

## ASPECTOS GEOQUÍMICOS Y AMBIENTALES DE LOS SEDIMENTOS DEL RÍO CUCHIVERO, VENEZUELA.

ARÍSTIDE MÁRQUEZ\*<sup>1</sup>, GREGORIO MARTÍNEZ <sup>1</sup>, JULIO FIGUERA <sup>2</sup>, WILLIAM SENIOR <sup>1</sup> & ÁNGEL GONZÁLEZ <sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Oceanografía, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente.*

<sup>2</sup>*Departamento de Química, Universidad de Oriente, Núcleo de sucre, Venezuela*

<sup>3</sup>*Instituto Liminológico, UDO, Bolívar.*

\*Aristide Márquez. Departamento de Oceanografía, Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente. Av. Universidad, Cerro Colorado, A. P. 245, 6001, Cumaná, Venezuela.  
E-mail. aristd@gmail.com

Resumen: La presente investigación tuvo por objetivo estudiar las características geoquímicas y las condiciones ambientales de los sedimentos del río Cuchivero, Venezuela, en función del tamaño de la partícula, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno y fósforo total, carbonatos y metales pesados. La granulometría estuvo tipificada por un predominio de arenas con bajo contenido de materia orgánica (0,52-0,87%), carbono orgánico (0,06-0,09%) y carbonatos (0,54-2,61%), así como por altos valores de nitrógeno total (602-985 mg/kg). La escasa correlación entre nitrógeno, y materia orgánica, sugiere la presencia nitrógeno y fósforo de origen alóctono y materia orgánica no Redfield. El promedio de metales pesados en mg/kg, mostró un gradiente de concentración descendente, Fe (410)> Mn (63,14)> Zn (9,01)> Ni (3,38)> (2,21Cu)> Cr (2,09)> Co (1,13)> Cd (0,21) > Pb (0,07), con una asociación hacia las arenas y carbonatos, lo cual sugiere origen litogénico. Desde el punto de vista ambiental, no se evidencia impacto antropogénico, lo cual está reflejado por niveles de materia orgánica y metales pesados que están por debajo de los valores permisibles.

Palabras claves: Sedimentos, ríos venezolanos, Cuchivero, Geoquímica, ambiental.

Abstract: This paper reports the geochemical characteristics and environmental conditions of Cuchivero river sediments in Venezuela, depending on particle size, organic matter, organic carbon, nitrogen and total phosphorus, carbonates and heavy metals. The granulometry was typified by a predominance of sands with low organic matter (0.52 to 0.87%), organic carbon (0.06 to 0.09%) and carbonates content (0.54 to 2.61%) as well as high values of total nitrogen (602-985 mg / kg). The poor correlation between nitrogen, phosphorus and organic matter, suggests presence of nitrogen and total phosphorus of allochthonous origin and no Redfield organic matter. The average heavy metals in mg/kg, showed a descending concentration gradient, Fe (410)> Mn (63.14)> Zn (9.01)> Ni (3.38)> (2.21Cu)> Cr (2.09)> Co (1.13)> Cd (0.21) > Pb (0.07) mg / kg, with an association to the sands and carbonates, suggesting lithogenic origin. From the environmental point of view, there is no evidence of anthropogenic impact, as reflected by levels of organic matter and heavy metals which are below of the permissible values.

Keywords: Sediment, Venezuelan rivers, Cuchivero, geochemistry, environmental.

### INTRODUCCIÓN

Los ríos son conjuntos complejos y funcionales de hábitat que tienen gradientes variados, y reflejan el estado y los procesos que ocurren en las superficies de las cuencas hidrográficas que drenan, siendo considerados como los ecosistemas más modificados de la tierra (ALLAN & FLECKER 1993, RODRÍGUEZ-OLARTE *et al.* 2007). Venezuela, al igual que otros países americanos situados en la región tropical, todavía posee áreas prístinas extensas que

incluyen geográficamente varios centenares de miles de kilómetros cuadrados, que alberga la mayor diversidad y volumen de biomasa verde, fauna silvestre y agua dulce del planeta. Sin embargo, hoy día, numerosas razones se han esgrimido a favor de un desarrollo o explotación acelerada de este inmenso reservorio de materia prima alimentaria, mineral y energética (MACHADO-ALLISON *et al.* 2004). La región de la Guayana Venezolana no escapa a estos procesos y riesgos. La explotación de sus minerales tales como: oro, diamantes, bauxita y además de la construcción

de sistemas hidroeléctricos del mundo, han producido: biodegradación y destrucción de inmensas áreas vegetales, la contaminación mercurial de ríos, animales silvestres y el hombre; el incremento de la sedimentación, la pérdida de la calidad y volumen de agua de numerosas fuentes hídricas importantes en el país (MACHADO-ALLISON *et al.* 2004). Los ríos de la Guayana venezolana presentan suelos sumamente lixiviados, ricos en oxihidróxidos de hierro y aluminio, lo que ha permitido considerar la región como un frágil ecosistema, susceptible a cambios bruscos por la posible intervención desmedida e irracional del hombre (MORANTES *et al.* 1998). La pequeña minería de oro y diamante en la cuenca de los ríos Cuchivero, Caroní y Cuyuní ha producido daños irreversibles en los ecosistemas terrestres y fluviales localizados en algunos puntos de estas cuencas (YANES 1997). La falta implementación de logísticas adecuadas ha impedido en muchos casos el acceso para estudiar los grandes ríos de la región de Guayana, dentro de la cual se encuentra el río Cuchivero, esto ha originado que los estudios geoquímicos sobre este ecosistema sean escasos. En vista de esta observación, se tuvo como objetivo principal, realizar un estudio de algunos aspectos geoquímicos y ambientales en los sedimentos del río Cuchivero, municipio Cedeño, estado Bolívar, Venezuela en el que se incluye, el contenido de materia orgánica, carbono orgánico, carbonato de calcio, nitrógeno y fósforo total, y contenido de metales pesados totales (Fe, Mn, Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Co, Cr). Este trabajo formó parte del Proyecto Orinoco financiado por FUNDACITE-GUAYANA (Código 000606): “Evaluación de las concentraciones de metales pesados en aguas superficiales y sedimentos de fondo del Medio Orinoco.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El Río Cuchivero (Fig.1) está localizado en el sur de Venezuela, en el estado de Bolívar, nace en la vertiente noroeste de la altiplanicie de Icutú, en la serranía de Guamapí de la sierra de Maigualida. Drena una cuenca de aproximadamente 16.000 km<sup>2</sup> de extensión, y tiene una longitud de 305 kilómetros. Sigue un rumbo predominantemente norte-noroeste hasta su desembocadura aguas abajo de la ciudad de Caicara del Orinoco. En su recorrido recibe, por el oeste o margen izquierda, al río Guaniamo, su principal afluente, y, por el este, al Sariapo (DÍAZ 2011). La investigación se realizó en una extensión aproximada de 55 km aguas

abajo, desde la zona donde se ubican las minas de diamante en el sector Guaniamo, hasta la desembocadura en el Orinoco Medio, en Caicara del Orinoco, municipio Cedeño, estado Bolívar.

### Recolección de las muestras

Se utilizó como plataforma de trabajo, un bote peñero de 6 m de largo para la recolección de sedimentos superficiales, en diez estaciones de muestreo aguas abajo a lo largo del río Cuchivero, desde la localidad de Puerto Matú en la cual se encuentran las minas de diamantes (estación 1), hasta su desembocadura en el río Orinoco (estación 10), en un trayecto de 55 km. Del grupo de estaciones muestreadas, se recolectó una muestra dentro del río Guaniamo (estación 5). Para la ubicación geográfica de cada estación se utilizó un sistema de posicionamiento global (GPS) marca Garmin 12XL. Las muestras se recolectaron utilizando una draga tipo Diez Laffont de 0,02m<sup>2</sup> de área. Con el apoyo de una paleta plástica las muestras se colocaron en frascos de polipropileno de 250 ml de capacidad previamente rotulados y lavados con una solución ácida (HCl 1 mol/l; Merck) y agua desionizada, calidad Nanopure de conductividad de 18 MΩ/cm. Las muestras luego se preservaron bajo congelación a -20 °C.

### Análisis granulométrico.

Los sedimentos fueron secados a 80°C en una estufa P SELECTA y luego pasados través de tamices de 4,00; 2,00; 1,00; 0,85; 0,50; 0,25 y 0,063 mm. Los sedimentos preservados fueron descongelados y secados a 60°C en una estufa hasta obtener un peso constante, luego se tamizaron para obtener la fracción menor a 2 mm y se pulverizaron en un mortero de porcelana, para luego ser almacenados en envases de polietileno previamente lavados hasta los análisis (MÁRQUEZ *et al.* 2009, MÁRQUEZ *et al.* 2012). Todos los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Química Marina del Departamento de Oceanografía, Instituto Oceanográfico de Venezuela.

### Análisis de laboratorio.

#### Materia orgánica total (MOT).

Fue determinada por diferencia de peso a través del método de pérdida por ignición (LOI) a 540 °C descrito en (GONZÁLEZ & RAMÍREZ 1995). Se pesaron 2 g de la muestra en un crisol previamente tarado utilizando una balanza analítica marca Denver Instrument M-10 con precisión de 0,0001g. Se secaron en una mufla durante 2 h. Una vez fría, la muestra se pesó. Este procedimiento se

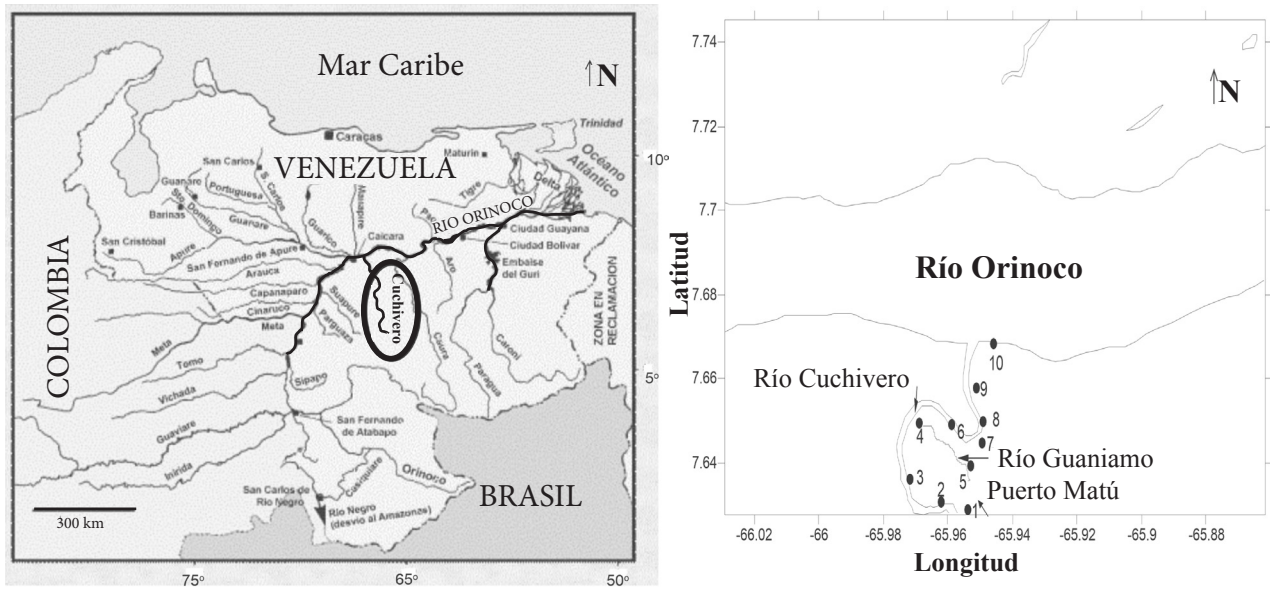


Fig. 1. Zona de estudio mostrando los sitios de recolección de las muestras en el río Cuchivero, Venezuela.

repetió por 2 h más hasta obtener un peso constante, La diferencia del peso del crisol con muestra sin calcinar y calcinado, representa la cantidad de materia orgánica perdida por ignición.

**Carbono orgánico (COT).** Fue analizado por el método de combustión húmeda (OKUDA 1964), para ello se pesaron entre 0,10 y 0,50 g de sedimento y se añadieron 10 ml de agente oxidante (ácido sulfocrómico 0,40 mol/l), se calentó hasta ebullición por 2 min y seguidamente, el exceso de  $K_2Cr_2O_7$  fue titulado con sal de Mohr 0,20 mol/l (equivalente a 0,60 g de carbono orgánico).

**Carbonato de calcio.**

Se determinaron por titulación volumétrica con NaOH 0,50 mol/l (VOGEL 1960). Para ello, se pesaron 0,50 g de sedimentos previamente calcinados, se añadieron 15 ml de HCl 0,1 mol/l y se calentó hasta ebullición. Las muestras se filtraron para eliminar la cantidad de sedimento que obstaculizaba el cambio de color del indicador en el punto final de la titulación y se valoró con NaOH 0,29 mol/l, usando como indicador azul de bromofenol.

**Nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT).**

Se determinaron por el método de digestión simultánea (VALDERRAMA 1981). El método consiste en la oxidación

simultánea del nitrógeno y el fósforo total con una solución de persulfato de potasio y adición de una mezcla de ácido bórico-hidróxido. Para el nitrógeno total, la precisión del método oscila alrededor del 4 % y la del fósforo alcanza 0,20 % (MÁRQUEZ *et al.* 2007). Se pesaron por triplicado en botellas de vidrio de 250 ml de capacidad, 50 mg de muestra, utilizando una balanza analítica con precisión de 0,0001g. Se adicionó a cada botella 5 ml de agente oxidante (peroxodisulfato de potasio, ácido bórico e hidróxido de sodio 1 mol/l en proporción 6:4:3,5, luego se sellaron herméticamente, y se digitaron en un autoclave durante 30 min a 15 psi de presión). La cuantificación de la concentración de fósforo total se realizó por el método descrito en (MURPHY & RILEY 1962), después del ajuste del pH a 5,4 usando paranitrofenol como indicador. Todas las mediciones se realizaron de forma automatizada utilizando un auto analizador Technicon II marca Scientific Instruments AC-100 (EUA). Para los análisis de nitrógeno se utilizaron patrones certificados, Marine Nutrients Standards Kit (MNSK), en Ocean Scientific International Ltd, South Down House, Station Road, Petersfield, Hants GU32 3ET, Great Britain. La precisión de los análisis de MOT, COT, NT, PT y  $CaCO_3$  fue chequeada tomando una muestra de sedimento al azar y analizando cuatro replicas del mismo. Los bajos valores de la desviación estándar y el coeficiente de variación evidencian buena reproducibilidad de los análisis (Tabla 1).

Metales pesados totales.

Dos gramos aproximadamente de muestra fueron pesados por triplicado en una balanza analítica marca Denver Instrument M-10 con precisión de 0,0001g, y luego digeridas con una mezcla de HNO<sub>3</sub>, HCl y HClO<sub>4</sub> (3:2:1), según las modificaciones propuestas por (LEWIS & LANDING 1992), utilizando un digestor de Microondas Microdigest 401 de Prolabo a 110°C, por espacio de 30 minutos. Las cuantificaciones fueron realizadas por espectrofotometría de absorción atómica con llama aire-acetileno y corrector de fondo de deuterio, utilizando un equipo Perkin Elmer modelo 3110.

Evaluación de la calidad analítica de los datos. Para la evaluación de los resultados del análisis de los metales, se utilizó un patrón de sedimento certificado por la Environmental Resource Associates: Catálogo número 540, lote 237 (PriorityPollutn/CPL. Soil). Los porcentajes de extracción de metales en las muestras fueron representativos, tal como lo demuestran desviaciones estándar bajas para la comparación de los promedios obtenidos con el rango, aceptable y el valor del patrón certificado (Tabla 1). El límite de detección para los metales

se indica en Tabla (1). Para establecer la existencia o no de contaminación por metales pesados en los sedimentos, se realizaron comparaciones con los niveles propuestos en SADIQ (1992) y otras referencias bibliográficas.

El agua utilizada para la determinación de todos los parámetros geoquímicos tanto en la preparación de reactivos, curvas de calibración y blancos de reactivos fue agua desionizada altamente pura (agua calidad NANOPURE de conductividad de 18 MÚ/cm). Esto fue alcanzado con un sistema NANOPURE UV, Marca Barnstead. Al mismo tiempo, el material volumétrico de vidrio utilizado en el laboratorio fue de Clase A y los reactivos de Clase Analítica ultra pura.

Análisis estadísticos.

Se utilizó el paquete estadístico SYSTAT 12 para determinar las asociaciones estadísticas entre parámetros mediante análisis estadístico de correlación de Pearson y Análisis de Componentes Principales (ACP). La varianza acumulativa de los tres primeros componentes fue de 70, 57%. Siendo el componente uno, el de mayor peso para explicar el comportamiento de las variables.

Tabla 1. Precisión del método de extracción de MOT (%), COT (%), NT (mg/kg), PT (mg/kg), CaCO<sub>3</sub> (%) y de metales pesados (mg/kg); sedimento de referencia, patrón Lot. N° 237.Cat. N° 540, para sedimentos del río Cuchivero, Venezuela.

Réplica	MOT	COT	CaCO <sub>3</sub>	PT	NT
1	0,85	0,07	2,56	76,92	985,2
2	0,84	0,06	2,62	71,39	979,6
3	0,87	0,07	2,58	74,67	982,81
4	0,84	0,06	2,59	71,85	980,53
Promedio	0,85	0,07	2,59	73,71	982,04
Ds	0,014	0,005	0,025	2,59	2,51
Cv	1,64	7,2	0,96	3,51	0,58

Metal	Valor Experimental (mg/kg)	Valor certificado (mg/kg)	Rango aceptable (mg/kg)	Ds (mg/kg)	Ld
Cd	48,1	52,4	40,3-64,5	0,50	0,004
Cr	81,3	88,2	70,5-106	0,40	0,02
Cu	107	108	88,7-127	0,60	0,02
Fe	7991	7760	2890-12600	6,0	0,01
Ni	51,7	55,9	43,7-68	0,40	0,004
Mn	111,7	127,0	101-154	1,2	0,002
Pb	70,61	75,10	57,2-93	1,2	0,001
Zn	87,6	87,8	67,9-108	0,40	0,002

Ds= Desviación estándar, CV= coeficiente de variación, Ld= Limite de detección.

## RESULTADOS

La granulometría de los sedimentos del río Cuchivero estuvo tipificada por un predominio de las arenas de tipo media y fina. Las medias oscilaron entre 38 - 45%, las finas entre 34 - 40 % y los lodos entre 15-27%. En el río Guaniamo estos valores fueron 45%, 40% y 15%, respectivamente (Fig. 2). Los valores de MOT oscilaron entre 0,52-0,87%, COT entre 0,06-0,09% (figura 3A, 3B), mientras que las concentración de NT varió de 602-985 mg/kg y PT entre 81-208 mg/kg (Fig. 3C, 3D), con una relación NT/PT entre 3-12 (Fig. 3E). A su vez, y  $\text{CaCO}_3$  osciló entre 0,54-2,61% (Fig. 3F). Los valores para la muestra del río Guaniamo (estación 5) para las mismas variables geoquímicas fueron, 0,76% MOT, 0,06% COT, 805 mg/kg NT, 64 mg/kg PT, 0,83%  $\text{CaCO}_3$ , respectivamente (Fig. 3). Las concentraciones de metales pesados en mg/kg para el río Cuchivero, fluctuaron para los distintos elementos entre Fe (376-430) mg/kg, Mn (75-47), Cu (0,39-371)mg/kg, Ni (1,70-5,75) mg/kg, Zn (6,45-11,92) mg/kg, Cr (1,25-3,63) mg/kg, Co (0,37-1,82) mg/kg, Cd (0,11-0,31) kg, Pb (no detectado-0,22) mg/kg. La concentración de cada metal para la muestra del río Guaniamo fue de, Fe (458) mg/kg, Mn (70,67) mg/kg, Cu (2,69) mg/kg, Ni (2,62) mg/kg, Zn (9,11) mg/kg, Cr (2,33) mg/kg, Co (1,73) mg/kg, Cd (0,22) mg/kg, Pb (0,07) mg/kg, respectivamente (Fig. 4).

## DISCUSIÓN

Las características de los sedimentos de los grandes ríos de la zona sur de Venezuela están influenciados por el lecho de cuenca por la cual discurren. Los sedimentos de los ríos Cuchivero y Guaniamo mostraron distribuciones granulométricas bastantes homogéneas en todas las estaciones; sin embargo, mostraron características de tipo arenosos, tipificados en conjunto por valores promedios de 79% de arenas finas y medias, y bajos contenidos de lodos, los cuales oscilaron en promedio alrededor del 21%. Estos altos porcentajes de arenas evidencian un lavado constante de los sedimentos debido a la alta energía de las aguas de este sistema fluvial. La cuenca del Cuchivero se encuentra situada en la parte occidental del Escudo Guayanés, y discurre por la provincia estructural que recibe su mismo nombre, la cual expone extensamente rocas plutónicas, epi-meso y meso-zonales, con vestigios mucho menos voluminosos de rocas meta-volcánicas de composición predominantemente silíceas y meta-sedimentarias de disposición clásticas (COLVEÉ *et al.* 1990).

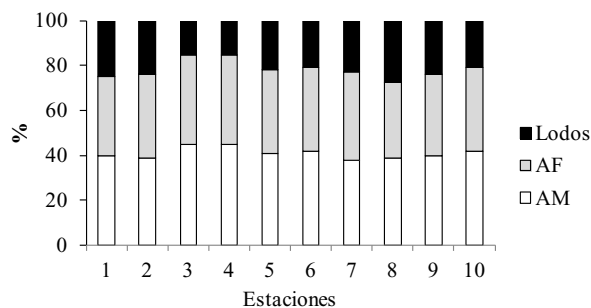


Fig. 2. Características granulométricas de los sedimentos superficiales del río Cuchivero, Venezuela.

El promedio de MOT fue 0,87% y 0,07 % de COT, respectivamente para el río Cuchivero, determinándose los más altos porcentajes en las estaciones 1 y 2. Para el río Guaniamo (estación 5), la media de concentración fue para estos parámetros, 0,76% y 0,06%, respectivamente. Al igual que en el río Cuchivero, estos valores fueron bajos en comparación con los de otros ecosistemas fluviales venezolanos. La distribución y contenido de la MOT en sedimentos depende del origen, textura, tasa de sedimentación y descomposición orgánica que presenta la fracción sedimentaria, además de las condiciones hidrográficas, hidroquímicas y biogeoquímicas del ambiente sedimentario, mientras que los afluentes aportan materia orgánica, tanto de origen biogénico como de origen antrópico, al igual, las actividades domésticas de las viviendas cercanas y los organismos planctónicos que sedimentan (SALAZAR 1989). Valores entre 1,80%-2,63% han sido reportados en sedimentos del río Orinoco (BONILLA *et al.* 1985, MÁRQUEZ *et al.* 2012). Zonas de alta contaminación de MOT son aquellas que presentan contenidos de materia orgánica total iguales o superiores al 20% (PÁEZ-OSUNA *et al.* 1986). Para este estudio, las concentraciones determinadas son inferiores a este valor.

Las concentración de NT fue alta, la media fue de 809 mg/kg en el Cuchivero detectándose los más altos valores en las estaciones aguas arriba y hacia la desembocadura del Cuchivero. En el río Guaniamo el valor fue de 804,46 mg/kg. Los asentamientos urbanos incrementan el contenido de nitrógeno por el aporte de aguas de desechos, al igual que las actividades agrícolas (DE LA LANZA & CÁCERES 1994). Este aumento puede amortiguarse por dilución cuando las características de circulación y corrientes locales lo permiten, asociado a la geomorfología y condiciones pluviales y fluviales. El



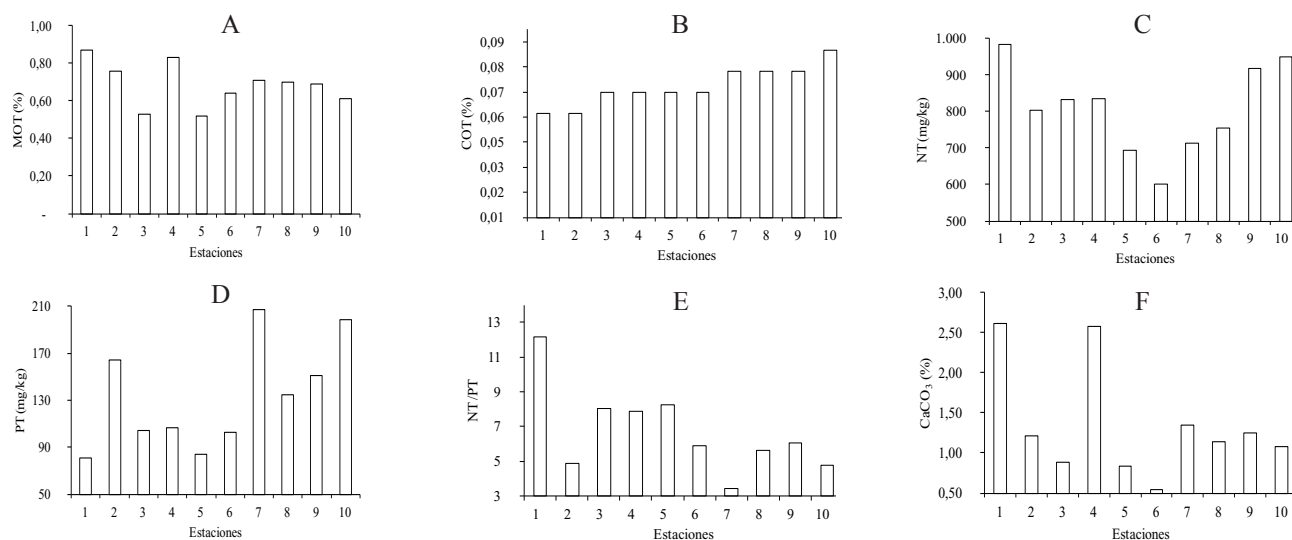


Fig. 3. Concentraciones y porcentajes de NT, PT, MOT, COT y CaCO<sub>3</sub> en los sedimentos superficiales del río Cuchivero.

promedio de PT fue inferior a NT, con valor medio r de 130 mg/kg. La distribución fue inversa al NT con valores más bajos en las estaciones aguas arriba y en el sector medio, reflejando la mayor labilidad de PT en comparación con NT (MÁRQUEZ *et al.* 2007). En el río Guaniamo los valores de estos dos parámetros fueron inferiores a los del Cuchivero, alcanzando en promedio 804 mg/kg y 164 mg/kg, respectivamente. Los ortofosfatos pueden retirarse del agua por adsorción en sedimentos hasta en un 60%, lo que explicaría las altas concentraciones de PT en las zonas fluviales y lacustres (DE LA LANZA & CÁCERES 1994, DRUSCHE *et al.* 2005). El fósforo puede ser liberado por el carbono durante la degradación anaeróbica de la materia orgánica, quedando disponible para estimular la productividad en la superficie (INGALL & JAHNKE 1997).

Los valores de la relación NT/PT en los sedimentos de Los ríos Cuchivero y Guaniamo estuvieron controlados por las concentraciones de nitrógeno, reflejando cierto grado de fertilidad orgánica. Los más altos valores se determinaron en la estación 1 y en la estación cinco ubicada dentro del río Guaniamo. En el resto del trayecto del Cuchivero hasta la desembocadura en el Orinoco, los valores fueron menores, lo que hace suponer aportes de fósforo hacia el ecosistema. En el agua generalmente esta razón es de 15:1, en el plancton es 16:1 y para algunos organismos como las macrofitas, el desarrollo óptimo se alcanza con una relación N/P de 30:1 (MÁRQUEZ *et*

*al.* 2007). El humus terrestre de proporción de Redfield C:N:P 140:6:1 libera la mayor proporción del fósforo y nitrógeno necesitado para la producción primaria de los océanos y mares, con adicionales cantidades provenientes de la disolución y del lixiviado de los minerales, por otra parte aproximadamente 45% de nitrógeno y 30% del fósforo utilizado en la agricultura, son aprovechados por las cosechas y el resto es almacenado en el suelo (WETZEL 1981, LERMAN A & MACKENZIE 2002). La relación NT/PT da un estimado de la disponibilidad de estos nutrientes para los organismos, una relación menor que 5 se interpreta como una limitación de nitrógeno y una mayor que 10 es considerada limitación de fósforo (RINALDI *et al.* 1992). Tomando en consideración esta observación solo la estación 7, los valores son inferiores a cinco, y la estación 1 mayores a 10, por lo que de manera general en nitrógeno limita la productividad de este ecosistema.

La concentración promedio de CaCO<sub>3</sub> fue de 1,41% y 0,83% para el río Cuchivero y Guaniamo, respectivamente. En el río Cuchivero, la distribución fue heterogénea mostrando su máximo valor en la estación 1 y en la unión con el Guaniamo, decreciendo las concentraciones aguas abajo. Por otra parte en el río Guaniamo el valor disminuyó en relación con los niveles del Cuchivero. La concentración de carbonato de calcio determinada en esta investigación, en general, fue baja debido a que su cuenca drena un lecho compuesto por rocas principalmente silíceas. También la escasez de conchas y calizas, ricas en carbonatos de calcio en

la zona, contribuyen a estos bajos valores. La concentración de  $\text{CaCO}_3$  es inferior al valor entre 0,84% y 8,11% determinado en el Orinoco Medio (MÁRQUEZ *et al.* 2012).

El promedio de metales pesados mostró un gradiente de concentración descendente en que siguieron la secuencia: Fe (410) mg/kg > Mn (63,14) mg/kg > Zn (9,01) mg/kg > Ni (3,38) mg/kg > Cu (2,21) mg/kg > Cr (2,09) mg/kg > Co (1,13) mg/kg > Cd (0,21) mg/kg > Pb (0,07) mg/kg, mientras que en el río Guaniamo fue: Fe (458) > Mn (70,67) mg/kg > Zn (9,11) mg/kg > Cu (2,69) mg/kg > Cr (2,33) mg/kg > Ni (2,22) mg/kg > Co (1,73) mg/kg > Cd (0,22) mg/kg > Pb (0,07) mg/kg respectivamente (Fig. 4). La distribución de hierro y manganeso (Fig. 4A, 4B) fue homogénea en todas las estaciones, y el promedio un tanto similares en ambos ríos, habiendo un predominio del hierro. Situación similar a estas distribuciones, se apreció en el cobre, aunque los valores más bajos se determinaron en las estaciones 4-8 ubicadas en la zona intermedia. Al igual, que el Fe, el Mn es un macroelemento abundante en la corteza terrestre que se encuentra en muchas rocas y minerales, siendo de baja toxicidad (AZAM & AHMED 2003). En ambientes acuáticos es altamente reactivo y presenta una alta capacidad de adsorción en forma de óxidos coloidales, lo cual contribuye en el comportamiento de otros elementos (MÁRQUEZ *et al.* 2010). Situación igual experimentó el níquel, cuyo valor máximo se observó en el río Cuchivero. La concentración de zinc por su parte, fue más homogénea en su distribución en comparación con cobre y níquel, El valor más alto fue detectado en la estación 6 (Fig. 4 B). Para sedimentos del sistema de ríos Tietê-Pinheiros en el estado de Sao Paulo, Brasil, la presencia de Cu ha sido asociada a los sulfuros y la materia orgánica (DA SILVA *et al.* 2002). El níquel es un elemento que puede estar presente en muchos minerales, óxidos, carbonatos y silicatos de hierro y manganeso (MOORE & RAMAMMORTHY 1984), siendo un elemento que por influencia de procesos inorgánicos, exhibe remoción desde la fase sólida suspendida en el agua y desde los sedimentos de fondo (ZHANG 1995). El Zn se encuentra en la naturaleza en forma de sulfuros, carbonatos, silicatos, óxidos y en los sistemas acuáticos se halla formando halogenuros e hidróxidos según las condiciones redox del medio (MOORE & RAMAMMORTHY 1984).

El cromo en el río Cuchivero mostró su máximo valor en la estación 10, valor que fue un tanto superior al reflejado en los sedimentos del Guaniamo. Las

concentraciones de cobalto a su vez, fueron mas altas en la estación 2 y en la desembocadura con el río Orinoco en la estación 10. El río Guaniamo reflejó valores inferiores a los apreciados en el Cuchivero (Fig. 4C). En el sedimento, las mayores concentraciones de Cr se encuentran en la forma trivalente que es menos tóxicas que la hexavalente (AISLABIE & LOUTIT 1986). El cobalto es un elemento raramente encontrado en la naturaleza en su forma elemental. Se encuentra en la corteza en un  $2,5 \times 10^{-3}$  % en peso, frecuentemente asociado con minerales de níquel (forbesita  $[(\text{Ni}, \text{Co})\text{HAsO}_4]$ , siegenita  $[(\text{Co}, \text{Ni})_3\text{S}_4]$ , plata (yacimientos hidrotermales: hauchecornita  $[(\text{Ni}, \text{Co}, \text{Bi})_4(\text{S}, \text{Sb})_3]$ ), plomo (galena  $\text{PbS}$ ), cobre (carrollita  $[\text{Cu}(\text{Co}, \text{Ni})_2\text{S}_4]$ , junto a calcosina  $(\text{Cu}_2\text{S})$  y calcopirita  $(\text{FeCuS}_2)$ , penroseita  $[(\text{Ni}, \text{Co}, \text{Cu})\text{Se}_2]$ , hierro (vivianita  $[\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$ , vallamaninita  $[(\text{Ni}, \text{Cu}, \text{Co}, \text{Fe})(\text{S}, \text{Se})_2]$ , mispíquel  $[\text{FeAsS}]$ ) (MÁRQUEZ *et al.* 2010).

El plomo y cadmio que son altamente tóxicos mostraron valores alternados a través del curso del lecho del Cuchivero. Los valores de cadmio más altos que superaron los 0,25 mg/kg se detectaron en la estación 1, 6 y 8. Para el Guaniamo el valor fue similar al apreciado al de la estación 6 del Cuchivero (Fig. 4D). En tanto, los valores de plomo fueron más bajos en las estaciones aguas arriba y hacia la desembocadura del Cuchivero en donde las concentraciones fueron indecentadas. El máximo valor se apreció en la estación 7. En el río Guaniamo los valores estuvieron por debajo del límite de detección (Fig. 4D). Debido a que el mayor origen del Cd es de tipo antrópico, la presencia en el medio ambiente está bastante ligada a las actividades realizadas en el río, en las zonas aledañas a sus riberas y toda aquella actividad que de una forma u otra pueda contribuir con la incorporación al medio ambiente. En sedimentos de río Tietê-Pinheiros, Sao Paulo, Brasil, se reportó que el Cd estaba asociado en su mayoría la fracción biodisponible del sedimento (DA SILVA *et al.* 2002). El Cd puede adsorberse a las partículas en suspensión y en los sedimentos de fondo muestran afinidad con los halógenos y fosfatos (SADID 1992). La dispersión de Pb en cualquier ambiente está generalmente limitada cerca a las zonas de origen de la contaminación y junto con el cobre y el zinc son buenos indicadores de contaminación antropogénica, debido a que sus concentraciones en el medio ambiente son reflejo de las actividades humanas y fuentes industriales (GONZÁLEZ & RAMÍREZ 1995). Las concentraciones de metales determinadas en esta investigación, tanto para el río Cuchivero como para el Guaniamo, son superiores

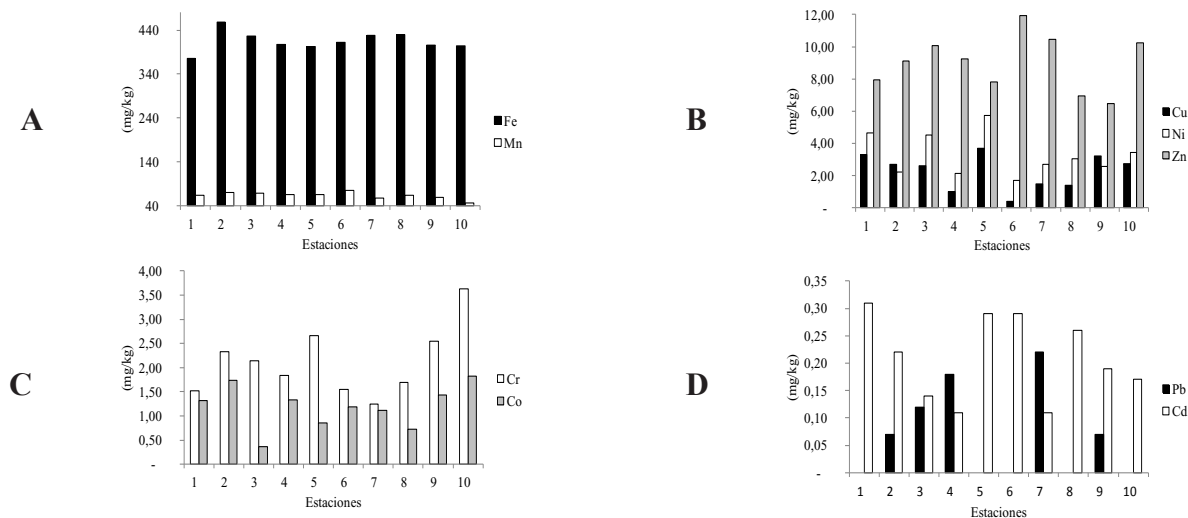


Fig. 4. Concentraciones de metales pesados totales en los sedimentos superficiales del río Cuchivero.

en hierro en comparación con otros ecosistemas fluviales como la desembocadura del río Apure sobre el Orinoco, laguna de Castellero y el Orinoco Medio, pero inferiores en valores de manganeso, cobre, níquel, cobalto, cromo y plomo. En relación a zinc son solo superiores a los de la desembocadura del río Apure, y en comparación a cadmio son comparables al de los ecosistemas antes señalados (Tabla 2). Similares comparaciones entre el ecosistema fluvial estudiado, los niveles promedios de la corteza terrestre, así como con otros ríos a nivel mundial pueden realizarse a partir de la tabla 2 (TUREKIAN & WEDEPOHL 1961, CARP 1989, TEIXEIRA *et al.* 2001, SIQUEIRA 2003, APRILE & BOUVY 2008, MUÑIZ *et al.* 2004, OLIVARES-RIEUMONT *et al.* 2005, MÁRQUEZ *et al.* 2008, MÁRQUEZ *et al.* 2012). Los intervalos de concentraciones consideradas para sedimentos contaminados van desde el orden de: Cd > 1 mg/kg; Pb > 5 mg/kg; Cu > 10 mg/kg; Ni > 10 mg/kg; Cr > 20 mg/kg > Zn 110 mg/kg mientras que para Fe y Mn son superiores a 41.000 mg/kg y 770 mg/kg, respectivamente (SALOMONS & FROSTER 1984). Si se comparan estos valores con los determinados en la presente investigación, se puede notar que los niveles para los ríos Cuchivero y Guaniamo son bajos en comparación con los niveles señalados como impactados, lo que sugiere que estos se encuentran aún lejos de presentar impactos antropogénicos, a pesar de que en zonas aledañas a sus riberas, se realizan algunas actividades mineras.

Las correlaciones derivadas y la representación gráfica del análisis de componentes principales aplicado

a los diferentes parámetros estudiados (Tablas 3-4; Fig. 5), indican que, el primer componente fue el de mayor varianza, siendo el de mayor peso para explicar la mayor variabilidad de los parámetros estudiados. En el plano ortogonal en el primer componente MOT está asociada a los lodos y Co. NT y PT no muestran asociación con la MOT, lo cual sugiere que la materia orgánica presente no es de tipo Redfield, sugiriendo origen alóctono, lo cual pudiera estar asociado a la incorporación en su mayoría desde las actividades agrícolas aledañas a sus márgenes. La inexistencia entre MOT y COT podría estar asociada a la heterogeneidad en la composición del sedimento, indicando la presencia de bajos niveles de carbono orgánico en su estructura. La pérdida de peso al someter la muestra a 540° C corresponde a H<sub>2</sub>O de humedad (105 g C) + H<sub>2</sub>O de cristalización de hidróxidos (300° C) + H<sub>2</sub>O de cristalización de arcillas (540° C) + combustión de la materia orgánica (500 - 540° C) + descomposición de carbonatos de Fe y Mg (540° C). Es por ello que probablemente haya existido pérdida de los compuestos volátiles presentes en el sedimento, generándose la relación de tipo negativa que es apreciada entre COT con la MOT y los carbonatos (MÁRQUEZ *et al.* 2005). Acorde con estas observaciones, PÁEZ-OSUNA *et al.* (1984) señalan que muestras con proporciones variables de minerales arcillosos que contienen agua estructural o interestructural pueden conducir a interpretaciones erróneas cuando las pérdidas de peso por ignición se utilizan como una medida



Tabla 2. Concentraciones de metales (mg/kg) para diferentes ríos del mundo.

Río	Fe	Mn	Cu	Ni	Co	Zn	Cr	Cd	Pb	Referencia
Promedio mundial	46700	850	45	68	....	95	90	0,30	20	(TÜREKIAN & WEDEFOHL 1961)
Río La Plata, Argentina	.....	.....	12,65	....	....	....	17,47	0,05	10,86	(CARP 1989)
Jacuí, Brasil	47, 726	0,84	0,62	0,23	0,33	0,36	0,21	.....	0,30	(TEIXEIRA <i>et al.</i> 2001)
Boca del Amazonas, Brasil	38300	600	37,5	26,70	....	110	65	.....	83	(SIQUEIRA 2003)
Rapacurá, Brasil	291,03	85,54	29,14	3,30	....	2,6	2,97	1,65	0,66	(APRILE & BOUVY 2008)
Magdalena, Colombia	35300	534,10	57,2	5,60	....	167	34,3	4,50	25,9	(GUIZA- GONZÁLEZ 2001)
Montevideo (Puerto), Uruguay	.....	.....	96,50	....	....	333	166	1,30	86	(MUÑIZ <i>et al.</i> 2004)
Laguna Castellero, Venezuela	3.770	132	.....	.....	4,70	253	.....	.....	17	(MÁRQUEZ <i>et al.</i> 2008)
Boca Río Apure, Venezuela	12,97	74,10	4,64	8,18	3,21	6,02	16,60	0,30	1,44	(MÁRQUEZ <i>et al.</i> 2010)
Orinoco Medio	56,83	271	5,77	9,35	5,37	86,02	4,48	0,15	2,56	(MÁRQUEZ <i>et al.</i> 2012)
Cuchivero	410	63	2,09	3,38	1,13	9,01	2,09	0,21	0,07	Presente investigación
Guaniamo	458	70,67	2,69	2,22	1,73	9,11	2,33	0,22	0,07	Presente investigación

Tabla 3. Componentes principales (ACP) de las variables geoquímicas, orgánicas e inorgánicas en los sedimentos superficiales del río Cuchivero, Venezuela.

	Componentes		
	1	2	3
NT	-0,01	0,36	-0,21
PT	-0,27	-0,06	-0,38
MOT	-0,28	0,27	0,22
COT	-0,12	-0,01	-0,40
CaCO <sub>3</sub>	0,25	0,30	0,07
Cd	0,20	0,21	0,29
Co	-0,20	0,20	-0,18
Ni	0,40	0,12	-0,05
Mn	0,09	-0,21	0,45
Fe	-0,15	-0,30	-0,02
Zn	-0,07	-0,35	-0,03
Pb	-0,21	-0,23	-0,06
Cu	0,30	0,25	-0,20
Cr	0,15	0,08	-0,43
AM	0,40	-0,17	-0,08
AF	0,23	-0,34	-0,15
Lodos	-0,36	0,28	0,13
% VE	27,88	22,64	19,62
% VA	27,88	50,51	70,14

% VE = porcentaje de variable explicativa  
% VA= porcentaje de variable acumulada

del material orgánico. Es por ello que utilizar las pérdidas por ignición como una medida del material orgánico puede conducir a interpretaciones erróneas, cuando existen pequeñas diferencias en el contenido orgánico de muestras con proporciones variables de minerales arcillosos.

Igualmente Cd, Ni y Cu y en menor grado Cr están asociados a CaCO<sub>3</sub> Ni también lo hace con AM. Esto sugiere que el origen de los metales a excepción de Co, serían principalmente litogénico (Fig. 5).

Las asociaciones apreciadas en los metales con la granulometría refleja la compleja mineralogía de la cuenca. En general, la Provincia Cuchivero equivale o forma parte de la Provincia Ventuari-Tapajós, la cual ocupa una porción occidental del Cratón Amazónico y está formada por una serie de arcos magmáticos de edad 1,98-1,88 Ga y que se caracteriza por una marcada tendencia tectónica NO-SE desde los ríos Cuchivero-Ventuari hacia el río Tapajós y consiste esencialmente de rocas granitoides calcoalcalinas (TASSINARI *et al.* 2000). También hay la presencia de minerales como cuarzo, feldespatos, circón, allanita, ilmenita, ilmenorutilo, monacita, rutilo, hornblenda y biotita. En esta zona se encuentran yacimientos de bauxita, diamantes, caolín, uranio y columbita-tantalita (GAMERO *et al.* 2014).

Tabla 4. Matriz de correlación de Pearson entre las variables estudiadas en los sedimentos el río Cuchivero, generada a partir del ACP.

	NT	PT	MOT	COT	CaCO <sub>3</sub>	Cd	Co	Ni	Mn	Fe	Zn	Pb	Cu	Cr	AM	AF	Lodos
NT	1,00	0,11	0,38	0,07	0,26	-0,16	0,39	0,21	-0,54	-0,40	-0,41	-0,07	0,55	0,40	-0,14	-0,33	0,25
PT	0,11	1,00	0,00	0,63	-0,42	-0,54	0,47	-0,43	<b>-0,64</b>	0,45	0,19	0,33	-0,09	0,27	-0,42	-0,01	0,25
MOT	0,38	0,00	1,00	-0,37	0,13	0,00	0,46	-0,41	0,02	-0,15	-0,20	0,21	-0,20	-0,46	<b>-0,79</b>	-0,62	<b>0,79</b>
COT	0,07	0,63	-0,37	1,00	-0,27	-0,39	0,08	-0,14	<b>-0,77</b>	-0,04	0,02	0,03	-0,12	0,42	-0,16	-0,05	0,12
CaCO <sub>3</sub>	0,26	-0,42	0,13	-0,27	1,00	0,42	-0,10	<b>0,76</b>	-0,15	<b>-0,64</b>	-0,50	-0,24	0,62	-0,02	0,10	0,05	-0,08
Cd	-0,16	-0,54	0,00	-0,39	0,42	1,00	-0,03	0,32	0,35	-0,32	-0,27	<b>-0,85</b>	0,22	-0,08	0,24	-0,37	0,04
Co	0,39	0,47	0,46	0,08	-0,10	-0,03	1,00	-0,44	-0,40	-0,07	0,07	-0,11	0,09	0,39	-0,36	-0,31	0,37
Ni	0,21	-0,43	-0,41	-0,14	<b>0,76</b>	0,32	-0,44	1,00	-0,11	-0,42	-0,32	-0,32	<b>0,72</b>	0,25	0,61	0,36	-0,55
Mn	-0,54	<b>-0,64</b>	0,02	<b>-0,77</b>	-0,15	0,35	-0,40	-0,11	1,00	0,28	0,16	-0,01	-0,28	-0,54	0,25	0,12	-0,21
Fe	-0,40	0,45	-0,15	-0,04	<b>-0,64</b>	-0,32	-0,07	-0,42	0,28	1,00	0,18	0,33	-0,26	-0,06	-0,05	0,15	-0,05
Zn	-0,41	0,19	-0,20	0,02	-0,50	-0,27	0,07	-0,32	0,16	0,18	1,00	0,24	-0,55	-0,12	0,18	0,45	-0,33
Pb	-0,07	0,33	0,21	0,03	-0,24	<b>-0,85</b>	-0,11	-0,32	-0,01	0,33	0,24	1,00	-0,31	-0,36	-0,37	0,41	0,02
Cu	0,55	-0,09	-0,20	-0,12	0,62	0,22	0,09	<b>0,72</b>	-0,28	-0,26	-0,55	-0,31	1,00	0,55	0,43	0,19	-0,35
Cr	0,40	0,27	-0,46	0,42	-0,02	-0,08	0,39	0,25	-0,54	-0,06	-0,12	-0,36	0,55	1,00	0,48	0,17	-0,37
AM	-0,14	-0,42	<b>-0,79</b>	-0,16	0,10	0,24	-0,36	0,61	0,25	-0,05	0,18	-0,37	0,43	0,48	1,00	0,61	<b>-0,91</b>
AF	-0,33	-0,01	-0,62	-0,05	0,05	-0,37	-0,31	0,36	0,12	0,15	0,45	0,41	0,19	0,17	0,61	1,00	<b>-0,88</b>
Lodos	0,25	0,25	<b>0,79</b>	0,12	-0,08	0,04	0,37	-0,55	-0,21	-0,05	-0,33	0,02	-0,35	-0,37	<b>-0,91</b>	<b>-0,88</b>	1,00

CONCLUSIONES

Los sedimentos del ecosistema del río Cuchivero son predominantemente de tipo arenoso con bajo contenido de lodos, MOT y el NT, siendo este último elemento el limitante para la producción primaria, controlando la relación NT/PT, la cual evidencia cierto grado de fertilización, especialmente aguas arriba en donde

la relación es superior a 10. La poca asociación de NT y PT con la MOT sugiere orígenes alóctonos de estos elementos, lo cual pudiera estar asociado a la incorporación en su mayoría desde las actividades agrícolas aledañas a sus márgenes. Metales como Cr, Cd, Mn y Ni están asociados a las arenas y carbonatos, lo que sugiere un origen litogénico, mientras que Zn, Fe y Pb se asocian entre sí, indicando orígenes similares y diferentes a los elementos antes señalados. No existen evidencias de impactos antropogénicos, debido a que niveles de MOT y de metales pesados son bajos y considerados como valores naturales.

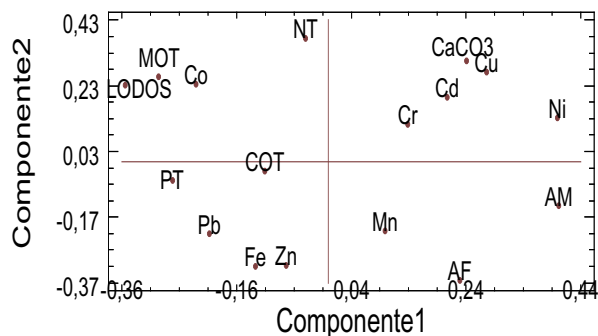


Fig. 5. Representación gráfica de las asociaciones de las variables geoquímicas de los sedimentos del río Cuchivero, para los primeros componentes principales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AISLABIE, J. & M. LOUITT. 1986. Accumulation of Cr (III) by bacteria isolated from polluted sediments. *Mar. Envir. Res.* 20: 221-232.

ALLAN, J. D. & A. S. FLECKER. 1993. Biodiversity conservation in running waters: identifying the major factors that threaten destruction of riverine species and ecosystems. *Bio. Sci.* 16: 33- 43.

- APRILE, F. & M. BOUVY. 2008. Distribution and enrichment of heavy metals in sediments at the Tapacurá river basin, northeastern Brazil. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.* 12 (1):1-8.
- GÜIZA GONZÁLEZ, S. 2001. *Compilación y análisis de datos geoquímicos de metales traza en algunas zonas del río Magdalena (Colombia)*. Informe técnico INGEOMINAS, Colombia. 59pp.
- GONZÁLEZ, A., A. MÁRQUEZ & K. CHUNG. 2000. Hierro y cobre en *Plagioscion squamosissimus* (Pisces: Sciaenidae) del río Orinoco, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.* 48 (1): 207-213
- AZAM, M. & Y. AHMED. 2003. Trace metals in littoral sediments from the North East Coast of the Bay Bengal along the ship breaking area. *Chittagong, Bangladesh. J. Biol. Csi.* 3(11): 1050-1057.
- BONILLA, J., Y. POYER. & B. GAMBOA. 1985. Características geoquímicas en núcleos de sedimentos de la Región Nororiental y Río Orinoco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 24 (1-2): 43-61.
- CARP 1989. *Estudios para la Evaluación de la Contaminación del Río de la Plata*. CARP-Servicio de hidrografía naval (Argentina)-servicio oceanográfico, hidrográfico y meteorológico de la armada (Uruguay). Informe de avance. Buenos Aires-Montevideo. 42 pp.
- COLVEÉ, P., E. SZEZERBAN. & S. TALUKDAR. 1990. *Estudio y consideraciones geológicas sobre la cuenca del río Caura*. En: El río Orinoco como ecosistema. Weibezahn F., Alvarez H., Lewis Jr. W (Eds). Caracas, Venezuela. 430 pp.
- DA SILVA, I., G. ABATE, J. LICHTIG. & J. MASINI. 2002. Heavy metals distribution in recent sediments of the Tietê-Pinheiros River System in São Paulo State, Brazil. *Appl. Geochem.* 17: 105-116.
- DE LA LANZA, G. & C. CÁCERES. 1994. *Lagunas costeras y el litoral mexicano*. Universidad Autónoma de Baja California Sur (Eds). México. 497 pp.
- DRUSCHEL, G., A. HARTMANN, R. LOMONA. & K. OLDRID. 2005. *Determination of sediment phosphorus concentrations in St. Albans Bay, Lake Champlain: Assessment of internal loading and seasonal variations of phosphorus sediment-water column cycling*. Vermont Agency of Natural Resources 103 South Main St. Waterbury, Vermont. USA. 71pp.
- GAMERO, A., M. REVETI, Y. JIMÉNEZ, R. RODRÍGUEZ, F. ANGULO, R. HURTADO. & A. ABRISQUETA. 2014. Caracterización geoquímica de minerales pesados recolectados en la zona nor-occidental del estado Bolívar. *Rev. Fac. Ing. U.C.V.* 29 (4): 25-40.
- GONZÁLEZ, H. & M. RAMÍREZ. 1995. The effect of nickel mining and metallurgical activities on the distribution of heavy metals in Levisa Bay, Cuba. *J. Geochem. Explor.* (1-2): 183-192.
- DÍAZ, G. 2011. El río Cuchivero. EN: [HTTP://WWW.BUENASTAREAS.COM/ENSAYOS/RIO-CUCHIVERO/1749357.HTML](http://www.buenastareas.com/ensayos/RIO-CUCHIVERO/1749357.html). Fecha de consulta. 13/6/2015.
- INGALL, E. & H. JAHNKE. 1997. Influence of water column anoxia on the elemental fractionation of carbon and phosphorus during sediment diagenesis. *Mar. Geol.* 139: 212-229.
- LERMAN, A, F. MACKENZIE. & L. VER. 2002. Nitrogen and phosphorus controls of the carbon. *J. Of. Conf. Abst.* 5 (2): 638.
- LEWIS, B. & W. LANDING. 1992. The investigation of dissolved and suspended particulate trace metals fractionation in the Black Sea. *Mar. Chem.* 40: 105-141.
- MACHADO-ALLISON, A., B. CHERNOFF, F. PROVENZANO, P. WÜTINK, A. MARCANO, P. PETRY. & B. SIDLAUSKAS. 2004. Identificación de áreas prioritarias de conservación en la cuenca del río Caura, estado Bolívar, Venezuela. *Acta Biol. Venez.* 22 (3-4): 37-65.
- MARCHETTI, R. & R. VIVIANI. 1992 (Eds.) *Marine Coastal Eutrophication*. Elsevier science publications. 457-470 pp.
- MÁRQUEZ, A., O. GARCÍA, W. SENIOR, G. MARTÍNEZ. & Á. GONZÁLEZ. 2012. Distribución de metales pesados en sedimentos superficiales del Orinoco Medio, Venezuela. *Ciencias* 20 (1): 60-73.

- MÁRQUEZ, A., G. MARTÍNEZ, W. SENIOR. & A. GONZÁLEZ. 2010. Metales pesados en las aguas superficiales y sedimentos del río Apure en su confluencia con el río Orinoco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 49 (1): 3-16.
- MÁRQUEZ, A., W. SENIOR, G. MARTÍNEZ, J. CASTAÑEDA. & A. GONZÁLEZ. 2008. Concentraciones de metales en sedimentos y tejidos musculares de algunos peces de la Laguna de Castillero, Venezuela. *Rev. Cien. FCV-LUZ.* 18 (2): 1 – 13.
- MÁRQUEZ, A., W. SENIOR, G. MARTÍNEZ & Á. GONZÁLEZ. 2007. Concentraciones de nitrógeno y fósforo en sedimentos recientes de la laguna Los Patos, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr.* 46 (2): 133-141.
- MÁRQUEZ, A., W. SENIOR, G. MARTÍNEZ. & Á. GONZÁLEZ. 2009. Metales totales y biodisponibles en sedimentos recientes de la laguna Los Patos, estado Sucre, Venezuela. *Ciencia* 17(1): 87 – 97.
- MÁRQUEZ, A., J. BONILLA, G. MARTÍNEZ, W. SENIOR, J. CASTAÑEDA, D. AGUILERA & A. GONZÁLEZ. Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales del litoral nororiental del golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 44 (2): 89-103.
- MOORE, J. & S. RAMAMMORTHY. 1984. *Heavy metal in natural waters.* Pergamon Press. Gran Bretaña. 268 pp.
- MORANTES, J, C. YANES, T. TOSIANI, A. RAMÍREZ. & S. MARRERO. Valores de línea base de algunos elementos mayoritarios y traza en las aguas del río Cuyuní, Estado Bolívar, Venezuela. *Cod. Geol. Venez.* 1998. En: <http://www.pdvs.com/lexico/posters/jm9801.htm>. 13/6/2015.
- MUÑIZ, P, E. DANULA, B. YANNICELLI, J. GARCÍA-ALONSO, G. MEDINA. & M. BICEGO. 2004. Assessment of contamination by heavy metals and petroleum hydrocarbons in sediments of Montevideo Harbour (Uruguay). *Environ. Inter.* 29: 1019-1028.
- MURPHY, J & J. RILEY. 1962. A modified single solution method for the determination phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta* 12: 162-170.
- OKUDA, T. 1964. Some problems for the determination of organic carbon in marine sediments. *Bol. Inst. Oceanogr.* 3 (1 &2) 106-117.
- OLIVARES-RIEUMONT, S., D. DE LA ROSA, L. LIMA, D. GRAHAM, K. ALESSANDRO, J. BORROTO, F. MARTÍNEZ. & J. SÁNCHEZ. 2005. Assessment of heavy metal levels in Almendares River sediments - Havana City, Cuba. *Water Res.* 39 (16): 3945-3953.
- PÁEZ-OSUNA, F, A. BOTELLO. & S. VILLANUEVA. 1986. Heavy metals in Coatzacoalcos estuary and Ostion Lagoon, México. *Mar. Poll. Bull.* 34(2): 123-128.
- PAEZ-OSUNA, F., M. FONG-LEE & H. FERNÁNDEZ-PÉREZ. 1984. Comparación de tres técnicas para analizar materia orgánica en sedimentos. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol.* UNAM. México. 11 (1): 257-264.
- RINALDI, A., G. MONTANARI, A. GHETTI, C. FERRARI. & A. FERRARI. 1992. *Marine coastal eutrophication. Eutrophy and dystrophy in the Goro lagoon.* Elsevier Science Publications. New York, USA. 56 pp.
- RODRÍGUEZ-OLARTE, D., L. ROMERO, J. CORONE. & A. AMARO. 2007. Caracterización preliminar de los ambientes fluviales en la cuenca del río Tocuyo, vertiente del Caribe, Venezuela. *Mem. Fund. La Salle de Cien. Nat.* 166: 59-79.
- SADID, M. 1992. *Toxic metal chemistry in marine environments.* Pergamon. MerceL Dekker, Inc. New Cork, USA. 390 pp.
- SALAZAR, J. 1989. Condiciones Hidrogeoquímicas de la Región Estuarina-Deltáica del Orinoco Durante el Mes de Noviembre de 1985. Trabajo de grado de M.Sc. en Ciencias Marinas. Inst. Oceanogr. de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 128 pp.
- SALOMONS, W. & U. FROSTER. 1984. *Metals in the Hydrocycle.* Springer-Verlag, New York (USA)-Berlin (Germany). 349 pp.
- SIQUEIRA, G. 2003. Study of heavy metals levels and other elements in surface sediments at the Santos Estuarine System and Shelf Coastal of the Amazon. Trab. Grad. PhD, Univ. São Paulo, Brasil. 386 pp.

- TASSINARI, G., S. BETTENCOURT, C. GERALDES, B. MACAMBRIA. & M. LAFON. 2000. The Amazonian Craton. En: *Tectonic Evolution of South America. Brazil. Pub. Esp. 31. Int. Geol. Cong.* 41-95 pp.
- TEIXEIRA, E., L. ORTIZ, M. ALVES. & J. SÁNCHEZ. 2001. Distribution of selected heavy metal in fluvial sediments of the coal mining region of Baixo, Jacú, RS, Brazil. *Environ. Geol.* 41: 145-154.
- TUREKIAN, K. & K. WEDEPOHL. 1961. Distribution of the element in some major units of the earth crust. *Bull. Geol. Soc. Am.* 72: 175-192
- VALDERRAMA, J. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Mar. Chem.* 10: 109-122.
- VOGEL, A. 1960. Química analítica cuantitativa. Vol 1. Editorial Kapelusz, S.A. Buenos Aires, Argentina. 811 pp.
- WETZEL, R. 1981. *Limnología*. Ediciones Omega, S. A. Barcelona-España, 379 pp.
- YANES, C. 1997. Estudio geoquímico regional de los ríos del Escudo de Guayana. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias y Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V, Venezuela 313 pp.
- ZHANG, J. 1995. Geochemistry of trace metals from Chinese rivers/estuary systems. *Estuar. Coast. Sci.* 41: 631-658.

RECIBIDO: Noviembre 2015

ACEPTADO: Abril 2016