

**PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE ALGUNOS CUERPOS  
DE AGUA ADYACENTES A LA CONFLUENCIA DE LOS RÍOS  
ORINOCO Y VENTUARI, ESTADO AMAZONAS, VENEZUELA**

ABRAHAN MORA POLANCO, LUZMILA SÁNCHEZ CALDERÓN, CARLOS A. LASSO  
ALCALÁ<sup>1</sup> Y CÉSAR MAC-QUHAE ROMERO

*Estación de Investigaciones Hidrobiológicas de Guayana.  
Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Campus Guayana, Venezuela  
abrahanmora@hotmail.com. Fax:(0286) 9311045*

<sup>1</sup>*Museo de Historia Natural La Salle.  
Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Caracas, Venezuela  
carlos.lasso@fundaciónlasalle.org.ve*

*Resumen.* Durante los meses de noviembre y diciembre de 2003 se realizó una evaluación biológica rápida (AquaRAP) en diversos ambientes acuáticos adyacentes a la confluencia de los ríos Orinoco y Ventuari. Durante éste estudio se colectaron muestras de agua y se determinaron parámetros físico-químicos *in situ* en 18 estaciones distribuidas entre caños, lagunas, esteros y ríos, con el objeto de conocer los valores de ciertas variables físico-químicas de estos ambientes acuáticos para esta época del año. Se encontraron diferencias significativas en la conductividad, el pH y la concentración de oxígeno disuelto entre las aguas provenientes de las planicies, y las aguas provenientes de las serranías. Las concentraciones de metales alcalinos y alcalinotérreos resultaron considerablemente bajas en toda la región; mientras que los metales traza mostraron proporciones similares a los cuerpos de aguas negras de la Amazonía brasileña y la Guayana venezolana. Las más altas concentraciones de sílice disuelto se encontraron en las aguas con mayores valores de pH. Las concentraciones de nitrógeno total fueron elevadas en toda la región, mientras que las concentraciones de fósforo total resultaron bajas en la mayoría de los cuerpos de agua evaluados. *Recibido: 04 mayo 2006, aceptado: 07 Febrero 2007.*

*Palabras clave:* Parámetros fisicoquímicos, Orinoco, Ventuari, aguas negras, aguas claras, metales traza, Amazonas.

PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS OF WATER BODIES  
ADJACENT TO THE ORINOCO AND VENTUARI RIVERS CONFLUENCE,  
AMAZONAS STATE, VENEZUELA

*Abstract.* We undertook a rapid biological assessment (AquaRAP) in aquatic environments adjacent to the Orinoco and Ventuari Rivers confluence, between November and December 2003. To know the physicochemical parameters of these aquatic environments during this period of the year, water samples were taken and physicochemical variables were measured *in situ* at 18 stations distributed among streams, lagoons, estuaries and rivers. Significant differences were found in conductivity, pH, and dissolved oxygen concentrations between waters coming from the plains versus waters coming from the mountains. Alkali and alkaline-earth metal concentrations were considerably low in the whole region, whereas trace metal concentrations were similar to those found in black water bodies of the Brazilian Amazon and Venezuelan Guayana. Highest dissolved silica concentrations were found in waters with high pH values. Total nitrogen concentrations were high in the whole region, whereas total phosphorous concentrations were low in the majority of the water bodies. *Received: 04 May 2006, accepted: 07 February 2007.*

*Key words:* Orinoco, Ventuari, physicochemical parameters, trace metals, black waters, clear waters, Amazon.

#### INTRODUCCIÓN

El río Orinoco ocupa el tercer lugar entre los ríos más caudalosos del mundo. Su elevada descarga promedio ( $1,1 \times 1.012 \text{ m}^3/\text{año}$ ) solamente es superada por los ríos Amazonas ( $6,3 \times 1.012 \text{ m}^3/\text{año}$ ) y Zaire ( $1,3 \times 1.012 \text{ m}^3/\text{año}$ ) (Milliman y Meade 1983). La cuenca está compartida geopolíticamente por Venezuela y Colombia y abarca una superficie de  $1.080.000 \text{ km}^2$ , de los cuales Venezuela posee el 71% y Colombia el 29% restante. El río Orinoco se ha delimitado geográfica e hidrológicamente en alto, medio y bajo Orinoco (Vila 1960). El alto Orinoco abarca desde su nacimiento a 70 metros por debajo de la cúspide del Monte Delgado Chalbaud hasta las proximidades de San Fernando de Atabapo, con un recorrido de 687 km (Vila 1960).

El alto Orinoco recibe la mayoría de sus principales afluentes por su margen derecha: Ocamo, Padamo, Kunukunuma y Ventuari, los cuales son estructural y funcionalmente parecidos. Por su parte, el río Ventuari posee una cuenca de  $42.000 \text{ km}^2$ , y desde su nacimiento en las vertientes del Cerro Vemachu hasta su desembocadura en el Orinoco en la región de Santa

Bárbara, lleva un recorrido de 474 km en los cuales recibe a los ríos Uesete, Yatití, Parú, Asita, Manapiare, Marieta y Guapuchi (MARNR 1979).

Debido a su ubicación geográfica, la región del alto Orinoco posee un clima que presenta características tropicales húmedas que incluyen altas temperaturas y elevada pluviosidad. Los meses de junio, julio y agosto exhiben las mayores precipitaciones y la menor temperatura media (26,6 °C en Santa Bárbara del Orinoco); mientras que enero, febrero y marzo corresponden a la época de mayor valor térmico medio (28,8 °C) y menor precipitación (Weibezahn 1990). Este sistema climático, constituido por una estación seca y una estación lluviosa, refleja claramente el régimen pluvial dominante en toda la región, produciendo un ciclo hidrológico con cuatro variaciones significativas en donde el mínimo nivel de agua se observa en los meses de febrero–marzo (período de aguas bajas) y el máximo caudal se presenta en los meses de agosto–septiembre (período de aguas altas). Existen además otros dos períodos de importancia, llamados subida de aguas (abril–junio) y bajada de aguas (noviembre–diciembre).

La zona de confluencia entre los ríos Orinoco y Ventuari, ubicada en Santa Bárbara del Orinoco (Amazonía venezolana), se caracteriza principalmente por poseer un delta interno en el cual se encuentran numerosas islas fluviales. Esta zona deltana, enmarcada por extensas formaciones boscosas sometidas a inundaciones durante gran parte del año, posee una alta variedad de ecosistemas acuáticos conformados por ríos, caños y lagunas de inundación, los cuales presentan características diferentes en cuanto a tamaño, caudal y tipología de aguas. Aunque la tipología de aguas establecida anteriormente por Sioli (1984) para el río Amazonas y sus afluentes no es aplicable a todos los ríos que atraviesan la geografía Venezolana (Vegas-Vilarrúbia *et al.* 1988b), los ríos y caños provenientes del Escudo Guayanés y la Amazonía venezolana presentan propiedades fisicoquímicas similares a los ríos que drenan el norte de la cuenca del río Amazonas (Vegas-Vilarrubia *et al.* 1988a). Este hecho permite hacer referencia a la clasificación realizada por Sioli para caracterizar los ecosistemas estudiados en esta región.

Debido al difícil acceso a la zona, se han realizado pocos estudios sobre la fisicoquímica de las aguas de ecosistemas acuáticos pertenecientes a la cuenca del alto Orinoco (Weibezahn 1990, Vegas-Vilarrúbia *et al.* 1988b). Estos trabajos reportan bajos valores de conductividad (8–18  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y de pH (3,8–6,1) para estas aguas, así como bajas concentraciones en cationes como el sodio, potasio, calcio y magnesio. Sin embargo, no se tiene conocimiento de la concentración de otros metales, los cuales ya se han reportados anteriormente

para diferentes tipologías de aguas correspondientes a la cuenca del río Amazonas (Furch 1984, Konhauser *et al.* 1994). Debido a la carencia de esta información, el presente trabajo tiene como objetivo conocer los valores de concentración de metales disueltos y de ciertas variables físico-químicas en las aguas de algunos ríos, caños y lagunas de inundación adyacentes a la zona de confluencia de los ríos Orinoco y Ventuari entre los meses de noviembre y diciembre de 2003.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

El muestreo se realizó durante el período de bajada de aguas (noviembre-diciembre 2003). Se midieron parámetros fisicoquímicos *in situ* en 54 puntos georeferenciados correspondientes a 18 estaciones (A–R), de las cuales 15 estuvieron conformadas por caños, lagunas y esteros adyacentes a la zona de confluencia de los ríos Orinoco y Ventuari. Las otras tres estaciones corresponden al cauce principal del río Orinoco (P) y Ventuari (Q) antes de su confluencia, mientras que la estación (R) corresponde al cauce principal del río Orinoco luego unión con el Ventuari (Fig.1).

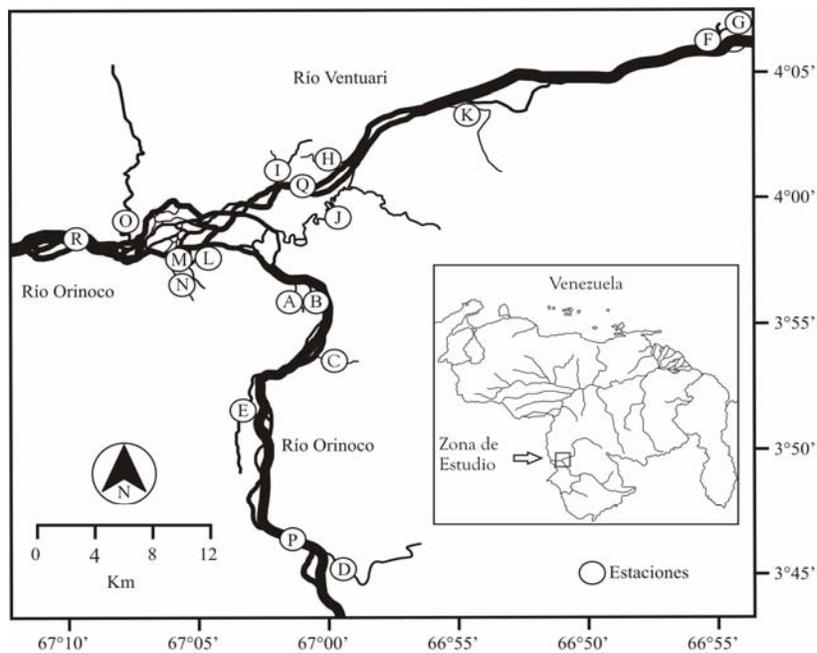


Figura 1. Ubicación de las estaciones muestreadas, en la zona de confluencia de los ríos Orinoco y Ventuari, estado Amazonas, Venezuela.

Se colectaron muestras de agua a nivel superficial (0,5 m) en cada una de las estaciones. Las muestras para los análisis de nutrientes se almacenaron en envases de polietileno y se trasladaron congeladas al laboratorio. Las muestras para análisis de metales se filtraron a través de membranas de celulosa de 0,45  $\mu\text{m}$  de tamaño de poro y se preservaron en envases de polietileno con ácido nítrico a 4 °C (APHA 1995). En el campo se determinó el oxígeno disuelto (mg/L), conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y temperatura (°C) utilizando un analizador de calidad de agua YSI 85. El pH se determinó usando un pHmetro marca ORION 210A y la transparencia se midió con un disco de Secchi. En el laboratorio se determinaron los metales sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, zinc y el sílice por espectrofotometría de absorción atómica, usando un espectrofotómetro marca GBC Avanta. Los metales aluminio, bario, cobre, manganeso, cromo, níquel, plomo y cadmio se determinaron por absorción atómica con un horno de grafito GBC GF3000 como atomizador. El nitrógeno total se midió por el método de digestión con persulfato y reducción a nitrito con cadmio, y el fósforo total a través del método del ácido ascórbico utilizando un espectrofotómetro UV CECIL 3041. Los sólidos suspendidos en muestras de agua de los ríos Orinoco y Ventuari se determinaron por filtrado a través de membranas de celulosa de 0,45  $\mu\text{m}$  de tamaño de poro y secado a 103–105 °C. Todas las determinaciones analíticas de laboratorio se realizaron por triplicado. Para el análisis de los anteriores parámetros se siguió la metodología descrita en APHA (1995).

Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías para evaluar las diferencias de los parámetros estudiados entre ecosistemas de aguas negras y de aguas claras, obteniéndose solamente diferencias significativas en el pH, la conductividad y las concentraciones de oxígeno disuelto.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mayoría de los ecosistemas estudiados presentaron características muy similares: aguas ácidas, con bajas conductividades, altas transparencias y bajas concentraciones de oxígeno disuelto (Tabla 1). Las aguas fueron clasificadas de acuerdo al pH, la transparencia y la coloración visual, en aguas negras y aguas claras (Sioli 1984). En la mayoría de los caños de aguas negras se observó grandes cantidades de hojarasca en avanzado estado de descomposición, lo cual promueve la formación de ácidos húmicos y fúlvicos responsables de su coloración.

Tabla 1. Coloración visual de las aguas y valores promedio de transparencia (Trans.), pH, conductividad (Cond.), temperatura (Temp.) y oxígeno disuelto (O.D.) en las estaciones estudiadas.

Código	Estación	Trans. (cm)	pH	Cond. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	O.D. (mg/l)	Coloración visual de las aguas
A	Laguna Macuruco	210	4,15	6,8	28,3	2,45	Negras
B	Estero de Macuruco	95	4,80	6,0	32,0	5,33	Negras
C	Caño Moyo	155	4,18	9,6	29,3	2,36	Negras
D	Caño Perro de Agua	103	4,07	7,3	27,3	1,72	Negras
E	Caño Guapachana	118	4,19	7,1	27,1	2,03	Negras
F	Caño Guapuchi	125	4,7	4,6	27,0	5,79	Verde claro
G	Caño Guapuchi (Aguas Azules)	> 90	4,49	4,4	27,1	3,14	Azul
H	Caño Tigre	130	5,23	9,2	27,8	3,68	Verde claro
I	Caño Chipiro	170	4,49	4,8	26,2	3,06	Verde claro
J	Laguna Lorenzo	113	4,34	6,3	27,7	1,49	Verde oliva
K	Caño Negro	162	3,96	6,1	27,6	0,86	Negras
L	Caño Cangrejo	> 210	4,54	5,2	25,9	3,49	Verde oliva
M	Caño Manaka	> 100	5,35	10,0	28,6	4,64	Ocre
N	Caño El Carmen	130	4,63	6,7	27,0	2,09	Negras
O	Caño Winare	180	4,80	4,9	25,6	4,66	Verde claro
P	Cauce principal Orinoco 1	60	5,28	9,2	28,4	6,13	Ocre
Q	Cauce principal Ventuari	102	5,27	9,2	28,6	5,58	Ocre
R	Cauce principal Orinoco 2	83	5,30	9,2	29,0	6,11	Ocre

> Indica transparencia total en el cuerpo de agua, superior al valor indicado.

Los cuerpos de aguas negras se caracterizaron por estar distribuidos hacia la zona sur de la región estudiada (izquierda del río Ventuari), en especial en zonas planas de bosques ribereños inundables, causal principal de las pocas corrientes de las aguas y el gran contenido de hojarasca presente. Esta aguas presentaron coloraciones negras y verde oliva, con valores promedios de pH que oscilaron entre 3,96 y 4,80, motivo por el cual fueron consideradas aguas ácidas. Las temperaturas variaron entre 25,6  $^{\circ}\text{C}$  y 32,0  $^{\circ}\text{C}$ . Se observaron altos

valores de transparencia, con un mínimo de 95 cm para el estero de Macuruco y un máximo de 210 cm para la laguna de Macuruco y caño Cangrejo. Las conductividades fueron extremadamente bajas, con valores promedios que variaron entre 6,0 y 9,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . A excepción del estero de Macuruco, estos ecosistemas de aguas negras presentaron concentraciones de oxígeno disuelto muy bajas (entre 0,86 y 3,49 mg/L), quizás producto de la utilización de este elemento en el proceso de descomposición bacteriana de la materia orgánica presente en los mismos.

Los caños de aguas claras se ubicaron en la zona norte de la región estudiada, hacia la margen derecha del río Ventuari (caño Guapuchi, caño Aguas Azules, caño Tigre, caño Chipiro y caño Winare), provenientes de las Serranías Guayapo y Guapichi. Estos caños se consideraron de aguas claras debido a sus propiedades similares: aguas color verde claro y azules, con promedios de pH (entre 4,49 y 5,23) superiores y significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ) a los encontrados en los cuerpos de aguas negras. Las temperaturas de estos caños variaron entre 25,6 y 27,8 °C. Las concentraciones de oxígeno disuelto estuvieron entre 3,06 y 5,79 mg/L, presentando valores superiores a los encontrados en las aguas negras, con diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre ambos grupos. A excepción de caño Tigre, las conductividades de los caños de aguas claras fueron más bajas que en los cuerpos de aguas negras, con promedios que oscilaron entre 4,4 y 4,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Al excluir a caño Tigre del análisis estadístico, se encuentran diferencias muy significativas ( $P < 0,01$ ) en la conductividad entre ambas tipologías de aguas.

Se apreció también una mayor corriente de agua en los caños procedentes de las serranías en comparación con los cuerpos de agua provenientes de las planicies. Las diferencias existentes en las concentraciones de las variables fisicoquímicas de ambos tipos de aguas se asocian al hecho de que los caños de aguas claras que proceden de las Serranías escurren a través de una zona con una geomorfología diferente a las planicies, en donde los bosques inundables, los suelos arenosos y el estancamiento de aguas propician la formación de aguas negras (Sioli 1984).

Una de las principales características que presentaron todos los ecosistemas estudiados fueron las bajas conductividades. Esto se debe principalmente a que estos cuerpos de agua fluyen a través de relieves del Macizo Guayanés, los cuales son formaciones rocosas del Precámbrico constituidas por elementos producto de las últimas series de evolución erosional y de materiales difíciles de erosionar y meteorizar física o

químicamente, en donde la erosión se encuentra limitada específicamente a la meteorización química de suelos y rocas (Stallard *et al.* 1990).

A excepción de los demás ecosistemas acuáticos estudiados, el caño Manaka presentó propiedades fisicoquímicas propias del río Orinoco: aguas color ocre, con valores de conductividad, oxígeno disuelto y pH mayores a los obtenidos en los otros ecosistemas. Estas características infieren que durante el período de muestreo, el caño Manaka se nutre con las aguas del río Orinoco, por lo cual no se incluyó en los análisis estadísticos realizados.

Los ríos Orinoco y Ventuari poseen características propias que los diferencian de los demás ecosistemas muestreados. Ambos ríos presentan aguas medianamente ácidas, bajas conductividades y concentraciones de oxígeno disuelto relativamente alta (Tabla 1). La principal diferencia entre estos ríos durante esta época (noviembre-diciembre) radica en la transparencia, a pesar de que ambos poseen bajas concentraciones de material suspendido. El río Ventuari posee una transparencia promedio de 100 cm y una concentración de sólidos suspendidos de 11 mg/L, mientras que el río Orinoco posee una transparencia promedio de 60 cm y una concentración de sólidos suspendidos de 19 mg/L, significativamente mayor a la del Ventuari. Después de la confluencia del Orinoco con el Ventuari (Estación R, Fig. 1), se produce un aumento en la transparencia (80 cm) y una disminución en la concentración de los sólidos suspendidos (13 mg/L) en las aguas del Orinoco. Este fenómeno es consecuencia de la mezcla de aguas entre ambos ríos. El río Ventuari diluye la mayor carga de material suspendido que transporta el Orinoco, produciendo una disminución en la concentración de sólidos suspendidos y un incremento en la transparencia del río Orinoco después de la mezcla.

Las concentraciones de los metales alcalinos y alcalinotérreos fueron consideradas bajas en todos los ecosistemas acuáticos muestreados durante esta temporada, lo cual confirma la pobreza química de dichos elementos en estos ambientes. El sodio ocupa la primera posición en el gradiente secuencial como electrolito más abundante (mg/L), seguido por el potasio y el calcio, los cuales ocupan la segunda y tercera posición respectivamente, en 13 de las 18 estaciones estudiadas. Valores similares de estos elementos se han reportados por Weibezahn (1985) en sus estudios sobre la química de las aguas en el alto Orinoco. La Tabla 2 muestra una lista completa de los valores de concentración de metales disueltos, nutrientes, sólidos suspendidos y sílice para cada una de las estaciones.



Tabla 2 (Continuación).

Parámetro	Estación										
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R		
Na (mg/L)	0,88	1,05	0,49	0,90	0,58	0,48	0,85	0,83	0,88		
K (mg/L)	0,29	0,08	0,34	0,84	0,44	0,46	0,68	0,69	0,62		
Ca (mg/L)	0,36	0,17	0,33	0,53	0,33	0,23	0,49	0,53	0,55		
Mg (mg/L)	0,088	0,048	0,057	0,168	0,024	0,030	0,160	0,187	0,186		
Fe (µg/L)	260	90	70	260	130	230	180	230	220		
Al (µg/L)	134	113	114	160	120	109	279	115	138		
Ba (µg/L)	61	93	58	65	54	42	64	53	65		
Zn (µg/L)	43	56	31	29	26	34	27	29	35		
Cu (µg/L)	0,9	1,9	4,8	0,9	1,2	2,9	2,1	3,2	2,6		
Mn (µg/L)	10,0	7,1	4,0	7,2	4,4	5,3	4,0	4,4	5,6		
Cr (µg/L)	0,48	0,99	0,45	0,62	0,47	0,61	0,75	0,54	1,01		
Si (mg/L)	2,1	1,2	2,1	3,9	2,6	2,3	2,9	3,0	3,0		
NT (mg/L)	0,85	1,79	1,32	1,76	1,48	1,46	1,71	1,04	0,89		
FT (µg/L)	7,0	12,7	8,4	1041	7,0	4,1	18,4	17,7	17,7		
SS (mg/L)	-	-	-	-	-	-	19	11	13		

A diferencia de estos ecosistemas acuáticos, la composición química de las aguas de los ríos provenientes de las regiones andinas está controlada por la disolución de minerales carbonáticos. Los ríos Guaviare, Meta y Apure, los cuales son afluentes del Orinoco provenientes de los andes colombianos y venezolanos (ríos de aguas blancas), presentan mayores valores de conductividad y pH y mayores concentraciones de sólidos suspendidos, sodio, calcio, magnesio y nutrientes que los ríos procedentes del Escudo de Guayana (Weibezahn 1990, Cressa *et al.* 1993). Esta diferencia en la química de las aguas se debe principalmente a que los ríos que provienen de los andes discurren sobre una región tectónicamente activa, en donde la presencia de rocas sedimentarias promueven la disolución de carbonatos de calcio y magnesio, lo cual incrementa la conductividad, el pH y la concentración de Ca y Mg en estas aguas (Yanes y Ramírez 1988).

Otros ríos de América del Sur que presentan características similares a los ecosistemas evaluados en este estudio se encuentran en la cuenca de río Negro (Furch 1984, Konhauser *et al.* 1994), en la zona sur del Escudo de Guayana (Brasil). Los ríos Salimões (Brasil), Paraná (Argentina) y el propio río Orinoco en su sector medio y bajo, presentan características propias de ríos de aguas blancas, debido principalmente a que la mayoría de sus afluentes provienen de la cordillera de los andes (Furch 1984, Yanes y Ramírez 1988, Weibezahn 1990, Depetris y Paolini 1991, Konhauser *et al.* 1994).

Aunque las aguas de los ecosistemas evaluados en este estudio son extremadamente pobres en el caso de los macrocationes (Na + K + Ca + Mg), los metales traza (Ba + Al + Fe + Mn + Zn + Cu + Cr) presentaron concentraciones altas durante la época de muestreo, en relación a la concentración promedio mundial para aguas continentales (Livingstone 1963, Bowen 1966). La Figura 2 muestra el porcentaje de concentraciones (en % mg/L) de macrocationes y metales traza en cada una de las estaciones comparado con la concentración promedio mundial P. M. (100%). Mientras que las concentraciones de macrocationes varían entre el 2% y el 9% del promedio mundial, las concentraciones de metales traza se encuentran entre un 19% y un 66%, lo cual indica que estas aguas son relativamente ricas en metales traza, es decir, son cerca de 10 veces más ricas en metales traza que en macrocationes en relación a la concentración promedio mundial para aguas continentales. Resultados similares se han obtenidos por Furch (1984) en cuerpos de agua claras y negras pertenecientes a la cuenca norte del río Amazonas.

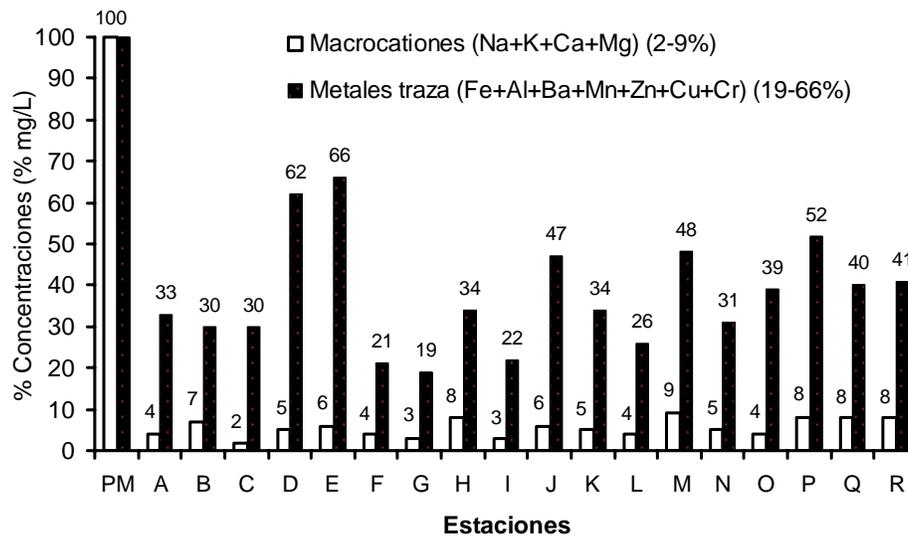


Figura 2. Porcentaje de concentraciones (% mg/L) de macrocations y metales traza en cada una de las estaciones muestreada comparado con la concentración promedio mundial para aguas continentales (P.M.100%).

Tanto el aluminio como el hierro mostraron las mayores concentraciones en el grupo de los metales traza, con valores entre 35 y 279  $\mu\text{g/L}$  para el aluminio y 40 y 410  $\mu\text{g/L}$  para el hierro. Aunque se podría esperar que las concentraciones de aluminio disuelto fueran muy bajas debido a que este metal es producido por procesos de meteorización química de las rocas (Stallard *et al.* 1990), los cuerpos de aguas negras contienen relativamente altas concentraciones de aluminio debido al rompimiento de los aluminosilicatos presentes en los suelos arenosos por los cuales fluyen las aguas negras, induciendo la podzolización de los mismos (Klinge 1967). Por otra parte, otro factor que influye en la alta solubilidad del aluminio y el hierro en ecosistemas acuáticos de aguas negras, son las condiciones ácidas y la presencia de quelatos orgánicos como los ácidos húmicos, los cuales aumentan la disponibilidad de estos metales en estas aguas (Stallard *et al.* 1990, Aucour *et al.* 2003).

Los metales como el cobre y el manganeso presentaron concentraciones similares (entre 0,6 y 4,9  $\mu\text{g/L}$  y 4,0 y 21,8  $\mu\text{g/L}$ , respectivamente) a las reportadas para ecosistemas de aguas claras y negras de la cuenca del río Amazonas (Furch 1984). Sin embargo, las concentraciones de bario y zinc

(entre 37 y 93  $\mu\text{g/L}$  y 23 y 63  $\mu\text{g/L}$ , respectivamente) fueron superiores a las encontradas por dicho autor. El cromo presentó valores de concentración entre 0,45 y 1,01  $\mu\text{g/L}$ , mientras que el plomo, cadmio y níquel presentaron niveles inferiores al límite de detección alcanzado por el espectrofotómetro de absorción atómica ( $< 1 \mu\text{g/L Pb}$ ,  $< 0,1 \mu\text{g/L Cd}$  y  $< 1 \mu\text{g/L Ni}$ ). Al igual que para el hierro y el aluminio, metales como cobre, manganeso y zinc aumentan su disponibilidad en ecosistemas de aguas negras debido a su asociación con sustancias húmicas (Küchler *et al.* 1994).

A pesar de que estos ecosistemas de aguas negras son relativamente ricos en metales traza, mayores concentraciones de plomo, cromo, cadmio, cobre y manganeso disuelto se encuentran en algunas cuencas hidrográficas del continente asiático, como es el caso del río Hindon, en India (Jain y Sharma 2001).

Las concentraciones de sílice estuvieron entre 1,0 y 2,6  $\text{mg/L}$  para todos los ecosistemas a excepción de caño Tigre (2,9  $\text{mg/L}$ ), caño Manaka (3,9  $\text{mg/L}$ ) y los cauces principales de los ríos Orinoco y Ventuari (2,9 y 3,0  $\text{mg/L}$ , respectivamente). Debido a que el sílice es transportado principalmente en el sedimento suspendido y secundariamente disuelto en forma de sílica [ $\text{Si(OH)}_4$ ], la cual es muy soluble (Stallard *et al.* 1990), esta diferencia de concentraciones entre los distintos ecosistemas podría estar relacionada con el hecho de que, tanto el Orinoco como el Ventuari, poseen una mayor carga de material suspendido y un pH superior a las aguas de los demás ecosistemas estudiados, lo cual produce un aumento en la dilución del sílice en la forma de  $\text{Si(OH)}_4$ . Tanto el caño Tigre como el caño Manaka presentan mayores concentraciones de sílice disuelto debido a que estos caños también poseen aguas menos ácidas, lo cual produce un incremento en la solubilidad del sílice.

Las concentraciones de nitrógeno total fueron consideradas altas en toda la región, con valores que variaron entre 0,73 y 2,43  $\text{mg/L}$  tanto para lagunas y caños de aguas negras como de aguas claras, en los cuales los grados de nitrificación podrían estar asociados a la descomposición de la materia orgánica y/o al drenado del material orgánico acumulado. A excepción de caño Manaka, las concentraciones de fósforo total fueron bajas en toda la región, obteniéndose valores mínimos en caño Moyo y en caño Guapuchi (3,4  $\text{mg/L}$ ). Esta característica indica la poca disponibilidad del fósforo para esta época en estas cuencas. El caño Manaka presenta niveles muy altos de fósforo total (1041  $\text{mg/L}$ ), que podrían asociarse a posibles perturbaciones ocasionadas por parte de campamentos destinados a la pesca deportiva que se encuentran adyacentes a dicho caño.

A pesar de que este trabajo no estaba dirigido a determinar indicios de contaminación química en las aguas de estos ecosistemas, existe una evidente perturbación producto de la fuerte actividad minera asociada principalmente a la explotación aurífera que se desarrolla de forma clandestina en el Parque Nacional Yapacana. Esta actividad produce desertización y a la vez incorpora compuestos químicos altamente tóxicos como el mercurio, que pueden acumularse tanto en sedimentos como en la biota. Lasso *et al.* (2006) encontraron en esta sección del Orinoco y Ventuari, niveles de mercurio, en peces, mucho más altos a los observados en el bajo Orinoco. En 9 de las 17 muestras analizadas, se determinaron valores superiores a 0,5 µg/g, concentración límite considerada para el ser humano según la Organización Mundial de la Salud.

### CONCLUSIONES

1) Existen diferencias significativas en el pH, el oxígeno disuelto y la conductividad entre los ecosistemas de aguas claras y aguas negras estudiados.

2) Las aguas claras provenientes de las serranías son menos ácidas, más oxigenadas y poseen una menor conductividad que las aguas negras, las cuales provienen de las planicies inundables.

3) A pesar de que los cuerpos de agua estudiados son químicamente pobres en cuanto a la presencia de metales alcalinos y alcalino-térreos, los metales traza alcanzan niveles medios de concentración en comparación con el promedio mundial, lo cual indica que estas aguas son cerca de diez veces más ricas en metales traza que en macrocationes en relación a la concentración promedio mundial para aguas continentales.

4) Aunque es evidente que existe cierta perturbación producto de la actividad minera y del uso indiscriminado del mercurio, no se reportaron otros indicios de contaminación química en estos ecosistemas acuáticos (a excepción de caño Manaka), debido a que los valores de los parámetros fisicoquímicos evaluados fueron semejantes a los publicados en otros trabajos, en los cuales se ha estudiado ecosistemas similares de la cuenca norte del río Amazonas.

### AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado parcialmente por Conservación Internacional Venezuela en el marco de la Evaluación Biológica Rápida de la Biodiversidad de los Ecosistemas Acuáticos en la confluencia de los ríos Orinoco y Ventuari

(AquaRAP Orinoco-Ventuari 2003). La Fundación Cisneros y el Campamento Manaka Jungle Lodge brindaron todo el apoyo logístico.

#### LITERATURA CITADA

- APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION). 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater (19 ed.). Washington, USA, 1040 pp.
- AUCOUR, A. M., F. X. TAO, P. MOREIRA-TURCQ, P. SEYLER, S. SHEPPARD Y M. F. BENEDETTI. 2003. The Amazon River: behavior of metals (Fe, Al, Mn) and dissolved organic matter in the initial mixing at the Rio Negro/Salimões confluence. *Chemical geology* 197: 271–285.
- BOWEN, H. J. M. 1966. Trace elements in biochemistry. Academic Press, London and New York, 241 pp.
- CRESSA, C., E. VASQUEZ, E. ZOPPI, J. E. RINCON Y C. LOPEZ. 1993. Aspectos generales de la limnología en Venezuela. *Interciencia* 18(5): 237–248.
- DEPETRIS, P. J. Y J. E. PAOLINI. 1991. Biogeochemical aspects of South American rivers: the Paraná and the Orinoco. Pp. 105–125, *en* E. Degens, S. Kempe y J. E. Richey (eds.), *Biogeochemistry of major world rivers*. SCOPE/ICSU/UNEP 42. John Wiley & Sons, Great Britain.
- FURCH, K. 1984. Water chemistry of the Amazon basin: The distribution of chemical elements among freshwaters. Pp. 167–199, *en* H. Sioli (ed.), *The Amazon. Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, Boston, Lancaster. Netherlands.
- JAIN, C. K. Y M. K. SHARMA. 2001. Distribution of trace metals in the Hindon River system, India. *Journal of hydrology* 253: 81–90.
- KLINGE, H. 1967. Podsol soils: a source of blackwater rivers in Amazonia. *Atas do Simpósio sobre a biota Amazônica 3 (Limnología)*: 117–125.
- KONHAUSER, K., W. S. FYFE Y B. I. KRONBERG. 1994. Multi-element chemistry of some Amazonian waters and soils. *Chemical geology* 111: 155–175.
- KÜCHLER, I. L., N. MIEKELEY Y B. R. FORSBERG. 1994. Molecular mass distributions of dissolved organic carbon and associated metals in waters from Rio Negro and Rio Salimões. *The science of the total environment* 156: 207–216.
- LASSO, C., A. GIRALDO, O. M. LASSO-ALCALÁ, O. LEÓN-MATA, C. DONASCIMIENTO, N. MILANI, D. RODRÍGUEZ-OLARTE, J. C. SEÑARIS Y D. TAPHORN. 2006. Peces de los ecosistemas acuáticos de la confluencia de los ríos Orinoco y Ventuari, estado Amazonas, Venezuela: Resultados del AquaRAP 2003 Pp. 110–118, *en* C. Lasso, J. C. Señaris, L. Alonso y A. Flores (eds.), *Evaluación rápida de la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos en la confluencia de los ríos Orinoco y Ventuari, Estado Amazonas (Venezuela)*. Boletín RAP de Evaluación Biológica 34. Conservation International, Washington D. C., USA.
- LIVINGSTONE, D. A. 1963. Chemical composition of rivers and lakes. U. S. Geol. Surv. Prof. Paper 440-G: 1–64.
- MARNR (MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES). 1979. Atlas de Venezuela (2 ed.), Impresiones Tecncolor, Caracas, 331 pp.

- MILLIMAN, J. D. Y R. H. MEADE. 1983. World-wide delivery of river sediment to the oceans. *Jour. Geol.* 91(1): 1-21.
- SIOLI, H. 1984. The Amazon and its main affluents: Hydrography, morphology of the river courses, and river types Pp: 127-165, *en* H. Sioli (ed.), *The Amazon. Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.* Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, Boston, Lancaster, Netherlands.
- STALLARD, R., L. KOEHNKEN Y J. JOHNSON. 1990. Weathering processes and the composition of inorganic material transported through the Orinoco river system, Venezuela and Colombia. Pp. 81-119, *en* F. Weibezahn, H. Alvarez y W. Lewis Jr. (eds.), *El río Orinoco como ecosistema.* Impresos Rubel, Caracas, Venezuela.
- VEGAS-VILARRÚBIA, T., J. E. PAOLINI Y J. G. MIRAGAYA. 1988a. Differentiation of some Venezuelan blackwater rivers based upon physico-chemical properties of their humic substances. *Biogeochemistry* 6: 59-77.
- VEGAS-VILARRÚBIA, T., J. E. PAOLINI Y R. HERRERA. 1988b. A physico-chemical survey of blackwater rivers from the Orinoco and the Amazon basins in Venezuela. *Arch. Hydrobiol.* 111(4): 491-506.
- VILA, P. 1960. *Geografía de Venezuela 1. El territorio nacional y su ambiente físico.* Ministerio de Educación, Dirección de Cultura y Bellas Artes, 454 pp.
- WEIBEZAHN, F. 1985. Concentraciones de especies químicas disueltas y transporte de sólidos suspendidos en el Alto y Medio Orinoco y sus variaciones estacionales (Febrero 1984-Febrero 1985). Informe de Resultados. Convenio MARNR-PDVSA-USB, Caracas, 235 pp.
- WEIBEZAHN, F. 1990. Hidroquímica y sólidos suspendidos en el alto y medio Orinoco Pp. 81-119, *en* F. Weibezahn, H. Alvarez y W. Lewis Jr. (eds.), *El río Orinoco como ecosistema.* Impresos Rubel, Caracas, Venezuela.
- YANES, C. E. Y A. J. RAMÍREZ. 1988. Estudio geoquímico de grandes ríos venezolanos. *Memoria Soc. Ciencias Naturales La Salle* 48: 41-58.