

Estudio ambiental preliminar de los sedimentos de tres embalses de la región centro norte de Venezuela

María A. Álvarez, Francisco Méndez y José Chirinos*

Centro de Química Analítica, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 1041, Venezuela.

Recibido: Aceptado:

Resumen

Se analizaron los sedimentos de tres embalses de la zona centro norte de Venezuela (Quebrada Seca, Lagartijo y La Perea), para establecer su estado ambiental y comparar su composición. De acuerdo a los resultados, los sedimentos de los tres embalses pertenecieron a la categoría de limos y arcillas, presentando concentraciones de Co, Cr, Cu, Ni, Zn y carbón orgánico por encima de los valores considerados base. Los tres embalses presentaron diferencias de acuerdo a las concentraciones de los elementos mayoritarios en sus sedimentos, lo cual se atribuye a diferencias litológicas entre las zonas donde se encuentran. Asimismo, de acuerdo a la concentración de los elementos minoritarios, el embalse Quebrada Seca se diferenció de Lagartijo y La Perea, presentando las mayores concentraciones de Cr, Ni y Zn. Las diferencias presentadas por el embalse Quebrada Seca coincide con resultados de estudios limnológicos realizados por otros autores. Los índices de contaminación determinados, clasifican a los sedimentos de los tres embalses como "no contaminados a contaminados" para la mayoría de los elementos, excepto para el Cd en el embalse Lagartijo donde los sedimentos presentaron una contaminación "de moderada a fuerte". La contaminación de estos sedimentos podría estar relacionada con el bombeo de agua que reciben los embalses estudiados desde la cuenca del río Tuy mediante el sistema Tuy, donde otros autores han determinado una importante intervención antropogénica en sus sedimentos suspendidos.

Palabras clave: Análisis elemental de sedimentos; embalses tropicales; estudio ambiental de sedimentos.

Preliminary environmental study of the sediments of three reservoirs of the central-north region of Venezuela

Abstract

Sediments of the top bottom of three reservoirs of the central north of Venezuela (Quebrada Seca, Lagartijo y La Perea), were analyzed for establishing their environmental status and to compare their composition. According the results, the sediments of the three reservoirs are clays and limes, showing concentrations of the elements Co, Cr, Cu, Ni, Zn and organic carbon, higher than the values considered as base. Differences amongst the three reservoirs founded according the concentration of the major elements of sediments were attributed to the particular lithology where is situated each reservoir. Regarding to minor elements, Quebrada Seca

** Autor para la correspondencia. E-mail: maralvar@ciens.ucv.ve

showed to behave differently to the other reservoirs having their sediments the highest concentrations of Cr, Ni and Zn, which agree with limnological studies performed by other authors. The composition of the sediments of the three reservoirs indicates a contamination level from "non contaminated to contaminated" for the majority of the elements, and for cadmium in the Lagartijo, the contamination founded was "from moderated to strong". The presence of this contamination in the sediments could be related to the water pumped to these reservoirs by the Tuy system, as the suspended sediments in the water of Tuy river have showed an important anthropogenic intervention in previous studies.

Key words: Elemental analyses of sediments; environmental study of sediments; tropical reservoirs.

Introducción

Los sedimentos son reconocidos como portadores y potencial fuente de contaminantes de los medios acuáticos, ya que los metales no se encuentran necesariamente ligados permanentemente a ellos, pudiendo pasar al medio acuoso mediante agentes químicos o biológicos. De esta manera, la composición de los sedimentos, además de suministrar información sobre la influencia externa de fuentes contaminantes introducidas por el hombre, es un reflejo de la calidad del agua (1).

Su estudio con fines ambientales puede realizarse empleando diversos criterios, entre los cuales se encuentran: la comparación de los valores de concentración determinados con los niveles considerados base, la determinación de posibles correlaciones entre la concentración de los elementos y la del aluminio y/o del carbón orgánico presente en el sedimento, y la determinación de diferentes índices de contaminación. Los valores base más adecuados son aquellos determinados dentro de la misma zona de estudio, en un sector considerado no contaminado. Sin embargo, eso no es siempre posible, por lo que también se emplean como valores base, valores promedio determinados para diferentes tipos de sedimentos o para diferentes rocas de la corteza terrestre, como los aportados por Turekian y Wedepohl (2) y otros presentados en las tablas SQuiRT (3).

Desde el punto de vista ambiental, los sedimentos pueden ser clasificados deter-

minando ciertos índices de contaminación, los cuales permiten calificar y conocer el grado de enriquecimiento que tiene un elemento en el sedimento y la calidad del mismo. Entre estos índices se encuentran el factor de contaminación (CF) empleado por Gonçalves *et al.* (4) que describe el enriquecimiento antropogénico de metales en sedimentos, y está definido como la relación entre la concentración del metal en el sedimento y la correspondiente para el nivel base. Según esta definición, los sedimentos reflejan un comportamiento natural cuando los factores toman valores inferiores a la unidad, mientras que valores superiores indican que la concentración del elemento se encuentra por encima de los niveles estimados como base. Por su parte, el índice de geocontaminación (I-geo) utilizado por Howar1 y Bannat (5), Jordao *et al.* (6) y Singh *et al.* (7), está definido como: $I\text{-geo} = \log_2 (C/1,5B)$, donde C es la concentración total del elemento y B es la concentración base para el mismo elemento. Según el valor obtenido se puede clasificar la calidad del sedimento como: *no contaminado* (I-geo igual a 0); *no contaminado a moderadamente contaminado* (I-geo entre 0 y 1); *moderadamente contaminado* (I-geo entre 1 y 2); *moderado a fuertemente contaminado* (I-geo entre 2 y 3); *fuertemente contaminado* (I-geo entre 3 y 4); *fuertemente contaminado a extremadamente contaminado* (I-geo entre 4 y 5); y *extremadamente contaminado* (I-geo entre 5 y 10).

Muchos metales trazas se acumulan formando complejos metálicos orgánicos,

que son relativamente estables, por lo que la presencia de carbono orgánico en los sedimentos se considera un aporte antropogénico. Por ello, las correlaciones entre la concentración del elemento y el carbono orgánico es un criterio para establecer que elementos están siendo acumulados y transportados por la materia orgánica. Esta correlación ha sido empleada por Turer *et al.* (8), encontrando que los metales Cr, Cu, Ni, Pb y Zn estaban asociados directamente con la materia orgánica en muestras de suelos de Cincinnati enriquecidos en arcillas, por lo que concluyó que el origen de estos elementos era de tipo antropogénico.

Los sedimentos que se van a caracterizar en este trabajo provienen de los embalses Quebrada Seca, La Pereza y Lagartijo, los cuales se encuentran en la zona centro norte de Venezuela y reciben agua de afluentes naturales y del río Tuy, mediante un sistema de bombeo. La Cuenca del río Tuy se encuentra en una de las regiones de Venezuela que presenta un elevado desarrollo urbano e industrial. Estudios previos de los sedimentos suspendidos y de fondo del Río Tuy han indicado la presencia de una importante intervención antropogénica. Entre estos estudios se destacan los realizados por Lugo (9), quien encontró que la concentración de los elementos As, Cd, Cu, Hg, Pb, y Zn en los sólidos suspendidos del río Tuy durante la época de sequía y lluvia estaba controlada por la actividad humana, y que en ciertas regiones de la zona de estudio las concentraciones de Cd, Cu, Pb y Zn daban indicios de un grado mayor de contaminación. Guillén (10), encontró una concentración elevada de As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn y Corg en la fracción fina (<63 μm) de los sedimentos de diferentes zonas del río Tuy en distintos meses del año, lo que atribuyó al aporte de fuentes industriales, domésticas y agropecuarias, mientras que la concentración de los elementos Co, Cr, Fe, Mn y Ni indicaron un aporte de la litología. Asimismo, determinaron que los metales estudiados y el Corg tienden a acumularse en las fracciones más

finas del sedimento. Mogollón y Bifano (11), encontraron que la acumulación y transporte de los elementos Co, Cu, Ni, Pb y Zn en sedimentos del río Tuy estaba controlada por la materia orgánica, en las zonas contaminadas. Mogollón (12), determinó que, en la fracción fina (<63 μm) de los sedimentos a lo largo del río Tuy en temporadas de lluvia y sequía, existía contaminación generalizada por los elementos Ca, Mg, Cr, Ni, Zn y Pb, y que el origen de los elementos Na, K, Al y Fe era natural.

El estudio de los sedimentos de fondo de los embalses Quebrada Seca, Lagartijo y La Pereza realizado en este trabajo, está motivado por la ausencia de información publicada sobre la composición y el estado ambiental de dichos sedimentos, y por la posible contaminación transmitida a los mismos mediante el bombeo del agua del Río Tuy, cuya intervención antropogénica ha sido determinada por otros autores (13).

El embalse Quebrada Seca (coordenadas: 10° 13' N, 66° 43' W) se encuentra sobre la quebrada del mismo nombre, entre Santa Teresa del Tuy y Yare, en el Estado Miranda (Venezuela). La alimentación principal del embalse se hace por bombeo de agua del río Tuy o por interconexión con el vecino embalse Lagartijo. Según información de Petróleos de Venezuela (14), este embalse se encuentra en la Formación Tuy, que se caracteriza por una intercalación de gravas heterogéneas y conglomerados líticos mal consolidados, con matriz limo-arcillosa abundante y a veces con cemento calcáreo, intercaladas con arcillas y lutitas. Su profundidad media es de 7,6 m y el tiempo de renovación de de 17 días (15).

El embalse La Pereza (coordenadas: 10° 27' N, 66° 46' W) se encuentra sobre la quebrada La Pereza, a 18 Km de Petare en el Estado Miranda y de acuerdo a la información de Petróleos de Venezuela (14), este embalse recibe agua por bombeo proveniente del Sistema Tuy II. La geología esta constituida por esquistos sericíticos calcáreos y grafitosos y

pequeñas vetas de cuarzo. Adyacente se tienen las formaciones Las Brisas y Las Mercedes. Su profundidad media es de 14 m y el tiempo de renovación de 12 días (15).

El embalse Lagartijo (coordenadas: 10° 11' N, 66° 43' W) se encuentra sobre el río Lagartijo, a 4 Km de San Francisco de Yare en el estado Miranda. Su volumen normal se ubica alrededor de los 80 millones de metros cúbicos, y de acuerdo a información de Petróleos de Venezuela (14), La geología de la zona está constituida por esquistos micáceos, calcáreos a veces arenosos, cruzados por delgadas capas de cuarzo. El embalse Lagartijo se encuentra en la formación Paracotos. Su profundidad media es de 17,5 m y el tiempo de renovación de 243 días (15).

Los embalses estudiados se encuentran interconectados por el Sistema Tuy y se emplean para suministrar agua potable a la zona metropolitana de la ciudad de Caracas.

Material y Métodos

Equipos

Los análisis de los sedimentos se realizaron empleando un espectrofotómetro de absorción atómica con llama, marca GBC, modelo Avanta, un espectrofotómetro de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente, marca Termo Jarrel Ash, modelo Iris HR y un analizador elemental de carbono, marca Leco, modelo C-144. La digestión de los sedimentos se realizó en un horno de microondas, marca CEM modelo MDS-2000, y envases de teflón PTFE.

Reactivos

Para el tratamiento de las muestras y preparación de soluciones se emplearon ácido nítrico, 65% marca Riedel de Haën, ácido fluorhídrico 48% marca Ashland, soluciones estándar de 1000 µg/L de los diferentes elementos, marca Riedel de Haën y Merk y agua desionizada 18 Milli-Q.

Metodología

Muestreo. Los sedimentos fueron recolectados entre las fechas de febrero a agosto del año 1999, realizándose en este tiempo: tres, cuatro y siete muestreos en las partes más profundas de los embalses Quebrada Seca, La Pereza y Lagartijo, respectivamente. Para ello se empleó una draga Ekman, por lo que corresponden, aproximadamente, a los primeros 20 cm de los sedimentos del fondo de los embalses. Una vez recolectados, trasladados y mantenidos en frío hasta su posterior procesamiento, los sedimentos fueron secados a temperatura ambiente y almacenados hasta el momento de su estudio.

Distribución granulométrica de los sedimentos. Las muestras de sedimentos secos fueron disgregadas en un mortero, humedecidas con agua des-ionizada, homogeneizadas y tamizadas en húmedo a través de una serie de tamices entre 63 y 4000 µm. Una vez tamizados, los sedimentos se dejaron secar a temperatura ambiente y posteriormente fueron triturados en un molino de tungsteno, guardándose el respectivo testigo de la muestra.

Análisis de los sedimentos. Los sedimentos fueron sometidos a un procedimiento de digestión total siguiendo la normativa EPA 3052 (16). Este procedimiento consistió en pesar 0,1000 g de muestra, a la cual se le añadieron 2 mL de ácido fluorhídrico, 6 mL de ácido nítrico y 2 mL de agua destilada. Las muestras fueron llevadas al horno de microondas y una vez digestadas, se agregaron 10 mL de ácido bórico al 10 % para acomplejar el ácido fluorhídrico excedente. Finalmente la solución fue aforada a un volumen final de 50 mL.

La determinación de la concentración de los elementos se realizó mediante espectrometría de absorción atómica con llama (FAAS) y espectrometría de emisión atómica con plasmas acoplados inductivamente (ICPAES), y para carbono mediante análisis elemental. El método de análisis fue validado con el material

certificado LKSD-4 de sedimentos de lago, el cual fue analizado por cuadruplicado para la determinación de los elementos mayoritarios Al, Ca, Mg y Si mediante FAAS y de los elementos minoritarios Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Ti, V, Zn mediante ICPAES. El contenido de carbono orgánico fue determinado por diferencia entre los valores de carbono total e inorgánico obtenidos mediante el analizador elemental. Los resultados de concentración obtenidos para todos los elementos en el material certificado no presentaron diferencias significativas ($P=0,05\%$) de los valores de referencia, indicando que el método analítico empleado para la digestión y determinación de los elementos en la muestra es cuantitativamente confiable. El análisis de las muestras de sedimentos de los embalses se realizó por duplicado.

Estudio comparativo de los sedimentos de los diferentes embalses. Para establecer alguna posible relación entre los sedimentos de los diferentes embalses de acuerdo a su contenido de elementos se empleó el análisis de Cluster como método de agrupamiento, empleándose para ello el programa Statgraphics plus 5.0.

Estudio ambiental preliminar de los sedimentos. El estudio ambiental se realizó comparando los valores de concentración obtenidos para los diferentes elementos en las muestras de sedimentos con los niveles considerados base por la literatura y empleados internacionalmente, tales como los reportados por Turekian y Wedepohl (2) correspondientes a lutitas, los establecidos en las tablas SQuiRT (3) que corresponden a promedios obtenidos en sedimentos de aguas dulces de las costas de Estados Unidos, y los de Gavin *et al.* (17) que corresponden a sedimentos de ríos australianos. Adicionalmente se determinaron los Índices de geocontaminación (I-geo), empleados por Howarl y Banat (5), Jordao *et al.* (6) y Singh *et al.* (7) para designar la calidad del sedimento, y el Factores de Contaminación (CF), empleados por Goncalves *et al.* (4), para describir el enriquecimiento antropogénico de

metales en los sedimentos. Ambos índices fueron determinados empleando los valores base de Turekian y Wedepohl (2), ya que estos valores son más generales puesto que corresponden a la composición promedio de las lutitas en diferentes partes del mundo.

Resultados y Discusión

Distribución granulométrica y composición de los sedimentos

Todas las muestras de sedimentos de los tres embalses mostraron la misma distribución granulométrica, correspondiendo a la fracción más fina definida como limos y arcillas ($< 63 \mu\text{m}$), donde suele mostrarse el mayor contraste entre las muestras no contaminadas y las contaminadas (18).

El coeficiente de variación porcentual (CV) obtenido para las concentraciones de los elementos fue menor del 5%, el cual incluye el error analítico y de muestreo para cada muestra. Puesto que el CV obtenido es aceptable, de acuerdo a las técnicas analíticas empleadas, puede considerarse que el error entre muestreos no introdujo variaciones adicionales en la concentración y por lo tanto, las técnicas de muestreo y de análisis empleadas en este estudio son adecuadas para la determinación de variaciones geoquímicas. En las Tablas 1 y 2 se muestran las medianas de las concentraciones de cada elemento obtenidas, considerando los diferentes muestreos realizados en cada uno de los embalses.

Comparación entre embalses de acuerdo a la composición de sus sedimentos

Los elementos considerados en el estudio fueron separados en dos grupos: los elementos mayoritarios: Al, Ca, Mg, Si, Ti y elementos minoritarios: Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn. El análisis de agrupamiento realizado para los elementos mayoritarios se presenta en la Figura 1, y para los elementos minoritarios en las Figura 2. Los dendogramas mostrados se obtuvieron aplicando el método de agrupación de Ward's, que considera la distancia euclidiana al cuadrado, y cada

Tabla 1
Concentración de los elementos mayoritarios en los sedimentos.

Elemento	Mediana desviación estándar (% p/p)		
	Lagartijo	La Pereza	Quebrada Seca
Al	8,2 ± 0,2	5,5 ± 0,4	4,8 ± 0,4
Ca	1,7 ± 0,5	0,5 ± 0,1	0,17 ± 0,02
Fe	6,3 ± 0,1	7,3 ± 0,3	7,4 ± 0,7
Mg	1,57 ± 0,09	0,4 ± 0,1	0,44 ± 0,08
Si	22,6 ± 0,6	20,7 ± 0,9	24 ± 1

Tabla 2
Concentración de los elementos minoritarios en los sedimentos.

Elemento	Mediana ± desviación estándar (µg/g)		
	Lagartijo	La Pereza	Quebrada Seca
Cd	ND	ND	3,6 ± 0,1
Co	67 ± 2	75 ± 4	73 ± 1
Cr	274 ± 1	115 ± 10	133 ± 9
Cu	86 ± 10	112 ± 3	118 ± 4
Mn	1141 ± 104	1216 ± 200	1011 ± 176
Ni	166 ± 24	102 ± 13	90 ± 7
Pb	10 ± 1	17 ± 5	8 ± 4
Ti	5414 ± 53	5352 ± 191	5630 ± 88
V	260 ± 14	269 ± 8	293 ± 3
Zn	267 ± 9	173 ± 13	141 ± 2
Corg	1,3 ± 0,2	1,6 ± 0,4	1,0 ± 0,4

ND: No determinable, menor que el límite de detección para el elemento (<2,5 µg/g).

punto representa la composición de los sedimentos de cada muestreo realizado en los embalses.

Según el dendograma mostrado en la Figura 1-a), los embalses parecen pertenecer a grupos diferentes de acuerdo a las concentraciones de los elementos mayoritarios. Esta diferencia entre embalses también fue obtenida en el análisis de agrupamiento rea-

lizado para los elementos mayoritarios, tal como se muestra, a modo de ejemplo, para los elementos mayoritarios Al, Ca y Ti en la Figura 1-b).

Estas diferencias que presentan los embalses de acuerdo a la concentración de los elementos mayoritarios de sus sedimentos, estaría relacionada principalmente con las diferencias en la litología de las tres zo-

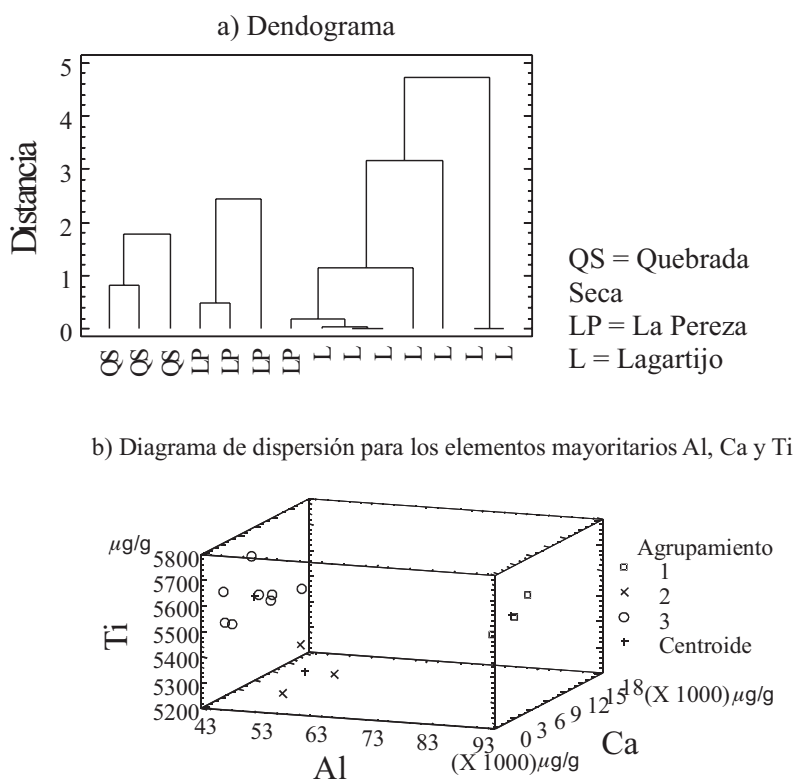


Figura 1. Dendograma y diagrama de dispersión para los elementos mayoritarios.

nas geográficas donde se encuentran los embalses, y posiblemente a diferencias en los procesos de mezcla y diferenciación de los sedimentos en cada embalse. Para una discusión más precisa se requeriría de una información más detallada de la litología de las zonas de estudio, así como análisis de los sedimentos mediante difracción de rayos X, los cuales no estuvieron disponibles y escapan al objetivo general de este trabajo.

Para el caso de los elementos minoritarios se hicieron algunos análisis preliminares empleando gráficos de estrella, observándose un comportamiento similar de los sedimentos para los elementos Co, Cr, Cu y Ni en los embalses La Pereza y Lagartijo. En el análisis de agrupamiento realizado considerando todos los elementos minoritarios se encontraron resultados similares, tal como puede apreciarse en la Figura 2-a), donde se observa que la concentración de los elementos minoritarios en los sedimentos del em-

balse Quebrada Seca, se diferencia de aquella en los otros dos embalses, La Pereza y Lagartijo. El análisis de agrupamiento realizado también mostró que los sedimentos de los tres embalses pertenecen a dos grupos bien diferenciados, tal como se presenta a modo de ejemplo en la Figura 2-b) para los elementos Ni, Cu y Co.

La separación y diferencia que presenta el embalse Quebrada Seca de los otros embalses coincide con los resultados obtenidos por Ortaz *et al.* (19), en estudios limnológicos quienes registraron el mayor grado de eutrofización en el embalse Quebrada Seca en relación con Lagartijo y La Pereza. Esto pudiera explicarse por el hecho de que las aguas crudas del río Tuy, introducidas por bombeo, permanecen en él por tiempos largos, por lo que el funcionamiento del embalse se asemeja a un reactor de pre-tratamiento. Sus aguas no son enviadas directamente al suministro doméstico, sino que pasan pre-

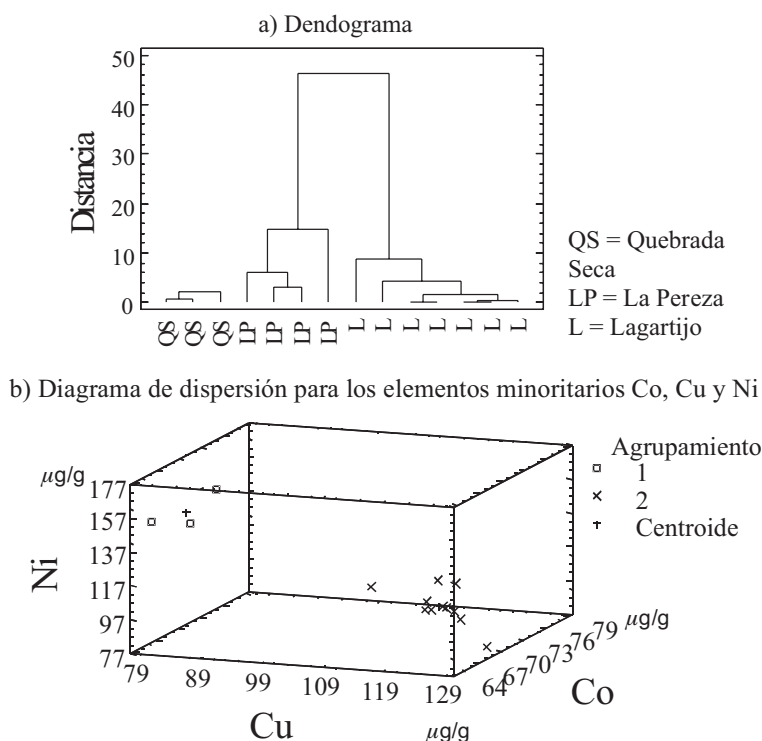


Figura 2. Dendograma y diagrama de dispersión para los elementos minoritarios.

viamente por la planta de tratamiento del embalse Lagartijo (20). Así, las diferencias en la composición de los elementos minoritarios en los sedimentos del embalse Quebrada Seca, podrían ser causadas por diferencias en los procesos de enriquecimiento, mezclado y diferenciación del sedimento que ocurren en este embalse, en relación a los otros embalses.

Estudio ambiental preliminar de los sedimentos

Los sedimentos de los tres embalses presentaron concentraciones por encima de los valores considerados base para los elementos Co, Cr, Cu, Ni y Zn, y concentraciones comparables para el Pb, tal como se observa en la Tabla 3, donde se presentan los valores base considerados en este estudio y los intervalos de concentración obtenidos para los elementos minoritarios en los sedimentos de los embalses estudiados. Para el

Cd, las concentraciones de los sedimentos del embalse Lagartijo se encontraron por encima de los valores base, mientras que en los otros embalses no pudo realizarse la comparación, ya que las concentraciones obtenidas se encontraron por debajo de los límites de detección instrumental de la técnica. Asimismo, los sedimentos del embalse Quebrada Seca presentaron los mayores valores de concentración para los elementos minoritarios Cr, Ni y Zn.

Los valores del factor de contaminación (CF) y el índice de geocontaminación (I-geo), determinados empleando los valores base de Turekian y Wedepohl (2), los cuales se muestran en la Tabla 4, indican según los criterios de los índices empleados, que: a) la concentración de los elementos minoritarios en los sedimentos es mayor que la considerada como valor base; b) los sedimentos de los tres embalses se encuentran en la categoría de “no contaminados” de acuerdo a su

Tabla 3
Intervalos de concentración de los elementos en los sedimentos y valores bases.
(Concentración en µg/g).

Elemento	Valores obtenidos			Valores base considerados		
	Quebrada La Pereza	Lagartijo	Seca	Tablas Gavin	Turekian y SQuiRT	Birch Wedepohl
Cd	ND	ND	3,6 - 3,7	0,1 - 0,3	<1	0,3
Co	65 - 68	70 - 77	70 - 75	10	13	19
Cr	273 - 274	100 - 120	120 - 145	7 - 13	16	90
Cu	80 - 99	110 - 115	113 - 126	10 - 25	18	45
Ni	150 - 198	82 - 112	80 - 98	9,9	12	68
Pb	10 - 12	15 - 26	4 - 16	4 - 17	17	20
Zn	266 - 282	150 - 182	139 - 145	7 - 38	48	95

ND: No determinable, menor que el límite de detección para el elemento (<2,5 µg/g).

Tabla 4
Factor de contaminación (CF) e índice de geocontaminación (I-geo) para los sedimentos en los embalses estudiados

Elemento	Quebrada Seca		La Pereza		Lagartijo	
	CF	I-geo	CF	I-geo	CF	I-geo
Cd	-	-	-	-	12,0 - 12,5	3,0 - 3,1
Co	3,4 - 3,6	1,2 - 1,3	3,6 - 4,0	1,3 - 1,4	3,7 - 4,0	1,3 - 1,4
Cr	3,0	1,0	1,0 - 1,3	0,2 - 0,4	1,3 - 1,6	0,4 - 0,5
Cu	1,8 - 2,2	0,3 - 0,7	2,4 - 2,5	0,7 - 0,8	2,6 - 2,8	0,8 - 0,9
Ni	2,3 - 2,9	0,6 - 1,0	1,2 - 1,6	0,2 - 0,5	1,2 - 1,4	0,2 - 0,5
Pb	0,5-0,6	< 0	0,75-1,3	0	0,2-0,8	< 0
Zn	2,8 - 3,0	0,9 - 1,0	1,6 - 1,9	0,5 - 0,6	1,5	0,4

CF: factor de contaminación; I-geo: índice de geocontaminación.

contenido de Pb y de “no contaminados a moderadamente contaminados” para los elementos, Cr, Cu, Ni y Zn, encontrándose los mayores valores en el embalse Quebrada Seca; c) todos los embalses presentan una “contaminación moderada” de Co en los sedimentos; d) Los sedimentos del embalse Lagartijo presentan una concentración de Cd que corresponde a un estado de contaminación que va de “moderada a fuerte”.

En la literatura no se encuentran valores considerados base para el contenido de carbón orgánico en sedimentos. Mogollón y Bifano (11), Mogollón (12) y Mogollón *et al* (13), registraron contaminación con carbono orgánico en los sedimentos del Rio Tuy donde determinaron concentraciones porcentuales de carbón entre 0,1 y 2,0. De acuerdo a este criterio, los sedimentos de los tres embalses estudiados en este trabajo parecen

estar enriquecidos con este elemento. La determinación de posibles correlaciones entre los diferentes elementos con el carbono orgánico, empleadas para estudiar la posible intervención antropogénica, no pudieron ser realizados en este trabajo ya que no se contó con suficientes puntos experimentales para los embalses Quebrada Seca y La Pereza, así como suficiente variabilidad en el contenido de carbón orgánico en el embalse Lagartijo.

El estado de contaminación observado en los sedimentos de los embalses estudiados podría explicarse por la presencia de actividad humana debida a la alta población existente en la zona geográfica donde se encuentran. Asimismo, la introducción de volúmenes importantes de agua del río Tuy mediante el sistema de bombeo Tuy a los embalses estudiados, podría aportar una porción considerable de sedimentos suspendidos a los embalses y con ellos una alteración de la composición de los sedimentos originales. Teniendo en cuenta que el tamaño de grano de los sedimentos de los tres embalses corresponde a la fracción fina de limos y arcillas y que la composición de los mismos se observó ligeramente enriquecida en carbón orgánico y en algunos elementos como Cu, Cr, Ni y Zn asociados a la actividad humana, pudiera considerarse significativo el aporte de los sedimentos suspendidos provenientes del agua del río Tuy a través del sistema de bombeo del Sistema Tuy, los cuales presentan una importante intervención antropogénica y contaminación por elementos como carbón orgánico, Cu, Co, Cr, Ni, Zn y Pb (11-13), lo cual concuerda con los resultados obtenidos en este trabajo.

Es importante destacar, que el término de contaminación se refiere a que los sedimentos contienen concentraciones mayores a las consideradas como valores base, lo cual no implica que los sedimentos sean tóxicos, en cuyo caso el término apropiado sería de polución. La presencia de una contaminación de los sedimentos de

los embalses estudiados reviste importancia ya que la función de estos cuerpos de agua es el suministro de agua potable a una ciudad y zonas aledañas, con una población mayor a cinco millones de habitantes, e indica la necesidad de hacer un estudio más profundo para conocer el origen de esos metales y así diagnosticar la presencia de una intervención antropogénica que pudiera ser controlada y/o eliminada.

Conclusiones

El estudio de los sedimentos de los embalses considerados muestra la presencia de cierto nivel de contaminación en elementos asociados a la actividad humana como el Corg, Cr, Ni, Cu, Zn, Co y Cd. Esta contaminación y la semejanza en el comportamiento de los sedimentos de los embalses pudiera deberse a que estos embalses se encuentran interconectados por el Sistema Tuy, a través del cual reciben agua y sedimentos del río Tuy, donde se ha determinado una fuerte intervención antropogénica y contaminación por estos elementos, así como a la presencia de importantes poblaciones cercanas a los embalses. Debido a la importancia que tienen los embalses estudiados en el suministro de agua potable, es recomendable un estudio más intensivo que permita determinar el origen de dicha contaminación para establecer las acciones pertinentes para combatirla.

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento recibido del CDCH de la Universidad Central de Venezuela a través del Proyecto de investigación Individual N° 03-00-6322-2006/1; y al Laboratorio de Limnología del Instituto de Biología Experimental de la Universidad Central de Venezuela, por el apoyo brindado en la recolección de muestras.

Referencias Bibliográficas

1. HLAVAY J., POLYÁK K., BÓDOG I., CSÖX Z. *Microchemical Journal* 51: 53-63, 1995.

2. TUREKIAN K., WEDEPOHL K. **Geological Society of America Bulletin** 72: 175-192, 1961.
3. BUCHMAN M.F., NOAA Screening Quick Reference Tables (SQuiRTs), NOAA HAZMAT Report 99-1, Coastal protection and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle WA, (<http://response.restoration.noaa.gov>), 1999.
4. GONCALVES E., BOAVENTURA R., MOUVET C. **The Science of the Total Environment** 114: 7-24, 1992.
5. HOWARL F., BANAT K. **Water Air and Soil Pollution** 132: 43-59, 2001.
6. JORDAO C., PEREIRA M., PEREIRA L. **Water Air and Soil Pollution** 140: 119-138, 2002.
7. SINGH M., MÜLLER G., SINGH B. **Water Air and Soil Pollution** 141: 35-54, 2002.
8. TURER D., MAYNARD J., SANSALONE J. **Water Air and Soil Pollution** 132: 293-314, 2001.
9. LUGO I. Estudio geoquímico de los sólidos suspendidos transportados por el río Tuy, (Trabajo Especial de Grado), **Universidad Central de Venezuela, Caracas, (Venezuela)** pp. 109, 1982.
10. GUILLÉN R. Análisis químico de los elementos Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, Mn, Fe, Co, As, Hg, y C org. En los sedimentos del río Tuy (Trabajo Especial de Grado), **Universidad Central de Venezuela, Caracas (Venezuela)** pp. 73, 1982.
11. MOGOLLÓN J., BIFANO C., Contaminación de los sedimentos de la cuenca del río Tuy (Trabajo Especial de Grado) **Universidad Central de Venezuela, Caracas (Venezuela)** pp. 54, 1987.
12. MOGOLLÓN J. Estudio geoquímico de la contaminación en sedimentos de la cuenca del río Tuy (Trabajo de Ascenso) **Universidad Central de Venezuela, Caracas (Venezuela)** pp. 153, 1985.
13. MOGOLLÓN J., RAMIREZ A., GUILLÉN R., BIFANO C. **Environ. Geochem. Health** 12: 277-287, 1990.
14. PETRÓLEOS DE VENEZUELA, Léxico estratigráfico de Venezuela (<http://www.pdvsa.com/léxico>) 1987.
15. GONZÁLEZ E.J., ORTAZ M., PEÑAHERRERA C., MONTES E., MATOS M.L., MENDOZA J. **Limnetica** 22(1-2): 15-35, 2003.
16. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Method 3052, microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices (<http://www.epa.gov>) 1996.
17. GAVIN B., SIAKA M., OWENS C. **Water Air and soil pollution** 126: 13-35, 2001.
18. FÖRSTNER U., WHITTMAN G.T.W. *Metal pollution in the aquatic environment*, 2nd Edition, Berlin, Springer-Verlag, pp. 486, 1981.
19. ORTAZ M., GONZÁLEZ E.J., MANDUCA J., PEÑAHERRERA C., MONTES E. Características limnológicas de los embalses La Pereza, Lagartijo, La Mariposa y Quebrada Seca y preservación del zooplancton como controlador de microalgas, mediante técnicas de biomanipulación (*Informe técnico*) Hidroimpacto C.A., Hidrocapital y Universidad Central de Venezuela, Caracas (Venezuela) pp. 244, 1999.
20. INFANTE A., INFANTE O., VEGAS T., RIEHL W., Proyecto multinacional de medio ambiente y recursos naturales. Informe final: I etapa (embalses Camatagua, Guanapito y Lagartijo, Venezuela, y Las Canoas, Nicaragua), *Universidad Central de Venezuela y Organización de los Estados Americanos, Caracas (Venezuela)* pp. 62, 1992.