	0.94	0.94	1.14	0.94
	Int.	8.06	0.94	2.82	9.92
	Fon.	1.43	2.24	4.30	1.55
Sur	Sup.	0.94	2.61	1.38	10.85
	Int.	0.94	1.27	1.28	9.77
	Fon.	18.07	0.81	2.56	9.89

La Tabla # 3 muestra los resultados de cadmio del lago Asososca. Las concentraciones de cadmio en los abastecimientos públicos de agua normalmente son bajos debido a que existen cantidades muy pequeñas en el agua (OPS,1987). Las concentraciones de cadmio en agua del lago Asososca varían de \leq LD - $1.1 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ e indican que las concentraciones de este elemento se mantienen dentro de los niveles naturales en agua $\leq 1 \mu\text{g Cd}\cdot\text{l}^{-1}$ (OPS,1987). Valores de cadmio en aguas no contaminadas del arroyo Remote (California) varían entre $0.01 - 0.1 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ (Kennedy & Sebetich, 1976). El límite permisible para agua potable según la Organización Panamericana de la Salud es de $5.0 \mu\text{g Cd}\cdot\text{l}^{-1}$ (OPS,1985). La mayor parte de los datos de cadmio en agua del lago Asososca estuvieron por debajo del límite de detección por tal motivo no se realizó análisis estadístico.

Tabla #3 Concentraciones de cadmio total en agua del lago Asososca, Nicaragua ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$).

Estaciones de muestreo		Meses			
		Julio 91	Octubre 91	Enero 92	Abril 92
Centro	Sup.	0.35	<L.D.	<L.D.	0.24
	Int.	0.79	<L.D.	<L.D.	<L.D.
	Fon.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.
Oeste	Sup.	0.62	0.22	<L.D.	<L.D.
	Int.	0.70	<L.D.	<L.D.	<L.D.
	Fon.	0.61	<L.D.	<L.D.	<L.D.
Norte	Sup.	1.13	1.03	<L.D.	<L.D.
	Int.	0.95	1.12	<L.D.	<L.D.
	Fon.	0.76	0.50	<L.D.	<L.D.
Bomba	Sup.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.
	Int.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.
	Fon.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.
Sur	Sup.	0.55	0.20	<L.D.	<L.D.
	Int.	0.70	0.24	<L.D.	<L.D.
	Fon.	0.82	<L.D.	<L.D.	<L.D.

Las concentraciones de arsénico en el lago se observan en la Tabla # 4, las cuales fluctuaron entre \leq L.D. - 15.77 $\mu\text{g As}\cdot\text{l}^{-1}$. La media de las concentraciones fue 5.86 $\mu\text{g As}\cdot\text{l}^{-1}$. El valor guía de arsénico en agua potable recomendado por la Organización Panamericana de la Salud es de 50.0 $\mu\text{g As}\cdot\text{l}^{-1}$ (OPS, 1985). Valores naturales de arsénico en agua son \leq 10 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ (OPS, 1987). En estudios anteriores no publicados detectamos una concentración de 25 $\mu\text{g As}\cdot\text{l}^{-1}$ en el lago Monte Galán (Nicaragua) de origen volcánico, este lago no tiene contaminación antropogénica. Se aplicó análisis de varianza

multifactorial a los datos de arsénico total en agua el cual mostró que la concentración en el mes siete está significativamente más baja que en los demás meses. Es probable que al igual que el plomo, la concentración de arsénico en este mes haya sido diluida por efecto de precipitaciones pluviales.

Tabla 4. Concentraciones de arsénico total en agua lago Asososca, Nicaragua ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$).

Estaciones de muestreo		Meses			
		Julio 91	Octubre 91	Enero 92	Abril 92
Centro	Sup.	1.68	7.48	5.36	6.91
	Int.	0.85	8.39	5.85	7.12
	Fon.	5.7	6.87	6.27	6.41
Oeste	Sup.	4.07	7.13	5.85	5.97
	Int.	6.36	7.88	5.63	5.02
	Fon.	0.85	3.23	5.71	11.22
Norte	Sup.	0.85	5.49	5.06	6.53
	Int.	4.22	9.21	5.59	5.52
	Fon.	5.45	11.74	5.83	5.67
Bomba	Sup.	0.85	4.36	6.26	6.37
	Int.	4.04	8.34	5.98	5.63
	Fon.	6.28	3.23	5.17	5.89
Sur	Sup.	3.02	7.24	1.98	5.64
	Int.	6.38	7.20	5.99	5.89
	Fon.	15.77	7.91	5.70	8.11

Los resultados de cobre en agua del lago Asososca (Tabla # 5) fueron concentraciones típicas de aguas no contaminadas, variaron entre \leq L.D. - $13.06 \mu\text{g Cu}\cdot\text{l}^{-1}$. La media de las concentraciones fue de $3.10 \mu\text{g Cu}\cdot\text{l}^{-1}$. El valor guía

recomendado por la Organización Panamericana de la Salud es de $1000 \mu\text{g Cu}\cdot\text{l}^{-1}$, basándose en la calidad organoléptica del agua debido a que el cobre en cantidades pequeñas no tiene efectos dañinos hacia la salud humana (OPS, 1985). Concentraciones en agua dulce no contaminada varía de $0.5 \geq 2 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ (Moore & Ramamoorthy, 1984). Se realizó análisis de varianza multifactorial a los resultados de cobre en agua y resultó que no hubo ninguna diferencia significativa entre las estaciones, las profundidades y los meses.

Tabla 5. Concentraciones de cobre total en agua del lago Asososca, Nicaragua ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$).

Estaciones de muestreo		Meses			
		Julio 91	Octubre 91	Enero 92	Abril 92
Centro	Sup.	0.26	0.62	1.77	5.06
	Int.	1.72	1.24	0.88	1.05
	Fon.	2.83	6.18	0.92	12.03
Oeste	Sup.	0.26	3.24	1.48	0.30
	Int.	2.74	3.78	0.82	0.65
	Fon.	12.96	2.84	1.22	0.31
Norte	Sup.	0.26	1.22	1.55	0.35
	Int.	0.26	2.14	1.52	0.06
	Fon.	9.36	7.1	2.42	0.44
Bomba	Sup.	0.26	3.22	0.67	0.70
	Int.	13.06	11.46	2.29	0.06
	Fon.	0.26	4.00	5.67	0.42
Sur	Sup.	0.26	8.4	1.06	0.01
	Int.	3.06	3.86	0.71	0.62
	Fon.	0.26	8.24	2.17	0.76

Las concentraciones totales en agua de los cuatro (4) elementos analizados en el lago Asososca fueron comparadas con valores reportados por diferentes autores (Tabla #6) y se puede apreciar que las concentraciones en Asososca son parecidas a las concentraciones naturales en lagos y ríos de diversas partes del mundo.

Tabla #6 Comparaciones de las concentraciones de Pb, Cd, As, Cu del lago Asososca con las concentraciones naturales de otros países del mundo ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$).

Elemento	Concentración	Río y/o Lago	Autor
Plomo	1.5	Lago Michigan U.S.A	Edgington & Robbins, 1976
	4.0	Lago Asososca Nicaragua	Presente Trabajo, 1992
	2 - 4	Río Danubio Austria	Schroll et. al., 1975
Cadmio	0.07-2.6	Río Danubio Austria	Schroll et. al., 1975
	0.2	Lago Asososca Nicaragua	Presente Trabajo, 1992
	0.3	L. Michigan U.S.A.	Copeland & Ayers, 1975
Arsénico	1.0	Lago Michigan U.S.A	Copeland & Ayers, 1975
	5.8	Lago Asososca Nicaragua	Presente Trabajo, 1992
	800.0	Río Antofagasta, Chile	Borgoño et. al. 1877
Cobre	2 - 5	Río Neckar U.S.A.	Lodemann & Bukenderger 1973
	3.1	Lago Asososca Nicaragua	Presente Trabajo, 1992
	1.53	Río Mullica N. J. U.S.A.	Boyle, 1976

Sedimentos

Tabla #7 Concentraciones de plomo, cadmio, arsénico y cobre total en sedimentos superficiales del Lago Asososca, Nicaragua ($\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$).

Estaciones	Plomo	Cadmio	Arsénico	Cobre
Centro	35.4	2.3	7.8	53.3
Oeste	36.6	3.3	7.8	36.6
Norte	28.6	2.2	2.6	62.6
Bomba	57.2	3.9	16.5	73.3
Sur	21.1	2.6	5.3	54.2

Los valores de los cuatro elementos están reflejados en la Tabla #7. Las concentraciones de plomo en los sedimentos estuvieron en el rango de $21.1 - 57.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ el cual se considera como natural. De áreas no contaminadas se han reportado valores en el rango de $2 - 50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (*Moore & Ramamorthy, 1984*). Un anova de un factor arrojó una diferencia significativa entre las estaciones siendo el valor más alto en la estación Bomba. Probablemente este valor se deba a la textura del sedimento en esta estación, sedimentos más finos o de menor tamaño poseen mayor contenido de metales pesados que los de mayor tamaño (*Forstner & Wittmann, 1983*).

El contenido de cadmio en el sedimento superficial del lago Asososca fue homogéneo en las cinco estaciones de muestreo y en un nivel de $2.1 - 3.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ que demuestra que no ha habido contaminación antropogénica. Concentraciones de cadmio

en sedimentos pre-industriales de lagos de Wisconsin (*Iskandar & Keeney, 1974*) y arcilla esquistosa de la región Great Plains (*Towrtelot, 1964*) estuvieron de $1.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y $2.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ respectivamente.

Las concentraciones de arsénico en los sedimentos fueron homogéneas excepto en la estación Bomba ($16.54 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) probablemente al igual que en el plomo, también se deba a la textura del sedimento y a la remoción del sedimento debido a la constante extracción de agua por el Instituto Nicaraguense de Acueductos y Alcantarillas (INAA) siendo la característica principal de esta estación. Concentraciones naturales de arsénico en sedimento de diez lagos en Saskatchewan (Canada) estuvieron de $2.7 - 13.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (*Huang & Liaw, 1978*).

Los resultados de cobre total en sedimentos superficiales del lago Asososca fueron uniformes en cuatro estaciones de muestreo y sus concentraciones se consideraron dentro de rangos naturales. Un anova de un factor mostró que la concentración de cobre en el sedimento de la estación Bomba es significativamente diferente de las demás, este valor se debe probablemente al uso de sulfato de cobre por el INAA, para contrarrestar el florecimiento exagerado de algas en el lago. Concentraciones de cobre en sedimentos de origen natural se hayan en el rango de $3 - 76 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ del esturio St. Lawrence (*Loring, 1978*), Continental Shelf (SE, USA) $\leq 2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

(*Bothner*, 1980) y lagos árticos (Canada) de 7 -62 mg·kg⁻¹ (*Moore*, 1979). Las concentraciones de cobre en el sedimento de Asososca variaron de 36.6 - 73.3 µg·kg⁻¹.

CONCLUSIONES:

Debido a las bajas concentraciones de los cuatro metales analizados en agua y sedimentos del lago Asososca podemos concluir:

- 1) Las concentraciones de plomo y arsénico total en agua disminuyeron en la época lluviosa debido al aporte del acuífero de las Sierras hacia el lago.
- 2) La diferencia significativa de concentración de los metales en el sedimento del lago Asososca en la estación Bomba podría deberse a la textura del sedimento en esta estación, a la remoción del sedimento debido a la constante extracción de agua por el Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA) y/o al uso de sulfato de cobre para controlar el desarrollo exagerado de algas en el lago.
- 3) Las industrias cercanas al lago hasta el momento no han afectado la calidad del agua en cuanto a metales pesados se refiere por lo tanto no hay ningún efecto dañino hacia la salud de la población que consume agua del mismo; sin embargo se debe realizar un monitoreo más

continuo a fin de mantener un control sobre la calidad del agua del lago y vigilar posible aumentos en las concentraciones de los metales pesados debido a la toxicidad que estos poseen en pequeñas cantidades.

REFERENCIAS :

- Borgoño, J.M., Vicente, P., Venturiano, H. & Infante, A. 1977, *Arsénico in the drinking water of the City of Antofagasta: Epidemiological and clinical study before and after the installation of the treatment plant*. Environ. Health Perspect., 19: 103-105.
- Bothner, M.H., Aruscavage, P.J., Ferrebee, W.M. and Boedecker, P.A. 1980. *Trace metal concentrations in sediment cores from Continental Shelf off the south eastern United States*. Estuarine and Coastal Marine Science 10:523-541.
- Copeland, R.A., Ayers, J.C. 1975. *Trace element distributions in water, sediment, phytoplankton, zooplankton, and benthos of lake Michigan*. Environ. Res. Group, Inc., Ann Arbor, Mich (1972). Cit. D.H. Klein.
- Edgingt, D.H., Robbins, J.A. 1976. *Records of lead deposition in lake Michigan sediments since 1800*. Environ. Sci. Technol. 10, 266-273.

- Hobbins W.B. 1982. *Arsenic Determination By Hydride Generation*. VARIAN INSTRUMENTS AT WORK AA-22, AA Resource Center, Park Ridge, Illinois, U.S.A.
- Moffett J. 1988. *The Determination of Arsenic in Non-Silicate Geological Ore Samples Using A Vapor Generation Accesory*. Varian Techtron Pty. Limited, 679 Springvale Road, Mulgrave, Victoria, Australia.
- Hung, P.M. and Liaw, W.K. 1978. *Distribution and fractionation of arsenic in selected fresh water lake sediments*. Intern. Rev. Ges. Hydrobiol. 63:533 - 543.
- Incer B. J. *Geografía de Nicaragua. Banco Central de Nicaragua*. Managua, Nicaragua.1964
- Iskandar, I.K., and Keeney, D.R. 1974. *Concentration of heavy metals in sediment cores from selected Wisconsin lakes*. Environ. Sci. Technol. 8:165 - 170.
- ISO 1986. *Water quality-Determination of cobalt, nickel, copper, zinc, cadmium and lead-Flame atomic absorption spectrometric methods*. Ref. No. ISO 8288. International Organization for Standardization, Switzerland.
- Kennedy, V.C. Sebetich, M.J. 1976 *Trace elements in northern*

California streams. In: Geological Survey Research, Washington, D.C., pp 208-209.

Le Houillier R. 1986 *Use of Drierite Trap To Extend the Lifetime of Vapor Generation Absorption Cell.* VARIAN INSTRUMENTS AT WORK AA-65. Varian AA Resource Center, Park Ridge, Illinois, U.S.A.

Voth L.M. 1981. *Determination of Chromium, Lead and Cadmium in Drinking Water by Solvent Extraction and Flame Microsampling.* VARIAN INSTRUMENTS AT WORK AA-17, Varian AA Resource Center, Park Ridge, Illinois, U.S.A.

Loring, D.H. 1978. *Geochemistry of zinc, copper and lead in the sediments of the estuary and Gulf of St. Lawrence.* Canadian Journal of Earth Sciences 15:757 - 772.

Lodemann, C.K.W., Bufenberger, U. 1973 *Schwermetallspuren im Berich des oberen Neckars.* GWF Wasser Abwasser 114, 478-487.

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.

Moore, J.W. and Ramamoorthy S. 1984. *Heavy metals in natural*

waters, applied monitoring and impact assessment. Springer-Verlag New York Berlin Heidelberg Tokyo.

OPS . *Guías para la Calidad del Agua Potable*, Organización Panamericana de la Salud, Washington, Vol.1, Publicación Científica No.481. 1985.

OPS . *Guías para la Calidad del Agua Potable*. Organización Panamericana de la Salud, Washington, Vol.2, Publicación Científica No.506. 1984.

Schell, W.R., Nevissi, A. 1977. *Heavy metals from waste disposal in central Puget Sound.* Environ. Sci. Technol. 11, 887 - 893.

Schroll, E., Krachsberger, H., Dolezel, P. 1975. *Hydrogeochemische Untersuchungen des Donauwassers in Osterreich in den Jahren 1971 und 1972.* Arch. Hydrobiol. Suppl. 44, 492 - 514.

Standard Methods for the examination of water and wastewater 1985. American Public Health Association 1015 Eighteenth Street N.W. Washington D C 20036.

UNAN, *Proyecto Investigación de la Calidad de Agua de la*