

DETERMINACION DE METALES PESADOS EN AGUA Y SEDIMENTO DEL RIO SAN JUAN Y SUS PRINCIPALES TRIBUTARIOS, NICARAGUA

Lacayo-Membreño, J. y Sarria-Sacasa, K.

RESUMEN

El primer período de muestreo de este estudio se llevó a cabo en el mes de julio de 1992 en agua y sedimento del río San Juan y en tres de sus principales afluentes (ríos: Frío, Boca de San Carlos y Sarapiquí) en un recorrido de 175 km. aproximadamente comprendido entre su nacimiento en la ciudad de San Carlos hasta el Delta del río San Juan. En el segundo período de muestreo realizado en septiembre de 1993, se incluyeron 15 puntos de muestreo adicionales a los siete primeros, con el propósito de tener un mayor conocimiento de los niveles de metales pesados en el área de estudio. En la desembocadura de San Carlos y Sarapiquí-La Ceiba, en el primer período de muestreo, se detectaron, en los sedimentos superficiales, concentraciones ligeramente altas, con respecto a los otros puntos de muestreo, de plomo, cromo y cobre de 42.47, 66.20, 77.86 mg.kg⁻¹ y 19.82, 81.32, 57.79 mg.kg⁻¹ respectivamente. En río Medio Queso (segundo período de muestreo) se encontró una concentración de cromo de 72.86 mg.kg⁻¹ y de cobre en el río Bartola - río San Juan de 51.25 mg.kg⁻¹, ambas concentraciones son medianamente altas respecto a los valores detectados en otras estaciones de muestreo. En el caso de las concentraciones en agua de estos metales pesados en las diferentes estaciones de muestreo, éstas se encuentran dentro de los límites permisibles para aguas naturales y de consumo humano. Es probable que las concentraciones de metales en el sedimento del río San Juan y sus tributarios sean concentraciones naturales del área de estudio.

INTRODUCCION

El río San Juan o comúnmente llamado desaguadero por dar salida al mar Caribe a las aguas del Lago de Nicaragua. El río San Juan está ubicado al sureste del país y tiene una longitud de 200 Km. desde su comienzo en San Carlos hasta su desembocadura en San Juan del Norte. Entre San Carlos y El Castillo las riberas del río están muy pobladas; tiene un ancho de 300 metros y sus orillas son muy cenagosas, aunque en las partes mas altas hay pastos (Incer, 1984).

Más adelante, el río disminuye el ancho pasando por cuellos estrechos y por montañas selváticas, para recobrar su ancho en la desembocadura del río San Carlos, su principal afluente que procede de Costa Rica, continúa en amplios recodos y rectilíneas trayectorias hasta el llamado Delta del Colorado, donde la corriente se bifurca en dos: el mayor caudal sigue por Costa Rica, hasta la salida en Colorado y el menor continúa ramificándose a su vez en varios caños angostos que abren paso a la bahía de San Juan del Norte (Incer, 1984).

El clima de la zona se caracteriza por ser tropical lluvioso y tropical húmedo con temperaturas promedios de 29 °C y 25 °C, con precipitaciones que varían entre los 2,000 a 3,000 mm, la estación lluviosa es de 9 a 10 meses por año entre los meses de mayo a febrero (Incer, 1984).

Se han estimado algunos caudales en el río San Juan, en San Carlos de 350 m³/seg/año, en El Castillo 450 m³/seg/año, en Sarapiquí de 880 m³/seg/año. El caudal máximo es en los meses de julio, septiembre, octubre y noviembre y el caudal mínimo en los meses de marzo, abril y mayo (Incer, 1984).

El sedimento de río San Juan se caracteriza por ser de tipo arcilloso y arenoso. La sedimentación proveniente de los principales tributarios del río San Juan, como son los ríos Frío, Sarapiquí y San Carlos se ha incrementado en los últimos años a consecuencia de la deforestación de sus cuencas y al cambio de uso de suelo lo que ha afectado el ecosistema acuático del río San Juan.

El presente trabajo de investigación inició en el mes de julio de 1992, luego siguió en septiembre 1993. En el primer período se llevó a cabo una gira de reconocimiento y colección de muestras en siete estaciones de muestreo cuatro en el río San Juan y tres de sus principales tributarios, en un recorrido de 175 Km. aproximadamente; comprendido entre su nacimiento en la ciudad de San Carlos hasta el Delta. Los tributarios son los ríos Frío, Boca de San Carlos y Sarapiquí. En el segundo muestreo se incluye 15 puntos de muestreo adicionales a los primeros. Los objetivos de esta campaña fue el de valorar las condiciones generales del ecosistema y encontrar la razón de muertes masivas de peces. Realizar un reconocimiento y muestreo desde el punto de vista químico de las concentraciones de seis metales pesados en agua y sedimentos en siete estaciones del área. Ampliar el conocimiento sobre la presencia de metales pesados en muestras de sedimentos superficiales, tanto del curso principal del río San Juan, así como en los principales afluentes que drenan del territorio Nicaragüense y Costarricense y obtener la información para establecer una línea base que nos permita en el futuro evaluar los cambios que puedan ocurrir en este ecosistema acuático.

METODOLOGIA

En la primera y la segunda gira de campo los puntos de muestreo fueron previamente establecidos haciendo uso de un mapa con escala 1 : 200,000; correspondiente al trayecto principal y de los afluentes del río San Juan.

Descripción de las estaciones de muestreos

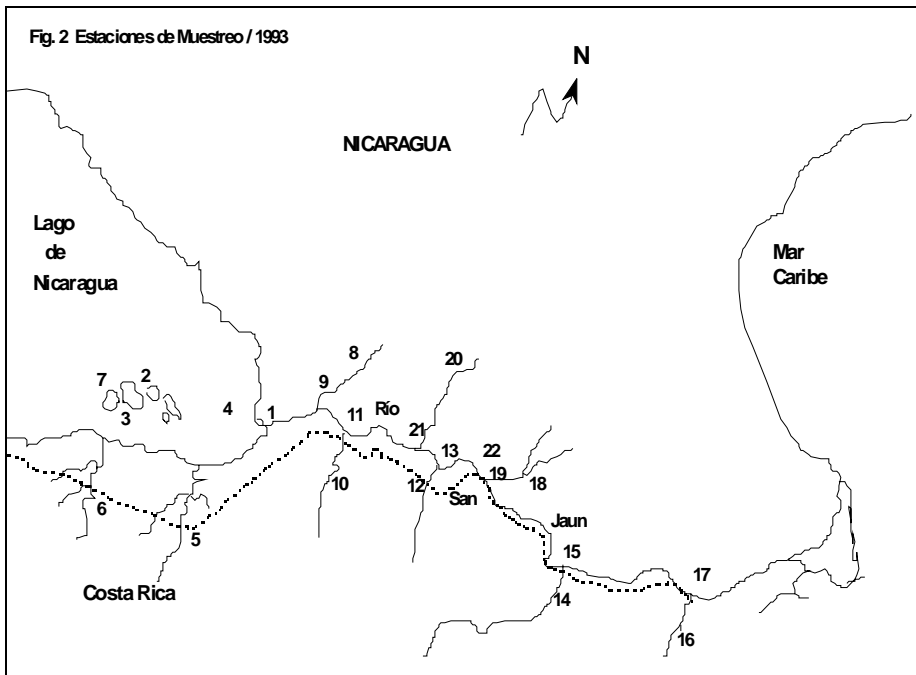
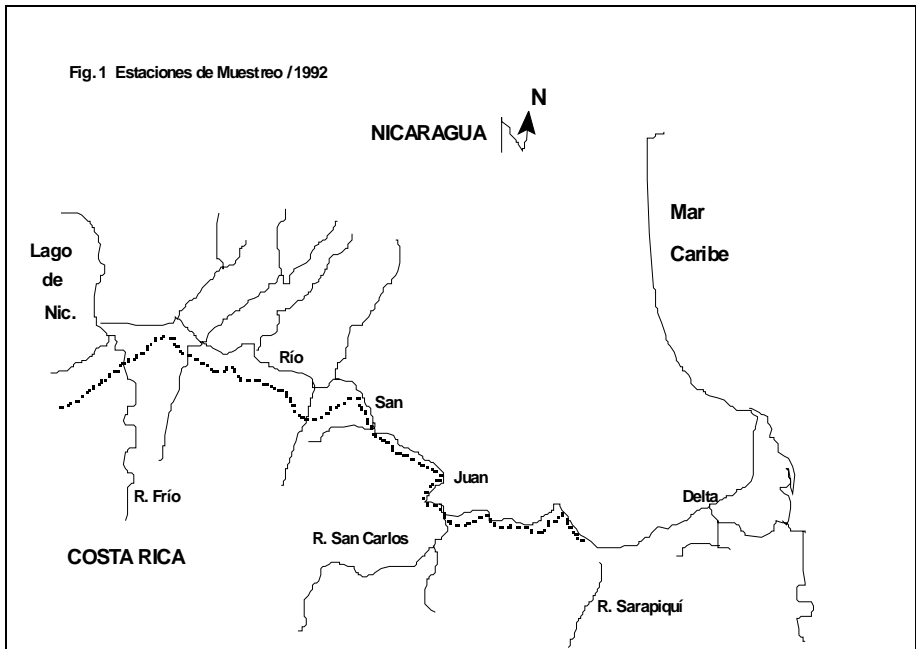
En el primer muestreo en el río San Juan realizado en 1992 se colectaron seis muestras de agua y sedimento y en 1993 se colectaron veintidós muestras de sedimento, el listados de las estaciones de muestreo se describe a continuación:

Primer muestreo (Fig. 1)

Punto	Descripción
01	Río Frío Desembocadura
02	Río Frío Adentro
03	Río San Carlos Desembocadura
04	Río San Carlos
05	Río Sarapiquí/Río San Juan
06	Río Sarapiquí/La Ceiba
07	Delta

Segundo Muestreo (Fig. 2)

01	San Carlos
02	Isla Venada/Barlovento
03	Isla Venada/Sotavento
04	Boyas
05	Río Zapote
06	Río Papaturo
07	Mancarrón
08	Río Melchora
09	Melchora/RSJ
10	Río Medio Queso
11	Medio Queso/RSJ
12	Río Pocosol
13	Río Pocosol/RSJ
14	Río San Carlos
15	Río San Carlos/RSJ
16	Río Sarapiquí
17	Río Sarapiquí/RSJ
18	Río Bartola
19	Río Bartola/RSJ
20	Río Sábalos
21	Río Sábalos/RSJ
22	El Castillo



Análisis de las muestras

Agua

Las muestras de agua se colectaron de manera superficial en botellas de polietileno, éstas fueron preservadas con 2 ml de ácido nítrico concentrado y posteriormente se almacenaron en refrigeración (4 EC) hasta el momento del análisis.

Para los análisis de plomo, cobre, cromo y cadmio en el agua se utilizó el método de modificación química de Paladio-ácido ascórbico en concentraciones de 500 mgAL^{-1} y 0.25%(w/v) respectivamente, con pre-inyección de Paladio (10 :l) y atomización de pared (Varian, 1988). Las muestras fueron leídas en un espectrofotómetro de absorción atómica VARIAN SpectrAA-20 con horno de grafito.

Para el análisis de arsénico total en el agua se realizó una digestión previa con ácido clorhídrico, agregando a 100 ml de muestra 10 ml de HCl concentrado. La digestión se llevó a cabo en una plancha de calentamiento a una temperatura aproximada de 60 EC, evaporando suavemente hasta obtener un volumen de 25 ml (*Standard Methods, 1985*).

Antes de aforar las muestras al volumen inicial, se adicionaron 10 ml de Ioduro de Potasio (10% w/v) y posteriormente se cubrieron con papel de aluminio para protegerlas de la luz, manteniéndolas en la oscuridad durante 50 minutos aproximadamente esto con el objetivo de permitir la reducción As^{V} a As^{III} . Posteriormente las muestras fueron leídas en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica VARIAN SpectrAA-20 con Generador de Vapor VGA-76 (VARIAN, 1984).

Para la determinación de mercurio total en el agua se realizó una digestión previa con ácido nítrico concentrado, adicionando 5 ml de ácido nítrico concentrado a un volumen de 100 ml de muestra. La digestión se llevó a cabo en una plancha de calentamiento a una temperatura aproximada de 60 EC, evaporando suavemente hasta obtener un volumen de 25 ml (*Standard Methods, 1985*), luego las muestras son aforadas a 100 ml y fueron leídas en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica VARIAN SpectrAA-20 con Generador de Vapor VGA-76 (VARIAN, 1984).

Sedimentos

Los sedimentos superficiales en las seis estaciones del primer muestreo y las veintidós estaciones del segundo fueron colectados con una draga Ekman (0-5 cm). Luego las muestras de sedimentos se secó a temperatura ambiente, maceradas y tamizadas a un diámetro de 600 :m para ser almacenadas en frascos de polietileno hasta su análisis.

Los métodos empleados para la digestión y análisis de plomo, cobre, cromo y cadmio en sedimentos fueron los del *Standard Methods* (1985) y *Varian* (1979), utilizando Espectroscopia de Absorción Atómica de llama.

Se pesaron 1.5 gramos peso seco de muestra, fue necesaria una lixiviación con una mezcla de 1:3 de HNO₃-HCl concentrado y se digirió en un baño maría a 80EC durante una (1) hora con agitación constante. Las muestras fueron aforadas a 100 ml con agua destilada y luego leídas en un espectrofotómetro de Absorción Atómica VARIAN SpectrAA-20 con una llama aire - acetileno.

El arsénico en sedimentos fue analizado con el método de generación de hidruros (VARIAN, 1984), usando un generador de vapor VGA-76. Se pesaron 0.25 gramos peso seco de muestra posteriormente fueron digeridos con 5 ml de HCl 37% y tres (3) porciones de 0.5 ml de peróxido de hidrógeno al 30% agregadas cada 20 minutos. Posteriormente las muestras se colocaron en un baño maría a una temperatura entre 90 y 100EC durante 30 minutos. Una vez digeridas las muestras de sedimento se sigue el mismo procedimiento de las muestras de agua.

El análisis de mercurio en sedimento se realizó por el método del Vapor Frío (VARIAN, 1984), utilizando un generador de vapor VGA-76. Se pesó 0.20 gramos de muestra peso seco los cuales fueron digeridos con una mezcla ácida de dicromato de potasio y ácido nítrico concentrado. Luego las muestras fueron colocadas en un baño maría por media hora a una temperatura de 60 °C, se enfrió y se aforó a 100 ml con agua destilada, luego fueron leídas con un Espectrofotómetro de Absorción Atómica VARIAN SpectrAA-20.

Control de calidad analítico

La reproducibilidad del método fue controlada realizando análisis por duplicado a cada grupo de muestras y para cada metal en las diferentes matrices, habiéndose obtenido una desviación estándar relativa menor que el 5 %. Rutinariamente la exactitud de los métodos analíticos es confirmada por el análisis de muestra de referencia de una matriz similar con los analitos a estudiar (tabla 3). A la vez se analizan blancos con el objetivo de evaluar y monitorear la introducción potencial de metales pesados contenidos en los reactivos químicos utilizados en los procesos de análisis de los analitos presentes en las muestras de agua y sedimentos. Aun lote de muestras analizadas se le adicionó un estándar de concentración conocida con el objetivo de conocer sus porcentajes de recuperación en agua (tabla 1) y sedimentos (tabla 2) los cuales estuvieron entre 70 y 122%. Los límites de detección de los métodos utilizados para los análisis en ambas matrices son reflejados en las tablas 1 y 2.

RESULTADOS

Agua

Los valores de Mercurio total detectados en los puntos del río San Juan (tabla 1) oscilaron entre <L.D. y 0.22 :gAL⁻¹; el máximo valor correspondió a la estación de muestreo No. 3 (río San Carlos desembocadura). En la misma tabla se encuentran las

concentraciones de arsénico total, los cuales alcanzaron hasta valores de 4.26 :gAL^{-1} , la menor concentración fue detectada en el punto río Frío Adentro y el valor máximo correspondió al igual que el mercurio al punto No. 3 (río San Carlos desembocadura).

El plomo total (tabla 1) determinado en el agua en el primer muestreo estuvieron en rango desde $< \text{L.D. a } 7.05 \text{ :gAL}^{-1}$; la máxima concentración corresponde a la estación de muestreo No. 2, río Frío Adentro. Los niveles de cadmio encontrados en las estaciones de muestreo (tabla 1) fluctuaron entre $< \text{L.D. a } 0.40 \text{ :gAL}^{-1}$, habiéndose encontrado la mayor concentración en el punto No. 7, Delta.

Los contenidos de cobre total en agua detectados en las estaciones de muestreo (tabla 1) fluctuaron de $< \text{L.D. a } 9.90 \text{ :gAL}^{-1}$, siendo determinado el mayor contenido en el punto No. 6, Sarapiquí-La Ceiba. Las concentraciones de cromo total en los puntos de muestreo (tabla 1) variaron desde 1.04 hasta 3.35 :gAL^{-1} , detectando el valor más alto en la estación de muestreo No. 6, Sarapiquí-La Ceiba.

Sedimentos

La concentración de mercurio en el sedimento del primer muestreo del río San Juan varió de 0.03 a 0.27 mg.kg^{-1} ; habiéndose detectado la mayor concentración en el punto de muestreo No. 7, Delta (tabla 2). En el segundo muestreo el rango fue de 0.03 a 0.48 mg.kg^{-1} con una concentración media de 0.15 mg.kg^{-1} ; el valor máximo fue detectado en el punto No. 1, San Carlos (tabla 4).

La concentración de arsénico en el sedimento del primer muestreo del río San Juan estuvo entre 1.33 a 4.02 mg.kg^{-1} , con un valor medio de 2.2 mg.kg^{-1} siendo el de mayor concentración el punto No. 2, río Frío adentro (tabla 2). En el segundo muestreo (1993) las concentraciones detectados estuvieron en un rango de 0.92 a 5.28 mg.kg^{-1} con un valor promedio de 2.83 mg.kg^{-1} , El valor más alto correspondió a la estación No. 13, río Poco Sol (tabla 4).

Las concentraciones de plomo en los sedimentos del primer muestreo del río San Juan se consideraron bastante uniformes, variaron de 19.82 a 42.47 mg.kg^{-1} con una concentración media de 26.87 mg.kg^{-1} ; la mayor concentración se detectó en el punto No. 3, río San Carlos desembocadura (tabla 2). En el segundo muestreo los niveles de plomo variaron de 12.38 a 28.49 mg.kg^{-1} con una media de 18.12 mg.kg^{-1} , el máximo contenido de plomo correspondió al punto No. 4, Boyas (tabla 4). Puede observarse que las concentraciones de plomo en el sedimento de los puntos 1, 2, 6, 10, 13, 14, 16, 20 y 22 del segundo muestreo son semejantes a las encontradas en los puntos 5, 6 y 7 del primero, esto probablemente es debido a que el contenido de plomo en las rocas adyacente es similar.

Las concentraciones de cadmio en los sedimentos del primer muestreo en el río San Juan fueron encontradas entre 0.57 a 2.56 mg.kg^{-1} ; con un valor medio de 1.44 mg.kg^{-1} , detectándose la mayor concentración en el punto No. 2, río Frío adentro (tabla 2). En el segundo muestreo los niveles detectados fueron de 1.02 a 2.40 mg.kg^{-1} con un valor medio de 1.60 mg.kg^{-1} siendo el punto No. 5, río El Zapote el de mayor concentración

(tabla 4).

Las concentraciones de cobre en el río San Juan, en el primer muestro estuvieron en el rango de 32.44 a 72.86 mg.kg⁻¹, con una concentración media de 46.03 mg.kg⁻¹; el máximo valor fue encontrado en la estación No. 3, río San Carlos desembocadura (tabla 2). En el segundo muestreo los niveles de cobre oscilaron entre 12.88 a 51.25 mg.kg⁻¹ con una media de 33.86 mg.kg⁻¹ correspondiendo su máximo valor a la estación No. 21, río Bartola/R.S.J. (tabla 4).

El contenido de cromo en los sedimentos del primer muestreo en el río San Juan detectados estuvo entre 29.50 y 81.32 mg.kg⁻¹, la concentración media fue de 48.14 mg.kg⁻¹, el valor más alto corresponde al punto No. 6, Sarapiquí-La Ceiba 2 km. (tabla 2). En el segundo muestreo fueron encontradas concentraciones que variaron de 25.38 a 72.86 mg.kg⁻¹ con una media de 36.84 mg.kg⁻¹, la máxima concentración correspondió al punto No. 11, río Medio Queso (tabla 4).

Al comparar estos estudios se observa que las concentraciones encontradas en el sedimento para el cromo, los puntos 1, 4, y 5 del primer período son similares con los puntos 4, 10, 12, 16, 17 y 21 del segundo.

Tabla Nº 1 Concentraciones de mercurio, arsénico, plomo, cadmio, cobre y cromo en agua del río San Juan 1992, expresados en $\mu\text{g.L}^{-1}$

Elementos	Río Frío Desemb.	Río Frío Adentro	Río San Carlos Desemb.	Río San Carlos 100 mts Adent	Río Sarapiquí R.S.J.	Río Sarapiquí La Ceiba 2 km	Delta	Límite de Detección	% de Recobro
Mercurio	< Id	< Id	0.22	< Id	0.07	0.21	< Id	0.07	95 - 105
Arsénico	1.90	0.92	4.26	1.98	3.05	4.08	3.23	1.70	94 - 120
Plomo	1.67	7.05	< Id	< Id	< Id	5.82	< Id	0.94	87 - 110
Cadmio	< Id	< Id	< Id	< Id	0.34	< Id	0.40	0.15	85 - 90
Cobre	< Id	< Id	< Id	< Id	< Id	9.90	< Id	3.10	95 - 110
Cromo	1.04	1.25	1.42	1.14	1.60	3.35	1.25	1.10	95 -105

Tabla Nº 2 Concentraciones de mercurio, arsénico, plomo, cadmio, cobre y cromo en sedimentos del río San Juan 1992, expresados en mg.kg^{-1}

Elementos	Río Frío Desemb.	Río Frío Adentro	Río San Carlos Desemb.	Río San Carlos 100 mts Adent	Río Sarapiquí R.S.J.	Río Sarapiquí La Ceiba 2 km	Delta	Límite de Detección	% de Recobro
Mercurio	0.14	0.08	0.18	0.06	0.20	0.03	0.27	0.002	70 - 115
Arsénico	3.05	4.02	1.64	1.79	1.87	1.33	1.85	0.11	70 - 122
Plomo	28.27	26.93	42.47	27.49	20.74	19.82	22.41	0.50	75 - 100
Cadmio	1.28	2.56	1.34	1.77	1.30	0.57	1.32	0.02	80 - 105
Cobre	32.44	40.72	72.86	32.91	40.24	57.79	45.23	0.25	90 - 108
Cromo	36.62	29.50	66.20	43.32	48.12	81.32	31.95	0.50	90 -118

Tabla Nº 3 Concentraciones de plomo, cadmio, arsénico, cobre, cromo y mercurio en materiales de referencia en sedimentos, expresados en mg.kg^{-1}

Muestras	Plomo	Cadmio	Arsénico	Cobre	Cromo	Mercurio
NBS 2704	161±17	3.45± 0.22	23.4 ± 0.8	98.6 ± 5.0	135 ± 5.0	1.44± 0.07
CIRA-UNAN	175	3.40	22.90	100	131	1.40
% R.S.D	3.4	9.10	4.20	2.50	2.80	4.90

Tabla No. 4 Concentraciones de mercurio, arsénico, plomo, cadmio, cobre y cromo en sedimentos del río San Juan (1993), expresados en mg.kg⁻¹.

Estaciones de muestreo	Hg	As	Cr	Pb	Cd	Cu
San Carlos	0.48	1.67	32.15	22.18	1.10	45.23
Isla Venada/Barlovento	0.18	1.9	26.53	19.58	1.02	33.15
Isla Venada/Sotavento	0.26	0.92	31.95	15.79	2.07	21.06
Boyas	0.24	3.05	40.23	28.49	1.34	29.5
Río El Zapote	0.12	3.23	29.53	17.44	2.40	43.23
Río Papaturre	0.19	4.26	32.33	19.21	1.02	12.88
Mancarrón	0.18	3.25	29.53	14.62	1.26	29.50
Río Melchora	0.08	1.85	33.28	16.35	1.59	31.59
Río Melchora/RSJ	0.14	2.68	40.72	19.73	1.21	29.58
Río Medio Queso	0.11	3.04	72.86	12.38	1.99	32.27
Río Medio Queso/RSJ	0.22	2.1	45.28	17.29	1.5	39.18
Río Poco Sol	0.21	5.28	35.49	18.27	1.73	29.20
Río Poco Sol/RSJ	0.12	2.17	28.64	21.31	1.3	38.15
Río San Carlos	0.05	3.52	29.82	16.54	2.04	41.25
Río San Carlos/RSJ	0.07	4.25	46.32	19.22	2.19	43.54
Río Sarapiquí	0.03	3.21	40.10	16.17	1.29	30.28
Río Sarapiquí/RSJ	0.03	2.59	38.42	16.55	2.09	36.80
Río Bartola	0.09	1.49	35.21	20.15	1.24	37.45
Río Bartola/RSJ	0.11	2.48	43.25	14.23	1.89	51.25
Río Sábalo	0.10	4.02	35.19	19.88	1.03	27.19
Río Sábalo/RSJ	0.20	3.19	38.29	17.49	2.11	29.56
El Castillo	0.18	2.18	25.38	15.81	1.58	33.17

DISCUSION

Agua

Las concentraciones de mercurio detectadas en agua en las diferentes estaciones de muestreo en el río San Juan se encuentran dentro de los rangos normales establecidos por la Organización Mundial de la Salud para agua de uso potable el cual es de 1.0 :gAL^{-1} . En lugares donde no hay evidencia de contaminación por Mercurio los niveles de este elemento en los cuerpos de agua dulce son menores de 0.2 :gAL^{-1} , (Borgmann, 1983).

En la mayoría de las veces, la contaminación del agua se debe a desechos industriales que contienen mercurio. El mercurio en el agua puede sufrir el proceso de metilación transformándose en metil-mercurio, el cual puede ser ingerido y bioacumulado por los peces y la biota acuática y a través de éstos puede alcanzar al hombre. Gran cantidad de estos compuestos orgánicos se desmetilan causando altas concentraciones de mercurio en los riñones y el hígado. (Galvao & Corey, 1987).

Las concentraciones de arsénico total en agua del río San Juan son valores normales según las normas establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS), debido a que el valor guía para agua de uso potable es de 50 :gAL^{-1} . Un gran número de abastecimientos de agua contienen niveles muy bajos de arsénico que generalmente son menores de 10 :gAL^{-1} (OMS, 1984).

Los valores de plomo total en agua de las diferentes estaciones de muestreo están por debajo del límite establecido para agua de consumo humano por la OMS que es de 50 :gAL^{-1} . La concentración de plomo detectada en el agua del río San Juan es baja, esta se puede comparar con las concentraciones de plomo natural en agua. Se ha estimado que el contenido de plomo natural en el agua de ríos y lagos de todo el mundo es de $1-10 \text{ :gAL}^{-1}$. La presencia de plomo en el agua dulce generalmente esta ligada a la contaminación con desechos metalúrgicos o descargas industriales que contienen plomo. (Borgmann, 1983).

Se observo que los valores de cadmio detectados en agua del río San Juan es diez veces menor que la norma establecida según la organización mundial de la salud (OMS), la cual establece un valor guía de 5 :gAL^{-1} como límite permisible para agua de consumo humano. En aguas de ríos no contaminados se encuentran en concentraciones menores de 1 :gAL^{-1} . (Galvao & Corey, 1987).

Aguas superficiales que contienen pocos microgramos de cadmio por litro probablemente han sido contaminados por descargas de desechos industriales. (OMS, 1984). En el organismo el 50 % del cadmio ingerido se acumula en el hígado y los riñones. (Galvao & Corey, 1987). El cadmio puede acumularse en altas concentraciones en una gran variedad de organismos acuáticos (Moore & Ramamoorthy, 1984).

Los datos obtenidos de los análisis de cobre están dentro de las normas establecidas por la OMS para agua de consumo humano que es de 1.0 mgAL^{-1} . Aproximadamente la concentración de cobre en agua dulce es menor o igual a 10 :g.L^{-1} , (Moore & Ramamoorthy, 1984). El cobre y sus compuestos están distribuidos en todo el medio ambiente y es frecuentemente encontrados en aguas superficiales.

Los peces son capaces de tomar grandes cantidades de cobre; sin embargo, esto no es problema para la nutrición humana. Los peces absorben cobre directamente del agua y lo acumulan en cantidades mas altas que el mercurio, cadmio o plomo (Wachs, 1981). El Cobre es usualmente más tóxico para los peces de agua dulce que cualquier otro metal pesado excepto el mercurio. El LC_{50} tiene un rango de $17 - 1000 \text{ :g.L}^{-1}$, bajo muchas condiciones como redox, pH, Oxígeno disuelto (Moore & Ramamoorthy, 1984).

Las concentraciones de cromo en agua del río San Juan fueron comparadas con los valores guía en agua para uso potable (50 :gAL^{-1}), los cuales se encuentran satisfactoriamente dentro de las normas establecidas por la Organización Mundial de la Salud. Debido a poca solubilidad del cromo en el agua, generalmente sus niveles naturales en el agua dulce son bajos.

En los ríos las concentraciones de cromo varían de $0.1 - 5.0 \text{ :gAL}^{-1}$; sin embargo, existen ejemplos de contaminación del agua, en algunos casos serios, en los cuales efluentes industriales y artesanales, como las curtiembres que contienen compuestos de cromo, han sido descargados en los ríos, llegando a elevar las concentraciones hasta 25 :gAL^{-1} (Galvao & Corey, 1987).

El cromo no se acumula normalmente en peces, los cuales son menos susceptibles a los efectos tóxicos que los invertebrados. En especies de agua dulce colectadas de partes industrializadas de todo el mundo su concentración es muy baja. (Borgmann, 1983).

Sedimento

La mayor parte de los sedimentos consisten o son productos de la descomposición a la intemperie de rocas preexistentes, esta masa contiene minerales detritales y minerales nuevos formados después del transporte y separación del tamaño del grano en suspensión y sedimentación; Posteriormente a la reconstitución diagenética, ellos forman arcilla y arena (Ernest, 1991).

En los dos muestreos realizados por el CIRA-UNAN en el río San Juan se detectaron concentraciones de mercurio medianamente bajas (tabla 2), comparadas con las concentraciones encontradas en el Lago Dufaul, Canadá, el cual presenta un rango entre 0.07 a 0.14 mg.kg^{-1} peso seco (Speyer, 1980). En este lago no hay presencia de contaminación antropogénica de mercurio. Sedimentos de fuentes no contaminados generalmente contienen concentraciones menores de 1 mg.kg^{-1} . (Moore & Ramamoorthy, 1984).

Los suelos normalmente contienen 0.03 mg.kg^{-1} de mercurio (Bowen, 1966). Hay una fuente natural de mercurio independiente de las acciones del hombre, esta es un ciclo general donde el mercurio es transportado a aguas superficiales por erosión del suelo y

es circulado dentro de la atmósfera por una desgasificación natural de la corteza terrestre y de los océanos (Galvao & Corey, 1987).

Las concentraciones de arsénico detectadas en los diferentes puntos de muestreo en el río San Juan para ambas épocas, están dentro de los rangos naturales para sedimentos de agua dulce. Estos valores fueron comparados con niveles de arsénico encontrados en los sedimentos del Lago Asososca (sin contaminación hasta 1992) el cual alcanzó valores entre 2.6 a 16.5 mg.kg⁻¹, la concentración media en 1992 fue de 8.0 mg.kg⁻¹, estas concentraciones probablemente están asociadas a su origen de tipo volcánico (Cruz, 1992).

Otra situación semejante se presenta al comparar los resultados del río San Juan con las concentraciones de arsénico detectadas en el sedimento del Lago Xolotlán (5.37 a 8.65 mg.kg⁻¹), el cual recibe desechos de una planta geotérmica, que hasta el momento no resultan contribuciones significativas considerando el volumen del Lago (Lacayo, 1992).

Los niveles relativamente altos de arsénico son encontrados en sedimentos de agua dulce y generalmente se hacen correlaciones positivas con la disminución del tamaño de las partículas del sedimento (Moore & Ramamoorthy, 1984). El contenido de arsénico total de 10 lagos de Canadá variaron de 2.7 a 13.2 mg.kg⁻¹. (Huang & Liaw, 1978). Concentraciones en materiales del fondo no contaminados se encuentran en un rango de 5 - 15 mg.kg⁻¹ (Moore & Ramamoorthy, 1984).

Los valores de plomo detectados en el sedimento levemente sobrepasan el rango proporcionado para suelos; esto nos hace suponer que la concentración de plomo en los suelos adyacentes al río, presenta valores mayores que los encontrados en los sedimentos, sin dejar de tomar en cuenta el aporte substancial que realizan los motores de las lanchas que navegan continuamente sobre el río. En áreas no contaminadas las concentraciones en el sedimento varían de 2 a 50 mg.kg⁻¹, El contenido de plomo va a depender de la naturaleza de las rocas adyacentes (Moore & Ramamoorthy, 1984).

El plomo es un elemento que se encuentra naturalmente en todas partes (aire, suelo, rocas, sedimentos y agua) y en todos los componentes de la biosfera. Sus concentraciones naturales no son muy altas. El plomo en las rocas se encuentra en concentraciones de 10 a 20 mg.kg⁻¹. La concentración promedio de plomo en suelos normales varía de 10 a 40 mg.kg⁻¹ peso seco (Ernest, 1991).

Los rangos de las concentraciones de cadmio en los sedimentos del río San Juan para ambos muestreos presentan similitud, por lo que podría decirse son propios de la zona. Estos rangos más o menos se encuentran tres veces por encima de los niveles encontrados en sedimentos de ríos no contaminados entre 0.4 a 0.8 mg.kg⁻¹ (Forstner, 1980), estas concentraciones no resultan ser muy significativas ya que los niveles de ríos considerados contaminados por fuentes industriales pueden alcanzar sin embargo,

niveles de ríos contaminados varían entre 30 a 400 mg.kg⁻¹ y en ríos extremadamente contaminados pueden alcanzar 800 mg.kg⁻¹ y aún más altas (Forstner, 1980).

Las concentraciones críticas de cadmio en suelo arenoso fue de 0.5 mg.kg⁻¹ y en el suelo arcilloso de 1.0 mg.kg⁻¹ (DE BOO, 1989). En Netherlands, han sido encontrados niveles de 0.3 mg.kg⁻¹ en la arena y 0.4 mg.kg⁻¹ en arcilla (Ernest, 1991).

Los datos obtenidos en los análisis de cobre en el sedimento del río San Juan reflejan concentraciones (32.44 a 72.86 mg.kg⁻¹) de origen natural, ya que las concentraciones de cobre en sedimentos del lago Asososca estuvieron en el rango de 36.6 a 73.3 mg.kg⁻¹, estas concentraciones fueron consideradas naturales (Cruz, 1992). Se han detectados concentraciones de cobre en sedimentos en un rango de 7.0 a 62 mg.kg⁻¹ peso seco en los lagos Articos - Canadá (Moore et al., 1979).

El cobre es absorbido por los sedimentos, resultando en niveles de residuos altos, la relación de absorción varía con el tipo de sedimentos, pH, competencia de cationes y la presencia de ligandos de óxidos de hierro y manganeso. En sedimentos de agua dulce, no contaminados, generalmente contienen niveles # 20.0 mg.kg⁻¹ (Moore & Ramamoorthy, 1984).

Las concentraciones de cromo máximas encontradas en punto 11 (río Medio Queso) se debe probablemente a la presencia de cooperativas de curtiembre que vierten sus desechos en los ríos Sarapiquí y Medio Queso en territorio Costarricense que a su vez desembocan en el río San Juan. Comparados Se conocen niveles de cromo total en sedimentos del Lago Superior (Canadá) de 26.0 a 60 mg.kg⁻¹ y un valor medio de 48.0 mg.kg⁻¹ (Kemp et. al., 1978).

El cromo es un elemento encontrado en muchos minerales, este es considerado esencial para una parte de los organismos vivos (como biológicamente cromo activo BAC para metabolismo de la glucosa). Una deficiencia de cromo en animales puede producir diabetes, arteriosclerosis, problemas de crecimiento y cataratas (Kieffer, 1979). El cromo es más abundante que el cinc y el cobre, por lo tanto muchas rocas y sedimentos contienen de 70 a 90 mg.kg⁻¹ (Bowen, 1979).

En los casos de mercurio, arsénico, plomo, cromo, cobre y cadmio en agua y mercurio, arsénico y plomo en sedimentos del río San Juan y sus tributarios las concentraciones de estos metales pesados han sido consideradas de origen natural. Para el sedimento se encontraron concentraciones de cadmio, cobre, cromo ligeramente por encima de los valores encontrados en la literatura, esto conlleva a creer que el contenido de estos metales pesados en ambas matrices no tienen relación con la muerte masiva de peces en el río San Juan.

CONCLUSIONES

- Todas las concentraciones de los seis metales pesados analizados en aguas del río San Juan (1992) se encuentran dentro de los rangos permisibles para aguas naturales y de consumo humano, según La Organización Mundial de la Salud.
- Los análisis de metales pesados en las muestras de sedimentos del primer y segundo muestreo reflejaron concentraciones normales de mercurio, arsénico, cadmio, cobre, plomo y cromo en los sedimentos.
- El contenido de metales pesados en el sedimento del río San Juan y sus principales tributarios son concentraciones propias de la zona, ya que las estaciones estudiadas en los dos muestreo tienen una semejanza en sus concentraciones, por lo tanto, consideramos como línea base estos niveles para este ecosistema acuático.

REFERENCIAS

- Borgmann, U. 1983. Metal speciation and toxicity of free metals ions to aquatic biota. John Wiley and sons, New York.
- Bowen, H.j.M. 1979. Environmental Chemistry of the Elements. Academic Press, London-New York-Toronto-Sydney-San Francisco.
- Bowen, H.J.M., 1966. Trace Elements in biochemistry, the biochemistry of the elements, chapter 12. pp. 173 - 210.
- Cruz, G.A., I. Fomsgaard, J. Lacayo. 1992. Plomo, arsénico, cadmio y cobre en el Lago Asososca, Nicaragua. Chemosphere.
- De Boo, W. 1989. Cadmium in Soil and Crops. Toxicol. environ. Chem., in press.
- Forstner, U. 1980, Cadmium, in: Hutzinger, O. (ed): The Handbook of Environmental Chemistry, vol.3, Part A, pp 59 -107, pp. 40 - 46, Springer, Berlin-Heidelber-New York.
- Galvao, Luiz., Corey, German. 1987. Cadmio, Cromo, Mercurio y Plomo. OMS, Metepec, México.
- Guenther, K., Henze, W., and Umland, F. 1987. Mobilization Behaviour of Thelliumand Cadmium in a River sediment, Fresenius Z. Anal. Chem. 327, 301- 303.

- Huang, P.M., and W.K. Liaw. 1979. Adsorption of arsenite by lake sediments, *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie* 64:263-271.
- Incer, Jaime, 1984. *Geografía Básica de Nicaragua*. pp. 45.
- Kemp, A.L.W., J.D.H. William, R.L., Thomas and M.L. Gregory, 1978. Impact of Man's activities on the chemical composition of the sediments of lakes superior and huron. *Water, Air and Soil Pollution* 10:381-402.
- Kieffer, F. 1979. Spurenelemente steuern die Gesundheit. *Sandoz Bull.*, 52, 18 -19.
- Lacayo , R. M., G. A. Cruz, M. J. Lacayo. R. S. Calero., I. Fomsgaard. 1992. Arsénico en el Lago Xolotlán, Nicaragua. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 49:463-470.
- Merian, E., 1991, *Metals and their compounds in the Environment, Occurrence, Analysis and Biological Relevance*. pp 7-8, Cadmium pp 818- Chromium pp 853-871, Lead pp971-977 .
- Moore, J.W. and S. Ramamoorthy, 1984. Heavy Metals in Natural Waters. *Applied Monitoring and Impact Assessment*. Capítulos III, V, VI, VII. pp 28-51, 77-86, 100-110, 125-137.
- Moore, J. W., V. A. Beaubien, and D.J. Sutherland, 1979. Comparative effects of sediments and water contamination on benthic invertebrates in four lakes. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 23:840 -847.
- OMS, 1984. *Guías para la calidad de agua potable*. Geneva.
- Speyer, M.R., 1980. mercury and Selenium concentration in Fish, sediments and water of two northwestern Quebec lakes. *Bulletin of Environmental Contamination and toxicology* 24:427-432.
- Standard Methods for Examination Water and Wastewater. 1985. Sección 3030E
- Varian. *Analytical Methods for Graphite Tube Atomizers*. 1988. pp 42,43, 44, 53.
- Varian. *Analytical Methods for Flame Spectroscopy*. 1979. pp 10, 12, 14, 39.
- Varian. *VGA-76, Vapor Generation Accessory (Operational Manual)*. 1984. pp 16
- Wachs, B. 1981. *Siecherh. Chem. Umwelt* 1, pp 113-115.