

CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN EL RÍO NEGRO

Margarita Posada*
Jaime A. Palacio B.**

RESUMEN

Entre Marzo y Junio de 1996 se hizo un seguimiento de algunas variables físicoquímicas y de siete metales pesados en la columna de agua en tres estaciones del Río Negro. El comportamiento de las variables físicoquímicas en el sector estudiado (Charco Manso hasta La Poquera) mostró una reducción de las concentraciones del oxígeno disuelto aguas abajo pero sin alcanzar niveles críticos para la vida acuática (Cepis 1990).

La dureza, los sólidos, la conductividad y la alcalinidad se incrementaron aguas abajo, pero las concentraciones de estas variables permanecieron en niveles bajos. A pesar de evidenciarse un deterioro gradual de las condiciones ambientales desde Charco Manso hacia la Poquera, la calidad del agua en el tramo estudiado del río es aún aceptable desde el punto de vista de estas variables físicoquímicas.

Las concentraciones de casi todos los metales en el agua sin filtrar y filtrada superaron los límites máximos permisibles para la vida acuática y los niveles normales en ambientes limnéticos. En algunas muestras la fracción en la fase soluble representó un alto porcentaje del total en la columna de agua. Este comportamiento difiere de los reportes en la literatura, que señalan un predominio de las formas unidas al material suspendido, e indica una buena biodisponibilidad de los metales en el Río Negro.

A pesar de que las variables físicoquímicas evidencian condiciones ambientales aceptables en el sector estudiado del Río Negro, las altas concentraciones de algunos metales representan indiscutiblemente un factor de deterioro de la calidad del agua muy significativo y constituye un grave riesgo para la vida acuática.

* Ingeniera Ambiental.

** Profesor del Centro de Investigaciones Ambientales, Universidad de Antioquia.

REFERENCIAS

1. U.J. ENTRANA PALOMERO, C. Gual de Torrellá, A. Juárez Fernández-Reyes, "La Crisis de la Energía", Salvat España, 1995, p.63.
2. EPA 400-F-92-008, August 1994, Fact Sheet OMS-6
3. <http://www.aip.au/education/alt.html>
4. MIKE KULAKOWSKI, Symposium and Tutorial of Reformulated Fuels Presented before the Division of Petroleum Chemistry, Inc. 208th National Meeting, American Chemical Society, Washington, D.C. August 21-26, 1994, p. 494-498.
5. EPA 420-F-95-008, April 1995, EPA Office of Mobile Sources.
6. MONTES DE C., "Catálisis y Medio Ambiente", Revista Facultad de Ingeniería, No. 15, Nov. 1997, p. 27.
7. Unidad de Planeación Minero Energética, Ministerio de Minas y Energía, Plan Energético Nacional, Tercer Mundo Editores, Santafé de Bogotá, 1994, p. 240-260.
8. RONALD M. HECK, Robert Farrauto, Baltzer Science Publishers, vol 1. 1997 p. 117-124.
9. EL ESPECTADOR, "Vehículos de última tecnología", Octubre 4, 1997, Sección D.
10. P. ZELENKA, W. Cartellieri, P. Herzog, Appl. Catal., B: Environmental, 10, 1996 1-3.
11. J. LAMPERT, S. KAZI, and R. FARRAUTO, SAE 961971, 1996.
12. WALTER M. KREUCHER, Symposium and Tutorial of Reformulated Fuels Presented before the Division of Petroleum Chemistry, Inc. 208th National Meeting, American Chemical Society, Washington, D.C. August 21-26, 1994, p. 507-512.
13. H.J. LOVINK, Symposium and Tutorial of Reformulated Fuels Presented before the Division of Petroleum Chemistry, Inc. 208th National Meeting, American Chemical Society, Washington, D.C. August 21-26, 1994, p. 513-519.
14. Cars & climate change OECD/IEA, París 1993, p.136-150.
15. M. DEEBA, J. FEELEY, R. FARRAUTO, N. STEIRBOCK, A. PUNKE, SAE 952491, 1995.

ABSTRACT

Between March and June 1996, some physicochemical variables and seven heavy metals were monitored in the water column of three sample sites in the Río Negro.

The behavior of the physicochemical variables in the study area (from charco Manso to the La Porquera) showed a riverdown reduction of dissolved oxygen concentration, but without reaching critical levels for the aquatic life. Hardness, total solids, conductivity and alkalinity increased riverdown, but concentration of the variables remained at low levels. Even there was a gradual deterioration of environmental conditions from charco Manso to La Porquera. From the point of view of these physicochemical variables, the water quality in the study sites is still acceptable. Concentration of almost all heavy metals in the unfiltered and filtered water, surpassed maximum permissible levels for aquatic life and the normal levels in limnetic environments. In some samples, the soluble fraction represented a high percentage of the total in the water column. This behavior differs from literature reports which showed a dominance of the united forms to the suspended materials and indicates a good heavy metals bioavailability in the Río Negro. Although the physicochemical variables shows acceptable environmental conditions in the study sites, the high concentration of some heavy metals represents a very significant detrimental factor of water quality and constitutes a great risk for aquatic life.

Key words: *Río Negro, physicochemical variables, heavy metals in water.*

Palabras Claves: *Río Negro, variables fisicoquímicas, metales pesados en el agua.*

INTRODUCCIÓN

La mayoría de las actividades humanas relacionadas con el agua tienden a modificar la estructura de las comunidades acuáticas y a reducir su productividad. En muchos casos, la contaminación química impide el funcionamiento de los procesos biológicos que garantizan la autopurificación de las aguas naturales. Los efectos de las sustancias xenobióticas sobre los ecosistemas acuáticos dependen de la concentración, la toxicidad, la distribución, la transformación en el ambiente y su enriquecimiento a través de la red trófica.

El desconocimiento del comportamiento de las sustancias xenobióticas en los ecosistemas acuáticos, es uno de los principales problemas en la evaluación de los riesgos ambientales generados por la contaminación de las aguas naturales. La carencia de una visión holística que incluya el control y la vigilancia de los procesos de trans-

porte y transformación de las sustancias químicas en los ecosistemas acuáticos, ha impedido que grandes esfuerzos investigativos conduzcan a resultados concluyentes sobre el problema de la contaminación química. A través de la investigación se buscó establecer la calidad fisicoquímica del agua y la variación espacial de la contaminación por metales pesados en la parte alta de la cuenca del río Negro.

1. AREA DE ESTUDIO Y ESTACIONES DE MUESTREO

La subregión de la cuenca alta del río Negro se encuentra limitada por los altos de Santa Elena y Las Palmas hasta su desembocadura en el embalse del Peñol. En general, la subregión se caracteriza por estar ubicada en un bosque húmedo montano bajo tropical, comprendido entre los 2.000 y 3.000 m.s.n.m., con una biotemperatura promedio anual entre 12 y 18°C. En la zona se presentan abundantes precipitaciones durante casi

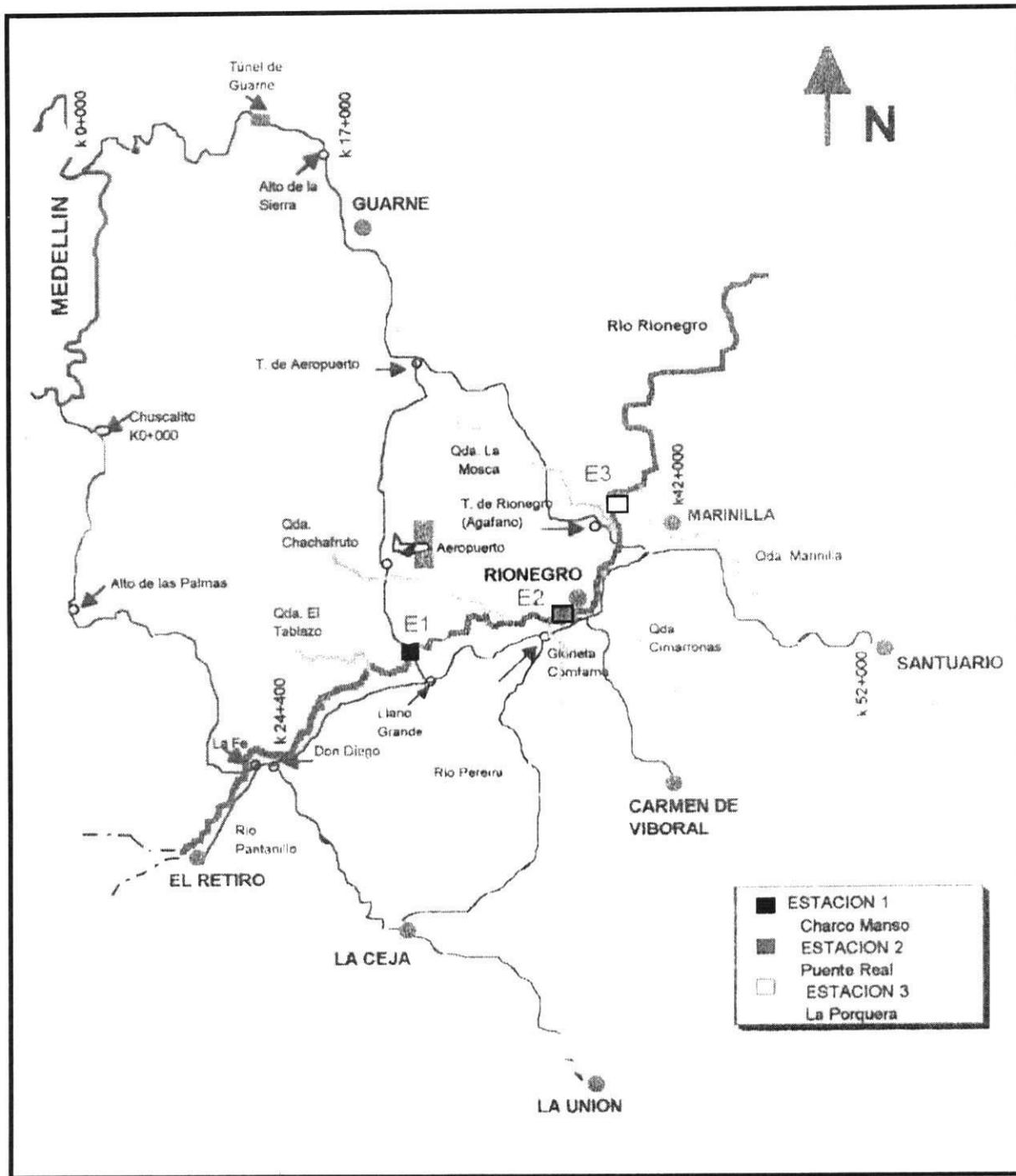


Figura 1. Ubicación Geográfica de las Estaciones de Muestreo

todo el año. Los meses más lluviosos son generalmente mayo y octubre y los más secos enero y febrero.

La estación uno (Charco Manso) está localizada a 2100 m.s.n.m. en el km 12 del río Negro en la carretera que de Llano Grande conduce al aeropuerto y en el puente del mismo nombre (Figura 1). A esta altura el río ha recibido las descargas del río Pantanillo, la quebrada Don Diego y la quebrada El Tablazo, entre otras. Esta estación está caracterizada por la presencia de plantas acuáticas en los costados del lecho. El agua es de color amarillo y la temperatura promedio es 17°C. El sedimento es arenoso y de color café.

La estación dos (Puente Real) está ubicada a 2100 m.s.n.m., cerca al barrio El Porvenir de la localidad de Rionegro, en el km. 25 del río. A esta altura el río ha recibido las descargas de las quebradas Chachafruto (con alto contenido de material suspendido y alta carga contaminante) y del río Pereira, que a su vez recibe una carga contaminante de origen industrial y agrícola. La temperatura del agua es 17°C promedio y el agua es de color ocre, con alto contenido de sólidos suspendidos. El sedimento es de color café – ocre con presencia de limos y material orgánico.

La estación tres (La Porquera) está ubicada en el km 39 – 40 del río, en la vereda La Porquera. En esta estación el río ha recibido la descarga de las quebradas Cimarronas, San Antonio, La Mosca y Marinilla, con una notable carga de residuos industriales y agrícolas. El sedimento es arcillo – limoso y de color amarillo - pardo, con presencia de material vegetal. En este punto el río transporta material suspendido y de desechos sólidos. Además, se forma espuma en la superficie como consecuencia de la presencia de detergentes.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de agua del Río Negro fueron recolectadas en marzo, abril y junio de 1996. Las muestras se tomaron en la parte media de la columna de agua, usando recipientes plásticos de

tres a cinco galones de capacidad. Para la medición de las variables fisicoquímicas se siguieron las recomendaciones del Standard Methods (1989). Para la determinación de las concentraciones de metales pesados se empleó un espectrofotómetro de absorción atómica Shimadzu AA 670. Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de CORNARE.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Variables Fisicoquímicas

La temperatura del agua en las tres estaciones del Río Negro fluctuó entre 16 y 18°C (Tabla 1). Las diferencias temporales y espaciales de esta variable pueden considerarse bajas. Alzate (1985) encontró que los valores de temperatura del agua en el río Negro fueron muy estables a través del año en las diferentes estaciones. De acuerdo a estos resultados, se puede afirmar que la temperatura del agua es típica de las corrientes superficiales de la franja altitudinal, donde se localiza el área de estudio.

Mientras las concentraciones más altas de oxígeno disuelto se presentaron en la estación uno (6.94), las más bajas se observaron en la tres (5.1). Del nivel del oxígeno disuelto en la estación uno, se infiere que en este sitio el río se ha recuperado después de recibir la descarga de las aguas residuales del municipio de El Retiro.

Los niveles más bajos de oxígeno en la estación tres reflejan una mayor intensidad en los procesos demandantes de oxígeno.

La tendencia espacial del oxígeno ratifica los resultados de otros estudios en los que se concluye que el oxígeno tiende a disminuir aguas abajo (Alzate, 1986 y SANEAR, 1994). Sin embargo, los valores mensuales y la media anual en la totalidad de las estaciones fueron superiores al mínimo para la vida acuática (Cepis, 1990).

Los criterios modernos de calidad del agua reconocen que una reducción del oxígeno disuelto por

Tabla 1. Variables fisicoquímicas en tres estaciones del río Negro en el año 96

Variable	Marzo			Abril			Junio		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Temperatura (°C)	16.0	17.0	17.5	17.0	17.0	18.0	17.0	17.0	18.0
Oxígeno disuelto (mg/l)	6.82	6.39	5.14	6.94	6.32	5.1	6.9	6.41	5.83
CO ₂ (mg/l)	2.64	2.42	2.86	2.6	2.2	2.2	2.86	2.42	2.64
pH (unidades)	6.11	5.87	5.9	8.35	8.03	7.99	7.07	7.12	7.09
Dureza total (mg/l)	23	23.5	28	23	31	28	10	11	14
Sólidos totales (mg/l)	90	140	165	62	125	136	171	203	203
Sólidos suspendidos (mg/l)	63	116	111	31	70	56	142	195	168
Conductividad (µmhos/cm)	56.3	48.5	65.3	30.4	38.9	56.8	36.7	40.7	61.8
Alcalinidad total (mg/l CaCO ₃)	11.025	13.65	21	13.13	25.23	18.95	10.5	12.08	17.35

debajo del nivel natural tiene un efecto deletéreo sobre los organismos y no existe un “número mágico” que pueda usarse como nivel aceptable. Cada vez se acepta más que el nivel deseado de oxígeno disuelto depende de las demandas individuales y del grado de sensibilidad de cada especie.

Las concentraciones del CO₂ en las tres estaciones indican que el mayor valor no superó el límite máximo permisible para la vida acuática. Los bajos niveles y las estrechas fluctuaciones espaciales y temporales del CO₂ muestran que las condiciones ambientales en las tres estaciones son aceptables.

Los valores mensuales de CO₂ reportados por Alzate (op cit) alcanzaron en algunos sitios del río Negro un nivel mayor al máximo permisible. No obstante, en el sector de las dos primeras estaciones del presente estudio los valores fueron inferiores al límite máximo permisible para la vida acuática. En este sector, se presentaron las

mejores condiciones ambientales durante el estudio de Alzate (op. Cit.).

Mientras el pH fluctuó espacialmente en un rango estrecho (Tabla 1), las diferencias temporales fueron marcadas con valores extremos entre 5.87 y 8.35 unidades. La presencia de valores inferiores al límite mínimo recomendado para la vida acuática en marzo en las tres estaciones, fue probablemente el resultado de una descarga súbita acidificante. De acuerdo con Alzate (op. cit), los valores de pH permanecieron dentro del rango óptimo para la vida acuática y mostraron pequeñas fluctuaciones entre julio del 83 y junio del 84.

La dureza fue baja y se incrementó progresivamente río abajo. A pesar de que esta variable fluctuó ampliamente, permaneció siempre inferior a 75 mg/l. La condición de agua blanda del río podría mostrar una baja capacidad de asimilación frente a la presencia de compuestos que afectan el pH. Adicionalmente, los efectos

tóxicos directos de las sustancias químicas se hacen más críticos bajo estas condiciones.

Las amplias fluctuaciones de los sólidos suspendidos, entre 31 y 195 mg/l, evidencian diferencias importantes espacial y temporalmente, pero dentro de los rangos considerados normales para los ríos tropicales. Las concentraciones de los sólidos totales presentaron un comportamiento similar al de los sólidos suspendidos y oscilaron entre 62 y 203 mg/l (Tabla 1). Estos valores son normales para los ríos de la zona neotropical y sus variaciones están probablemente asociadas a los ciclos en el régimen de caudales.

La conductividad fluctuó dentro del rango normal para aguas tropicales y se incrementó progresivamente desde la estación uno a la tres, debido al ingreso de aguas residuales de origen doméstico e industrial.

La alcalinidad presentó también una tendencia ascendente aguas abajo y fluctuó entre 10.5 y 25.23 mg/l. Alzate (1985) reportó promedios de alcalinidad similares a los encontrados en el presente estudio. En la totalidad de las estaciones y muestreos los valores de alcalinidad se encuentran dentro del rango establecido como normal para las aguas dulces tropicales.

Exceptuando el oxígeno disuelto y el pH que permaneció muy estable, las variables fisicoquímicas se incrementaron progresivamente aguas abajo desde Charco Manso hasta La Porquera. No obstante, los valores permanecieron relativamente bajos. A pesar de evidenciarse un deterioro en las condiciones ambientales del río aguas abajo, desde el punto de vista de las variables fisicoquímicas consideradas en el estudio la situación no parece ser aún crítica.

3.2 Metales en Agua

Para el estudio de los metales en la columna de agua, se analizó la fracción total (agua sin filtrar) y la fracción en la fase soluble (agua filtrada). A

partir de los resultados se evaluó la importancia relativa de la fracción fácilmente biodisponible.

3.2.1 Metales en agua sin filtrar

Las concentraciones de plomo (Pb) en el agua sin filtrar fluctuaron entre 0.0125 y 0.0620 mg/l y no mostraron una tendencia espacial y temporal definida (Tabla 2). De acuerdo con los criterios de la EPA (1976) la concentración de Pb para el agua de consumo humano no debe exceder 50 mg/l.

Teniendo en cuenta las condiciones del agua en el Río Negro, con una dureza inferior a 30 mg/l de CaCO_3 , la concentración máxima permisible de Pb para la vida acuática sería 0.004 mg/l (Thurston et al, 1974). Adicionalmente, Cepis (1990) planteó un valor límite para la vida acuática de 0.001 mg/l. Lo anterior significa, que para todas las estaciones y muestreos las concentraciones de Pb en el agua sin filtrar superaron estos límites.

Al confrontar los niveles actuales de plomo en la columna de agua con la concentración reportada por Forstner y Wittman (1979) como normal en agua dulce (≤ 0.003 mg/l), se infiere que en el río Negro el Pb supera en forma considerable el nivel normal. A pesar de que las concentraciones de los metales en el agua sin filtrar no significan necesariamente un riesgo para la biota acuática, los niveles altos de Pb en el Río Negro reflejan un deterioro de la calidad ambiental de esta corriente.

En el agua sin filtrar las concentraciones de cobre fluctuaron entre 0.0035 y 0.0170 mg/l, no presentaron una tendencia espacial marcada, ni un aumento a través del estudio. Ibragin y Patin (1975), citados por Thurston et al (1979), encontraron que concentraciones de Cu superiores a 0.01 mg/l inhiben el crecimiento del fitoplancton. De acuerdo con el criterio del Cepis (op. cit) las concentraciones de Cu en el agua sin filtrar

superaron también en todos los casos el límite máximo permisible para la vida acuática (Tabla 2).

En general, los niveles de cinc en el agua sin filtrar oscilaron entre 0.007 y 0.059 mg/l. Las concentraciones superaron ampliamente en todas las estaciones el límite máximo permisible para la vida acuática de 0.003 mg/l del Cepis (op. cit). Únicamente en el último muestreo se observó un incremento de las concentraciones de cinc desde la estación uno a la tres. En aguas con altas concentraciones de cinc se han detectado niveles notables en los tejidos de la biota (Manly y George, 1977). El cinc posee una baja toxicidad para el hombre y el límite de 5 mg/l aceptable para el consumo humano (EPA 1976) podría afectar considerablemente la mayoría de los elementos de la biota acuática.

Las concentraciones de cadmio en el agua sin filtrar fluctuaron entre 0.0002 y 0.0015 mg/l y no mostraron diferencias espaciales importantes. Para una dureza inferior al 35 mg/l de CaCO_3 , la concentración de cadmio para la vida acuática no debe exceder 0.0008 mg/l (Thurstan et al, op cit). Según este criterio en los dos primeros muestreos se superó ampliamente el nivel máximo permisible de este metal en el sector estudiado del Río Negro. Si se considera el valor límite de 0.0002 mg/l establecido por el Cepis (op. cit), las concentraciones de cadmio en el agua sin filtrar superaron este límite en todos los casos.

Como se infiere de la tabla 2, las concentraciones de cromo en el agua sin filtrar oscilaron entre 0.0018 y 0.013 mg/l y no presentaron tendencias espaciales y temporales definidas. De acuerdo al Cepis (op cit), la concentración máxima permisible de cromo para la vida acuática es 2 mg/l. A partir de este valor y de las concentraciones de cromo en la columna de agua, se concluye que los niveles de este metal no superaron en ningún caso el estándar de calidad para la vida acuática.

En contraste con los otros metales pesados, para el hierro se observó una tendencia creciente de las concentraciones desde la estación uno (2.055 mg/l) a la tres (7.675 mg/l) y se registraron notables

diferencias entre los tres muestreos. Las elevadas concentraciones de hierro en la columna de agua en el río Negro están probablemente más asociadas a las características litológicas de la cuenca que a factores antropogénicos en las áreas de influencia directa. La totalidad de las concentraciones de hierro superaron ampliamente los límites máximos establecidos para la vida acuática en ambientes limnéticos.

Como se infiere de la tabla 2 en el primer muestreo se registró un notable incremento del manganeso desde la estación uno (0.0830 mg/l) hasta la tres (0.1715 mg/l). A pesar de que en los restantes muestreos el aumento en las concentraciones de manganeso no fue tan importante, se registró también una tendencia creciente aguas abajo.

En síntesis, sólo fue posible indentificar una clara tendencia creciente de las concentraciones aguas abajo para el hierro y manganeso. Para la totalidad de los metales considerados en el estudio, los valores en la columna de agua superaron ampliamente los límites máximos permisibles para la vida acuática y los niveles normales en ambientes limnéticos.

3.2.2 Metales en agua filtrada

Este procedimiento busca establecer las concentraciones de metales en la fase soluble. Mientras el contenido total incluye una fracción del metal no biodisponible asociada a los sólidos suspendidos, la fracción soluble es biodispensable. En la Tabla 3 se presentan los resultados de los análisis de metales en agua filtrada en las tres estaciones de muestreo.

En la totalidad de los muestreos los niveles de plomo en el agua filtrada superaron nuevamente los límites máximos permisibles para la vida acuática. (Thurston et al, op. cit. y Cepis, op. cit). Es necesario llamar la atención sobre la gran proporción de plomo en la fase soluble en el río Negro dado que un alto porcentaje de los metales transportados por los ríos se encuentra asociado al material sólido. Las concentraciones de Pb en la fase soluble en el río Negro superaron el promedio reportado por el

Himat e Ingeominas (1991) para el Río Magdalena en Calamar (0.003 mg/l). Este hecho reafirma el concepto de que los niveles de plomo en la fase soluble en el Río Negro podrían representar un alto riesgo para la biota acuática.

En el agua filtrada el cobre fluctuó en el río Negro entre 0.00125 y 0.0125 mg/l. y superó en todos los casos la concentración máxima permisible para la vida acuática. De la tabla 4, se concluye que el cobre en la fase soluble constituye un alto porcentaje del total presente en la columna de agua. Esta situación es particularmente crítica en la estación uno en junio, con un 78.13%. Como se señaló anteriormente para el caso del plomo, estos resultados contrastan con los reportes para el río Magdalena (Himat e Ingeominas, op. cit).

Las concentraciones de zinc en la fase soluble, entre 0.0020 mg/l y 0.0310 mg/l, superaron nuevamente los límites máximos permisibles para la vida acuática propuestos por Cepis (op cit). Para los casos donde fue posible estimar el porcentaje de zinc en solución, se encontró que esta forma alcanzó hasta 84.38% del total en la columna de agua.

Las concentraciones de cadmio soluble en las tres estaciones del río Negro variaron entre 0.0006 mg/l y 0.0015 mg/l. De esta forma se superó nuevamente el límite máximo permisible para la vida acuática en todas las estaciones (Cepis op cit). Además, parece excepcional que el 100% del cadmio en la columna de agua esté en la fase soluble y sería recomendable monitorear el comportamiento de este metal en el río Negro.

En contraste con los metales considerados anteriormente, las concentraciones de cromo soluble entre 0.0013 y 0.0040 mg/l, son inferiores al límite máximo permisible para la vida acuática. No obstante, como se señaló anteriormente para el cadmio, se destaca el hecho de que el 100 por ciento del cromo en la columna de agua esté constituido por la fracción de la fase soluble.

Los resultados del cromo en la fase soluble indican condiciones completamente diferentes a las

descritas en la literatura especializada, donde se señala que un alto porcentaje de los metales en la columna de agua se encuentra asociado a los sólidos en suspensión.

Las concentraciones de hierro en el agua filtrada fluctuaron entre 0.088 mg/l y 1.27 mg/l, superiores al valor medio establecido por el Himat e Ingeominas (op cit) en el río Magdalena en el sector de Calamar (0.081 mg/l) e inferiores parcialmente al límite máximo para la vida acuática (Cepis op. cit). El porcentaje de hierro soluble en la columna de agua es relativamente muy bajo y no superó en ningún caso el 50 por ciento del total.

Finalmente, las concentraciones del manganeso soluble se movieron entre 0.0020 y 0.128 (tabla 3). El valor máximo supera considerablemente el promedio estimado por parte del Himat e Ingeominas (op. cit.) en Calamar (0.003 mg/l). A pesar de que no se dispone de información sobre los valores estándares de este metal en ambientes limnéticos, los bajos porcentajes de la forma soluble indican una reducida biodisponibilidad.

Aunque se presentaron algunas diferencias entre las estaciones, en las variables fisicoquímicas es evidente que los resultados de éstas no reflejan el verdadero deterioro de la calidad del agua en el tramo del río estudiado. En general, las concentraciones de metales en el agua filtrada y sin filtrar superaron los límites máximos permisibles para la vida acuática. Esta situación y los altos porcentajes en la fase soluble indican una significativa degradación de la calidad del agua, imposible de detectar a través de análisis fisicoquímicos convencionales.

Al confrontar las concentraciones de metales en la columna con las reportadas en la literatura como normales (Moore y Ramamoorthy, 1984; Fortner y Wittmann, 1983) se concluye que en el Río Negro los niveles de metales superan ampliamente los valores normales. Este hecho refuerza el concepto de que en esta corriente se ha presentado un notable deterioro de las condiciones ambientales, como consecuencia de contaminación química.

Tabla 2. Concentración de metales en el agua sin filtrar (mg/l) en el Río Negro y concentraciones máximas permisibles para la vida acuática.

Metal (mg/l)	Marzo			Abril			Junio			Concentraciones máximas para la vida acuática en ambientes límneticos. (Cepis, 1990)
	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 1	Estación 2	Estación 3	
Pb	0.0265	0.0235	0.0125	0.0340	0.0620	0.0310	0.0270	0.0335	0.0380	0.001 mg/l
Cu	0.0115	0.0070	0.0170	0.0040	0.0040	0.0035	0.0160	0.0155	0.0125	0.002 mg/l
Zn	0.0590	0.0180	0.0295	0.0070	0.0135	0.0160	0.0150	0.0210	0.0250	0.0003 mg/l
Cd	0.0015	0.0012	0.0010	0.0015	0.0010	0.0010	0.0005	0.0002	0.0007	0.0002 mg/l
Cr	0.0042	0.0038	0.013	-	-	-	0.0025	0.0025	0.0018	2 mg/l
Fe	3.1500	4.0750	4.2250	2.4100	2.41	2.6200	7.2850	7.6750	5.9550	0.3 mg/l
Mn	0.0830	0.1625	0.1715	0.0885	0.0885	0.0955	0.1535	0.2430	0.2040	

Tabla 3. Concentración de metales en el agua filtrada (mg/l) en el Río Negro

Metal	Marzo			Abril			Junio		
	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Pb	0.0095	0.0165	0.0105	0.0245	0.0275	0.0325	0.0315	0.0100	0.0150
Cu	0.0065	0.0025	0.0065	0.0030	0.0125	0.0030	0.0125	0.0040	0.0095
Zn	0.0170	0.0225	0.0310	0.0040	0.0165	0.0135	0.0020	0.0030	0.0070
Cd	0.0015	0.0004	0.0015	0.0015	0.0010	0.0006	0.0004	0.0006	0.0006
Cr	-	0.0040	0.0040	-	-	-	0.0026	0.0024	0.0013
Fe	0.2555	0.3270	0.3270	0.3590	0.9660	1.2750	0.2465	0.0880	0.2885
Mn	0.0280	0.0475	0.0370	0.0235	0.1145	0.1285	0.0040	0.0020	0.0050

Tabla 4. Porcentaje de la frección soluble sobre el total de los metales en la columna de agua

Metal	Marzo			Abril			Junio		
	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Pb	35.85	70.21	84.00	72.06	44.35	98.39	79.63	29.85	39.47
Cu	56.52	35.71	38.24	75.00	31.25	85.71	78.13	25.81	76.00
Zn	28.81	-	-	57.14	-	84.38	13.33	14.29	28.00
Cd	100	0.33	-	100	100	60.00	80.00	100	87.71
Cr ⁺⁶	-	100	-	-	-	-	100	99	72.22
Fe	8.11	8.02	7.74	40.08	40.08	48.66	3.38	1.15	4.84
Mn	33.73	29.23	21.57	-	-	-	2.61	0.82	2.45

BIBLIOGRAFÍA

- ALZATE, H. Estructura de las comunidades bénticas de macroinvertebrados en el Río Negro y algunos de sus efluentes y su relación con la calidad del agua en estos ecosistemas. Tesis de grado. Departamento de biología. Medellín. Universidad de Antioquia. 1985.
- APHA, AWWA, Epcf. Standar Methods for the examination or water and waste water. American Public Health Association, American Water works Association and Pollution Control Federation. Washington D.C. 1989.
- CEPIS. Manual de Evaluación y Manejo de sustancias tóxicas en aguas superficiales. 1990.
- FÖRSTNER, U. Y WITTMANN, G.T. Metal pollution in the aquatic environment. Berlín. Springer - verlag. 1983. Pp. 487.
- HIMAT E INGEOMINAS. Estudio de la contaminación del río Magdalena con metales traza, su relación con parámetros hidrológicos, fisicoquímicos y su incidencia en la salud humana. Bogotá. 1991.
- MOORE J y S. RAMAMOORTY. Heavy metals in natural Waters. Applied monitorine and impact asesment. Springer - verlag. 1984.
- RAMAMOORTHY, S. et al. Heavy metal exchange processes in sediment-water systems. Environ. Geol. 2, 1978.
- ROLDÁN, G. Fundamentos de limnología neotropical. Medellín. Ed. Universidad de Antioquia. 1992.
- SANEAR. Lta Diseño del sistema de acueducto urbano para el municipio de Rionegro (Antioquia). Consideraciones ambientales generales sobre la parte alta de la cuenca del río Negro. Medellín. 1994.
- THURSTON et al. A review of the USPA red book quality criteria for water. American Fisheries society. 1979.