

Reporte en Breve

Source: Evaluación Rápida de la Biodiversidad de los Ecosistemas Acuáticos de la Cuenca Alta del Río Cuyuní, Guayana Venezolana: 35

Published By: Conservation International

URL: <https://doi.org/10.1896/054.055.0106>

BioOne Complete (complete.BioOne.org) is a full-text database of 200 subscribed and open-access titles in the biological, ecological, and environmental sciences published by nonprofit societies, associations, museums, institutions, and presses.

Your use of this PDF, the BioOne Complete website, and all posted and associated content indicates your acceptance of BioOne's Terms of Use, available at www.bioone.org/terms-of-use.

Usage of BioOne Complete content is strictly limited to personal, educational, and non - commercial use. Commercial inquiries or rights and permissions requests should be directed to the individual publisher as copyright holder.

BioOne sees sustainable scholarly publishing as an inherently collaborative enterprise connecting authors, nonprofit publishers, academic institutions, research libraries, and research funders in the common goal of maximizing access to critical research.

Capítulo 3

Geoquímica de los ecosistemas acuáticos de la cuenca alta del río Cuyuní, Estado Bolívar, Venezuela: RAP Alto Cuyuní 2008

Daniel Pisapia, Abraham Mora, Oriana Farina, Carlos A. Lasso, Rudolf Jaffe y Henry O. Briceño

RESUMEN

La cuenca alta del río Cuyuní pertenece al Escudo de Guayana y se encuentra ubicada en el Estado Bolívar, Venezuela. En el área escogida para el estudio RAP Alto Cuyuní 2008, el principal tributario del río Cuyuní es el río Uey, seguido en orden de importancia por el río Junín y las quebradas Amarilla y Aimara. Con el propósito de caracterizar las aguas de los cauces principales y quebradas afluentes pertenecientes a la cuenca alta del río Cuyuní, se realizó una descripción de cada localidad incluyendo: ancho, profundidad y coloración de las aguas, y se determinaron los parámetros fisicoquímicos: pH, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez y sólidos totales disueltos. Adicionalmente, se tomaron muestras de agua ($n=38$) en las estaciones seleccionadas para la determinación de elementos mayoritarios (Na, K, Ca y Mg), elementos traza (Fe, Al, Mn, y Cu), sólidos suspendidos totales, carbono orgánico disuelto y nutrientes totales y disueltos. En la cuenca alta y media del Cuyuní, tanto en el cauce principal del río como en las quebradas afluentes, las aguas presentaron valores de pH que oscilaron entre 4,97 y 6,87, mientras que los valores de turbidez, sólidos totales suspendidos y disueltos, y la conductividad fueron relativamente bajos, típicos de los ríos de aguas negras que fluyen a través del Escudo Precámbrico de Guayana. Sin embargo, algunas quebradas presentaron elevadas concentraciones de sólidos suspendidos como resultado del impacto producido por la intensa actividad minera que se desarrolla en esa zona. Se observó una correlación positiva entre los elementos Ca y Mg en los ecosistemas estudiados. Las concentraciones de Na y K fueron significativamente mayores en el Área Focal 3 (AF3). En las áreas focales AF5 y AF1 (cuenca de río Uey) se observó una mayor cantidad de estaciones con altos contenidos en carbono orgánico disuelto. Las relaciones positivas encontradas entre los elementos Fe, Al y Cu disueltos con el carbono orgánico disuelto sugiere que la solubilidad de estos elementos se encuentra condicionada por la concentración de sustancias húmicas en solución. Las aguas provenientes de zonas que han sido fuertemente afectadas por la minería (estación RAP-CY-AF2:16) muestran bajos contenidos de carbono orgánico disuelto, lo cual pudiese estar asociado al impacto de la actividad minera sobre los horizontes más superficiales del suelo.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Cuyuní se encuentra localizada al sureste de Venezuela, hacia la zona este del Estado Bolívar. Ocupa una superficie aproximada de 50.000 km², de los cuales unos 38.000 corresponden a Venezuela y el resto a Guyana. Dicha cuenca se encuentra situada dentro del Escudo Precámbrico de Guayana y se caracteriza por ser naturalmente rica en metales pesados, con abundantes depósitos auríferos que han producido una creciente actividad minera en toda la región. El río Cuyuní nace en Venezuela y recorre aproximadamente unos 650 km antes de desembocar en el río Esequibo en Guyana, por lo que en el contexto regional puede considerarse como una subcuenca del río Esequibo, al cual afluye junto con el río Kamoirán (sistema del Mazaruni) al este (Lasso et al. 2004). Durante su recorrido, el Cuyuní se alimenta de algunos grandes tributarios como lo son

el río Junín y el río Uey en la parte alta de la cuenca, y los ríos Chicanán, Yuruaní, Venamo y Botanamo en la parte baja. Igualmente, el río Cuyuní recibe aportes importantes de numerosos caños y quebradas durante su recorrido, los cuales podrían estar seriamente intervenidos debido a la intensiva actividad minera que se desarrolla en esta zona.

En cuanto a la geología de la región estudiada, la porción venezolana del Escudo de Guayana contiene rocas que pertenecen a cuatro Provincias Geológicas (Mendoza 2000): Imataca (3,41 Ga; 1 Ga=10⁹ años), Pastora (2,7 Ga), Cuchivero (1,9 Ga) y Roraima (1,7 Ga). Las rocas en la cuenca alta del río Cuyuní pertenecen en su mayoría al Grupo Roraima (Reid 1974), una espesa secuencia sedimentaria con evidencias de metamorfismo de carga (Urbani 1997) constituida por areniscas, conglomerados, lutitas, rocas volcánicas y algunos flujos volcánicos en su parte inferior, asignados a la Formación Ichún (Briceño et al. 1989).

Los estudios geoquímicos realizados en el medio y bajo Cuyuní (Tosiani et al. 2004) han demostrado que sus aguas presentan características propias de los ríos que drenan el Escudo de Guayana: bajas concentraciones de sedimentos suspendidos, bajas conductividades, bajas concentraciones de cationes mayoritarios disueltos (Na, K, Ca y Mg) y valores de pH que pueden variar entre 5 y 6,50 (aguas medianamente ácidas) (Edmond et al. 1995). Otra característica importante de las aguas que drenan la cuenca del Cuyuní, es la presencia de aguas color té (aguas negras), las cuales son relativamente ricas en carbono orgánico disuelto. El carbono orgánico disuelto presente en estos ecosistemas acuáticos se encuentra principalmente en forma de largas cadenas polimerizadas llamadas sustancias húmicas (coloides orgánicos), las cuales son las responsables de la coloración "negra" de las aguas. De manera similar, las sustancias húmicas en solución tienden a formar complejos organometálicos con algunos elementos, principalmente con hierro (Fe), aluminio (Al) y algunas tierras raras tanto en ríos tropicales (Dupré et al. 1999, Oliva et al. 1999, Viers et al. 2000) como en ríos templados (Pokrovsky et al. 2006). Más aún, estudios realizados por Tosiani et al. (2004) en la parte baja de la cuenca de río Cuyuní, han evidenciado que el carbono orgánico disuelto juega un rol principal en el control de la carga disuelta y en la redistribución de elementos entre la carga disuelta y la carga suspendida en estos ecosistemas acuáticos.

Aunque existen diversos trabajos que caracterizan las aguas del bajo Cuyuní y sus tributarios como el de Tosiani et al. (2004), no existe información referente a la fisicoquímica de las aguas en la cuenca alta del río Cuyuní. En el presente estudio se determinaron parámetros físico-químicos y se recolectaron muestras de aguas en los ríos Cuyuní y sus tributarios, con la finalidad de verificar el grado de perturbación de los ríos, caños y quebradas, para generar una línea base geoquímica de las aguas necesaria en la conservación y manejo integral de la cuenca.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue dividido en cinco áreas focales, que incluyen estaciones en el cauce principal de los ríos, quebradas

afuentes y algunos pozos o lagunas marginales (Figura 3.1). Estas áreas focales fueron definidas en función de su disposición en la red hidrográfica según la pendiente y geomorfología de los ríos Cuyuní y Uey. Su terminología sigue, por razones prácticas, a la propuesta por el componente acuático del RAP (peces y macroinvertebrados) a objeto de poder hacer las consultas y comparaciones de manera estandarizada entre los tres grupos (peces, macroinvertebrados y geoquímica).

Área Focal 1: Bajo río Uey (RAP-CY-AF1)

Área comprendida entre la confluencia de los ríos Cuyuní y Uey (06° 06'11,5" N – 61° 30'34,3" W), hasta una quebrada localizada aguas arriba del río Uey (Quebrada 2, afluente Quebrada Las Malocas – RAP-CY-AF1:15), muestreada por el grupo de ictiología y macroinvertebrados (06° 04'12" N – 61° 28'08,8" W). Altura promedio = 123 m s.n.m.

Área Focal 2: Alto río Cuyuní (RAP-CY-AF2)

Corresponde a la parte superior del alto Cuyuní *sensu stricto*. Área comprendida entre la confluencia de los ríos Cuyuní y Uey (06° 06'11,5" N – 61° 30'34,3" W), hasta una quebrada afluente de la margen izquierda del río Junín (RAP-CY-AF1: 30), muestreada por el grupo de ictiología y macroinvertebrados (06° 05'44" N – 61° 33'20" W). Altura promedio = 120 m s.n.m.

Área Focal 3: Bajo río Cuyuní (RAP-CY-AF3)

Corresponde a la parte inferior del alto Cuyuní *sensu stricto*. Área comprendida entre la confluencia de los ríos Cuyuní y Uey (06° 06'11,5" N – 61° 30'34,3" W), hasta un punto del cauce principal del Cuyuní situado después de su confluencia con la Quebrada Amarilla (RAP-CY-AF3: 3 – Grupo Geoquímica), (06° 11'21" N – 61° 30'21" W). Altura promedio = 115 m s.n.m.

Área Focal 4: Alto río Uey – Sierra de Lema (RAP-CY-AF4)

Área correspondiente a las cabeceras del río Uey en la Sierra de Lema. Incluye una pequeña sección de los saltos del río Uey (05° 57' 29,8" N – 61° 30' 15,2" W) a una altura de 586 m s.n.m., hasta un punto del cauce principal del Uey aguas arriba de los saltos (06° 57' 16,2" N – 61° 30' 13,6" W) (RAP-CY-AF4:35), situado a 600 m s.n.m.

Área Focal 5: Medio río Uey (RAP-CY-AF5)

Área correspondiente a la sección de piedemonte del río Uey en las estribaciones de la Sierra de Lema, donde comienzan los raudales. Incluye la región desde el río Uey (06° 02' 23,5" N – 61° 30' 26,4" W) a una altura de 135 m s.n.m., hasta un punto del cauce principal del Uey aguas arriba (brazo marginal) (RAP-CY-AF4: 31) (06° 01' 59,6" N – 61° 30' 49,6" W), situado a 170 m s.n.m.

En el Apéndice 2 se enumeran las localidades muestreadas en cada una de estas áreas focales.

Se realizó una descripción general para cada localidad, la cual incluye las siguientes variables fisicoquímicas: turbidez (NTU), transparencia (cm), profundidad (cm), ancho del cuerpo de agua, estimación visual de la velocidad del flujo, pH, temperatura (°C), conductividad (mS/cm) y oxígeno disuelto (mg O₂/l). También se anotaron otras características físicas y biológicas de interés para la fauna

acuática, como el color del agua, tipo de fondo, vegetación marginal, etc., que serán discutidas en los correspondientes capítulos de este Boletín RAP sobre peces y macroinvertebrados. Las determinaciones de las variables fisicoquímicas pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto se realizaron con una sonda YSI® multiprobe Modelo 556 MPS. La turbidez fue analizada con un turbidímetro LaMotte® Modelo 2020-E, con estándares para 1 y 10 NTU. La transparencia se determinó utilizando un disco de Secchi de 25 cm. Los equipos fueron calibrados diariamente, antes y durante las sesiones de muestreo.

Se tomaron muestras de agua a nivel superficial (0,5 m) en envases plásticos de polietileno (500 ml), los cuales fueron previamente lavados con ácido nítrico y agua desionizada. Las muestras crudas fueron colocadas en cavas con hielo hasta su traslado al laboratorio. En el laboratorio, 500 ml de muestra fueron filtradas a través de membranas de celulosa (0,22 µm) pre-pesadas para la determinación de los sólidos suspendidos. El filtrado fue utilizado para la determinación de carbono orgánico disuelto (Carbon Analyzer marca Tekmar modelo Apollo 9000), cationes mayoritarios (Ca, Na, Mg, K) y elementos traza disueltos (Al, Fe, Mn, y Cu). Las muestras para análisis de metales

fueron preservadas con ácido nítrico (1% v/v) y colocadas en envases de polietileno a 4 °C para su conservación.

Los elementos Na, K, Ca y Mg fueron analizados por espectrofotometría de absorción atómica por llama con el método 7000B (USEPA 2007a), utilizando un espectrofotómetro GBC Avanta® modelo 908G. Los elementos Al, Fe, Mn, y Cu fueron medidos por espectrofotometría de absorción atómica por horno de grafito (GBC Avanta® GF 3000) con el método 7010 (USEPA 2007b).

Las muestras para la determinación de nutrientes fueron recolectadas en botellas plásticas de HDP, previamente lavadas con ácido y agua desionizada. Se tomaron alícuotas de 125 ml filtradas (0,45 µm) a las cuales se les añadieron 150 µl de H₂SO₄ como preservativo. El Nitrógeno Total (TN) fue medido usando un equipo ANTEK® 7000N Nitrogen Analyzer utilizando transporte de O₂ en lugar de Argón para promover la recuperación completa de Nitrógeno de las muestras de agua (Frankovich y Jones 1998). El Fósforo Total (TP) se determinó utilizando combustión a ceniza seca y la técnica de hidrólisis ácida (Solórzano y Sharp 1980). Para la determinación de Fósforo Soluble Reactivo (SRP), nitrato + nitrito (NO_x⁻), nitrito (NO₂⁻) y silicio (Si) se utilizan alícuotas filtradas a

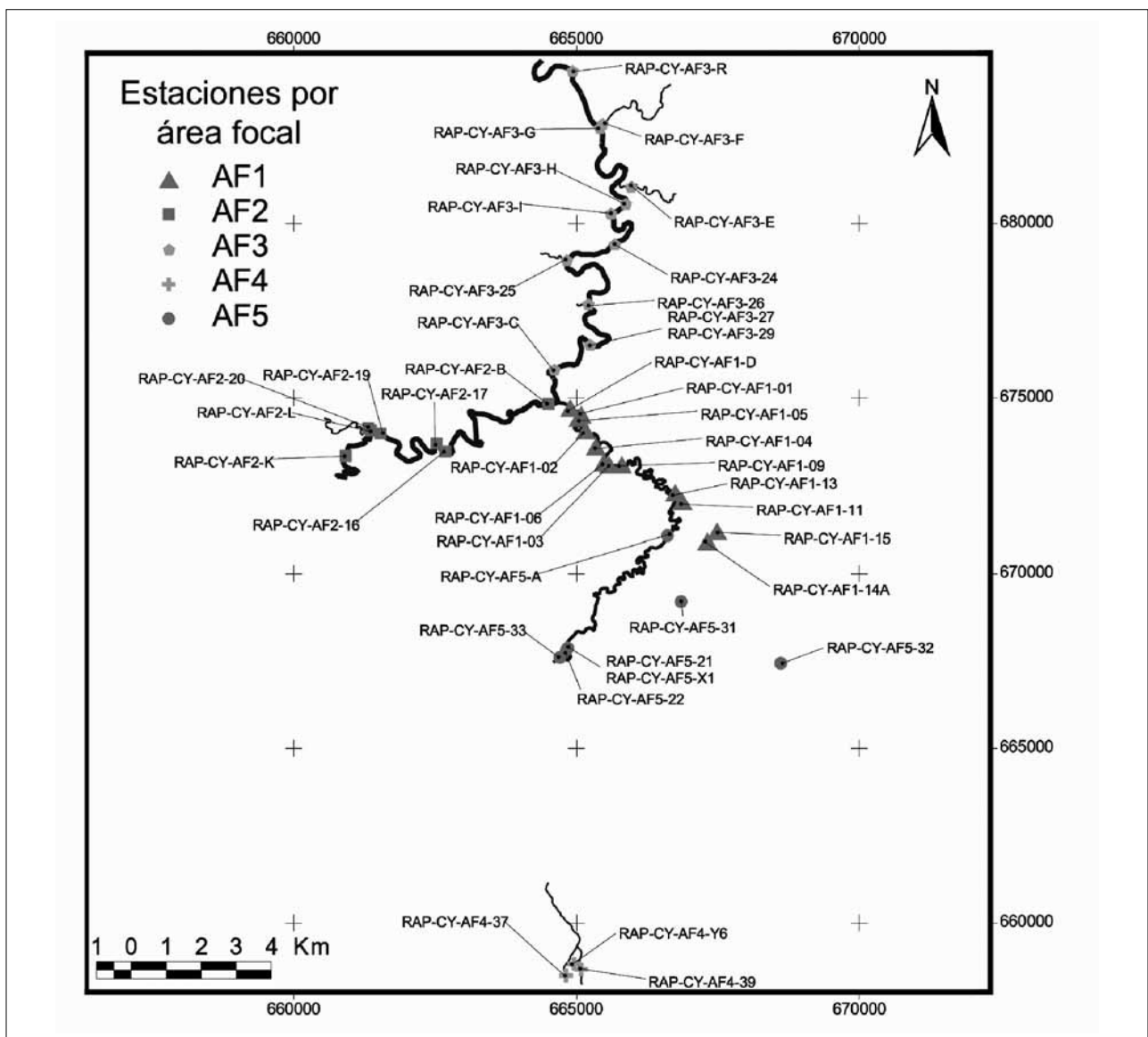


Figura 3.1. Estaciones de muestreo, por áreas focales, durante el RAP Alto Cuyuní 2008.

mano (0,75 µm, GF/F) y el filtrado se analizó mediante análisis de flujo de inyección en un equipo Alpkem® modelo RFA 300.

Debido a que las muestras son preservadas en el campo mediante acidificación (150 µl H₂SO₄), las alícuotas fueron llevadas a pH neutro antes de la determinación de amonio (NH₄⁺) en un equipo Alpkem® modelo RFA 300. Algunos parámetros no fueron medidos sino determinados por diferencia. Así, el Nitrato (NO₃⁻) fue calculado como NO_X⁻ - NO₂⁻, el Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN) fue calculado como NO_X⁻ + NH₄⁺ y, finalmente, el Nitrógeno Orgánico Total (TON) fue calculado como TN - DIN. Los análisis de nutrientes se llevaron a cabo en el Southeast Environmental Research Center de Florida International University, Miami, USA.

Para el análisis estadístico de los datos se comenzó por verificar la distribución normal y la homocedasticidad de las variables fisicoquímicas: Temperatura, Oxígeno Disuelto, Conductividad, Turbidez, pH, Sólidos Totales Disueltos (STD), Sólidos Totales Suspendidos (STS), Carbono Orgánico Disuelto (COD), Sodio (Na), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Cobre (Cu), Aluminio (Al), Hierro (Fe) y Manganeso (Mn) medidas en las 42 estaciones pertenecientes a las cinco áreas focales (AF1-Bajo Uey: n=13; AF2-Alto Cuyuní: n=7; AF3-Medio Cuyuní: n=12; AF4-Alto Uey: n=3; AF5-Medio Uey: n=7), a partir de las pruebas de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov ($\alpha=0.05$) y la prueba de Levene ($\alpha=0.05$).

La Turbidez, así como el Al, K, Cu, Fe y el Mn requirieron transformación a Log₁₀ para alcanzar una distribución normal. Las posibles diferencias entre áreas focales se evaluaron con la prueba de ANOVA ($\alpha=0.05$), seguida de la prueba *post hoc* LSD de comparaciones múltiples cuando las varianzas fueron homogéneas. Se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis ($\alpha=0.05$) con posterior comprobación de Mann-Whitney U ($\alpha=0.05$) para los parámetros heterocedásticos: STS, pH y Ca. Se utilizó el coeficiente de Pearson de 2 colas ($\alpha=0.05$), para evaluar las posibles correlaciones entre las variables fisicoquímicas. Posteriormente se realizó un análisis de agrupamiento jerárquico (cluster) para corroborar si existe discriminación espacial en función de los parámetros fisicoquímicos medidos, tomándose como índice de correlación o similitud la distancia euclidiana, después de la estandarización a Log₁₀ de las variables. Todos los análisis fueron realizados en el programa SPSS 16.0 para MacOS. Finalmente, se elaboraron mapas utilizando el programa ArcView® GIS 3.3, digitalizando y georeferenciando imágenes satelitales extraídas de Google Earth®, a las cuales se añadieron las capas correspondientes al parámetro deseado en cada estación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de las áreas focales

Área focal 1 – Bajo Uey

En esta área el río Uey no supera los 30 m de ancho y los 8 m de profundidad. Se caracteriza por su baja pendiente (0,16%) y abundancia de meandros. Los suelos desarrollados sobre rocas metavolcánicas intermedias a máficas y sobre intrusivos graníticos son, por lo general, espesos

(>4-5 m), arcillosos y en extremo lixiviados, constituyendo en algunos casos perfiles lateríticos; mientras que los desarrollados sobre depósitos aluviales son arenosos, permeables y ricos en cuarzo. En el Área Focal 1 fueron muestreadas nueve quebradas, dos pozos y dos puntos en el cauce principal del río Uey. El tipo de aguas predominante en la zona es aguas negras (*sensu* Sioli 1965), en donde cinco de las nueve quebradas muestreadas presentaron esta característica. Otras tres quebradas estudiadas fueron de aguas claras, las cuales representan probablemente afluentes intermitentes llenados en época de lluvia.

Área focal 2 – Alto Cuyuní

Esta área focal constituye lo que denominamos la porción o parte superior de la cuenca alta del río Cuyuní, aguas arriba de su confluencia con el río Uey. Está caracterizada por una pendiente baja de 0,19%. Uno de los principales tributarios es el río Junín, codificado como estación RAP-CY-AF2:20. En el Área Focal 2 fueron muestreadas cinco quebradas y dos estaciones en el cauce principal del río Cuyuní.

Área focal 3 – Bajo río Cuyuní

Esta área focal comprende lo que a objeto del presente estudio denominamos la parte o porción inferior de la cuenca alta del río Cuyuní, presentando la pendiente más baja (0,02%). Se extiende desde la confluencia entre el río Cuyuní y el río Uey, hasta su confluencia con la quebrada Amarilla. Esta última quebrada es un afluente importante, que abarca una pequeña subcuenca impactada por las actividades mineras durante más de 40 años. En esta zona operan numerosas concesiones mineras, entre ellas: Las Cristinas, Bizkaitarra, Barinesa, Carolina, Andrea, Paracaima, Libertad, Las Claritas, Lote Delta, Romina, Bloques A-B-C, Oro, Viminca, Yuruan, Tapaya Albino, Minerva y Sor Teresita, en las cuales se practica minería del oro a pequeña escala y artesanal (información obtenida del Plano General de Concesiones Sur Estado Bolívar, escala 1:500.000, abril 2007). En la mayoría de los procesos mineros a pequeña escala que se realizan en la zona, se produce la erosión hidráulica de las terrazas de los ríos y el dragado de los cursos de agua por el uso de monitores hidráulicos a presión y bombas de succión. Geológicamente, esta área focal representa una sección de la provincia metalogénica del supergrupo de Pastora en donde se encuentran depósitos de oro alojados en venas de cuarzo localizadas en rocas volcánicas Precámbricas y aluviones Cuaternarios (Tosiani et al. 2004). En esta área focal se muestrearon ocho quebradas, y se tomaron cuatro puntos del cauce principal del río Cuyuní.

Área focal 4 – Alto río Uey

El Área Focal 4 se ubica en la cuenca alta del río Uey en la Sierra de Lema. Esta zona presenta abundantes cascadas y raudales y dos ríos principales unen sus aguas para formar el cauce principal del río Uey, con una pendiente de 4,7% que es la más alta de la zona de estudio. Esta área focal está situada entre las penillanuras de la cuenca alta del río Cuyuní y la altiplanicie de la Gran Sabana, caracterizadas por un paisaje de altiplanicie con diferencias de disección, donde también predominan rocas sedimentarias del Grupo Roraima (Huber y Febres 2000). Los tipos de suelos

predominantes en la parte alta de Sierra de Lema son entisoles, inceptisoles y ultisoles, estando los dos primeros generalmente asociados a rocas sedimentarias (areniscas) y los últimos a intrusiones o afloramientos de rocas básicas ferromagnesianas del tipo diabasa (EDELCA 2000). Esta área focal pudiera representar la línea base del estudio, debido a que en esta zona se encuentran las aguas menos intervenidas de toda la cuenca. Se midieron parámetros en tres estaciones y se colectaron muestras en los dos cauces más importantes.

Área focal 5 – Medio Uey

Esta área focal representa la cuenca media del río Uey con una elevación media de 140 m, que junto con las áreas focales 1 y 4 constituyen el área total de drenaje del río Uey. En esta área focal fueron muestreadas cuatro quebradas y tres sitios en el cauce principal del río Uey.

En el apartado metodológico se complementa y detalla la descripción de las cinco áreas focales.

Descripción de parámetros y nutrientes

Turbidez y sólidos suspendidos totales (STS)

En general las aguas presentan valores bajos de turbidez (<13 NTU) (Tabla 3.1), excepto en aquellos ríos impactados por la actividad minera como la Quebrada Amarilla RAP-CY-AF3: F (326 NTU), la estación RAP-CY-AF2:16 (105,5 NTU) y la estación RAP-CY-AF1:02 (66,3 NTU), las cuales presentan los más altos valores.

Los niveles mínimos de turbidez fueron obtenidos en las áreas focales AF5 y AF1, siendo significativamente menores (ANOVA, $p=0.035$) a los valores de turbidez encontrados en el Área Focal 3 (LSD, $p<0.05$). Aunque la turbidez no depende exclusivamente de la concentración de STS en las aguas, existe una relación positiva entre estas dos variables ($r^2= 0,987$). Las aguas estudiadas se caracterizaron por bajos contenidos de STS (rango 0,7-10 mg/L) como es de esperar en un sistema fluvial equilibrado y estable, de baja pendiente y donde sus bancos y zonas de inundación se encuentran protegidas contra la erosión por la densa cobertura vegetal y su entramado radicular. En las áreas focales 4 y 5 las concentraciones de STS fueron menores (Kruskal Wallis, $p=0.049$) al ser comparadas con las áreas focales 1, 2 y 3 (ManWhitney-U, $p<0.05$), en las cuales se encuentran las estaciones con los mayores valores de STS. Como es de esperar, las estaciones que presentaron altas concentraciones de STS también mostraron una elevada turbidez. Estas estaciones corresponden a quebradas intervenidas por actividad minera, RAP-CY-AF3: F (SST 342.42 mg/L), RAP-CY-AF3:26 (SST 323.24 mg/L), RAP-CY-AF2:16 (SST 73.68 mg/L) y RAP-CY-AF1:02 (SST 45.28 mg/L) (Tabla 3.1).

En la figura 3.2 se observa que el Área Focal 3 presenta las estaciones con los mayores valores de STS. La estación del cauce principal del río Cuyuní RAP-CY-AF3: G, exhibió un contenido de STS (8.80mg/L) típico de un río de aguas negras (Yanes 1997, Tosiani et al. 2004). Sin embargo, existe un fuerte incremento en la estación RAP-CY-AF3: R (STS 41.08 mg/L), la cual corresponde al cauce principal del río Cuyuní aguas abajo de la estación RAP-CY-AF3: G. Este drástico incremento se debe a las altas cantidades de STS que son aportados por una de las quebradas más impactadas por las actividades mineras

(Quebrada Amarilla), la cual posee las mayores concentraciones de material suspendido determinadas en este estudio (STS 342.42 mg/L).

Es importante aclarar que las altas concentraciones de STS afectan el ecosistema acuático debido a la sedimentación y reducción de la transparencia de las aguas, restringiendo así el paso de luz indispensable para el fitoplancton y la vida acuática en general. Igualmente, altos niveles de STS pueden afectar algunos mecanismos fisiológicos en macroinvertebrados y peces, tales como la alimentación y respiración (Islam y Tanaka 2004).

Conductividad

Los valores de conductividad son relativamente bajos (<10 $\mu\text{S/cm}$) en toda la cuenca estudiada, como es lo usual en ríos de “aguas negras” que fluyen sobre regiones muy meteorizadas químicamente (Tabla 3.1) (Edmond et al. 1995). Sin embargo, existen valores anormalmente altos que pueden ser atribuidos a la intervención minera, ya que esta actividad socava los perfiles del suelo formados sobre la roca, liberando iones que incrementan la carga disuelta (STD) y provocando un aumento en la conductividad. Tal es el caso de las estaciones RAP-CY-AF1:02 (40.0 $\mu\text{S/cm}$) y RAP-CY-AF3:F (28 $\mu\text{S/cm}$), las cuales presentan los más altos valores de conductividad en toda la zona estudiada.

En algunas ocasiones no existe necesariamente una correlación positiva entre los parámetros STS y la conductividad, ya que hay estaciones con altas concentraciones en STS que no presentan altos valores de conductividad. Este es el caso de la estación RAP-CY-AF2:26 (STS 323,24 mg/L y conductividad 17.1 $\mu\text{S/cm}$).

El Área Focal 4 se encuentra en la cuenca alta del río Uey, la cual es posiblemente una de las áreas focales menos

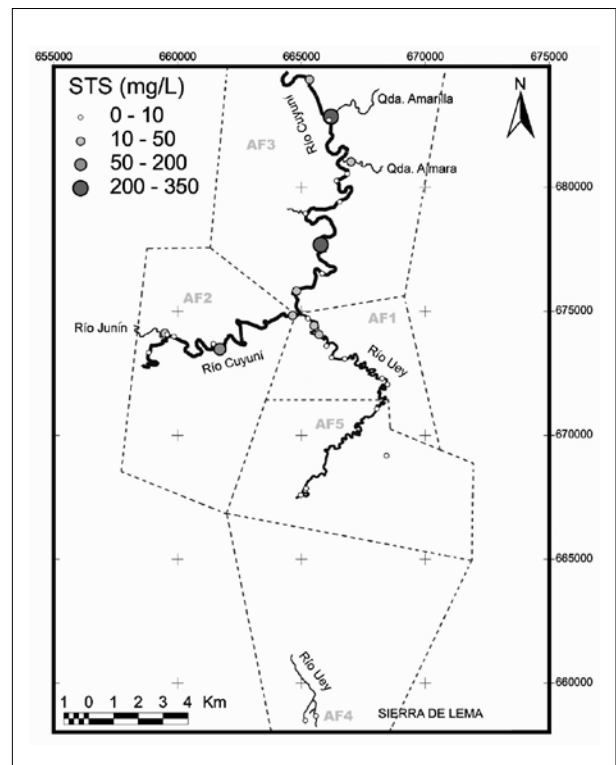


Figura 3.2. Sólidos suspendidos totales (mg/L) por estación de muestreo. Se observa que el Área Focal 3 presenta el con mayor número de estaciones con altas concentraciones de STS.

Tabla 3.1. Parámetros físico-químicos de las aguas en las diferentes estaciones de muestreo y áreas focales durante el RAP Alto Cuyuní 2008.

| Localidad | Temperatura (°C) | pH | TSS (mg/L) | Turb (NTU) | OD (mg/L) | Cond (µS/cm ³) |
|---------------------|------------------|------|------------|------------|-----------|----------------------------|
| Área Focal 1 | | | | | | |
| RAP-CY-AF1:01 | 24,60 | 5,27 | 3,40 | 4,36 | 2,61 | 10,0 |
| RAP-CY-AF1:02 | 25,00 | 5,47 | 45,28 | 66,30 | 3,85 | 40,0 |
| RAP-CY-AF1:03 | 23,50 | 6,17 | - | 7,93 | 4,69 | 12,0 |
| RAP-CY-AF1:04 | 23,60 | 5,38 | 3,26 | 3,24 | 1,04 | 15,0 |
| RAP-CY-AF1:05 | 23,30 | 6,54 | 10,54 | 5,05 | 4,27 | 10,7 |
| RAP-CY-AF1:06 | 24,10 | 6,87 | 4,42 | 1,86 | 2,76 | 10,1 |
| RAP-CY-AF1:09 | 24,06 | 5,88 | 4,40 | 3,40 | 3,21 | 12,0 |
| RAP-CY-AF1:11 | 22,62 | 5,80 | 2,34 | 2,13 | 4,44 | 9,0 |
| RAP-CY-AF1:13 | 23,63 | 5,83 | 8,56 | 6,15 | 3,90 | 11,0 |
| RAP-CY-AF1:14A | 24,11 | 5,18 | - | - | 0,40 | 15,0 |
| RAP-CY-AF1:14B | 24,06 | 5,29 | - | - | 2,38 | 15,0 |
| RAP-CY-AF1:15 | 24,30 | 4,97 | - | - | 1,20 | 12,0 |
| RAP-CY-AF1:D | 23,34 | 6,11 | 7,56 | 3,91 | 4,16 | 11,0 |
| Área Focal 2 | | | | | | |
| RAP-CY-AF2:16 | 25,66 | 6,03 | 73,68 | 105,50 | 4,21 | 10,0 |
| RAP-CY-AF2:17 | 24,00 | 5,66 | 6,78 | - | 5,00 | 10,4 |
| RAP-CY-AF2:19 | 24,39 | 5,61 | 2,94 | 1,89 | 3,99 | 8,0 |
| RAP-CY-AF2:20 | 24,20 | 6,14 | 16,16 | - | - | 17,4 |
| RAP-CY-AF2:B | 23,77 | 6,14 | 10,08 | 8,39 | 4,08 | 10,0 |
| RAP-CY-AF2:K | 23,91 | 5,93 | 9,60 | 7,97 | 4,74 | 9,0 |
| RAP-CY-AF2:L | 23,82 | 6,19 | 4,08 | 1,55 | 4,66 | 11,0 |
| Área Focal 3 | | | | | | |
| RAP-CY-AF3:24 | 23,70 | 5,67 | 3,30 | - | 5,47 | 11,5 |
| RAP-CY-AF3:25 | 24,20 | 5,67 | 3,30 | - | 4,54 | 10,2 |
| RAP-CY-AF3:26 | 24,80 | 6,00 | 323,24 | - | 5,70 | 17,1 |
| RAP-CY-AF3:27 | 24,00 | 5,95 | 0,87 | - | 7,07 | 6,2 |
| RAP-CY-AF3:29 | 23,90 | 5,32 | 0,76 | - | 2,82 | 8,0 |
| RAP-CY-AF3:C | 23,69 | 6,10 | 21,14 | 17,80 | 4,09 | 11,0 |
| RAP-CY-AF3:E | 24,61 | 6,20 | 41,90 | 34,50 | 4,06 | 12,2 |
| RAP-CY-AF3:F | 27,53 | 6,85 | 342,42 | 326,00 | 4,11 | 28,0 |
| RAP-CY-AF3:G | 25,00 | 6,21 | 8,80 | 12,00 | 4,16 | 11,0 |
| RAP-CY-AF3:H | 23,67 | 6,16 | 6,94 | 5,87 | 4,28 | 10,0 |
| RAP-CY-AF3:I | 25,00 | 5,81 | 5,56 | 4,20 | 3,57 | 11,0 |
| RAP-CY-AF3:R | 23,40 | - | 41,08 | - | - | 10,2 |
| Área Focal 4 | | | | | | |
| RAP-CY-AF4:Y6 | 22,60 | 5,68 | - | - | 5,43 | 14,4 |
| RAP-CY-AF4:39 | 19,80 | 5,29 | 2,34 | - | 7,00 | 20,6 |
| RAP-CY-AF4:37 | 19,50 | 5,68 | 2,08 | - | 5,60 | 11,9 |
| Área Focal 5 | | | | | | |
| RAP-CY-AF5:21 | - | 5,72 | 1,36 | 1,62 | 3,81 | 12 |
| RAP-CY-AF5:22 | 22,04 | 6,15 | 1,98 | 1,36 | 5,34 | 9 |
| RAP-CY-AF5:31 | 22,10 | 5,91 | 2,30 | - | 8,64 | 10,4 |
| RAP-CY-AF5:32 | 23,80 | - | - | - | 6,53 | 12,6 |
| RAP-CY-AF5:33 | 22,30 | 5,84 | 6,62 | - | 5,02 | 11,5 |
| RAP-CY-AF5:A | 22,74 | 6,18 | 2,56 | 1,33 | 4,16 | 10,5 |
| RAP-CY-AF5:X1 | 23,5 | 5,71 | 4,18 | 1,99 | 3,92 | 13 |

intervenida de la cuenca. Sin embargo, el valor registrado de conductividad para la estación RAP-CY-AF4-39 es relativamente alto, aunque no necesariamente anómalo para un sistema de aguas negras (20,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$), en comparación a otras muestras de áreas no intervenidas.

pH

Las aguas estudiadas fueron consideradas medianamente ácidas (pH entre 4,9 a 6,0 en promedio) (Tabla 3.1) y las condiciones de mayor acidez se encontraron presentes en la estación RAP-CY-AF1:15 (pH = 4,97). Estos bajos valores de pH se deben específicamente a dos factores. El primer factor se encuentra asociado a la ausencia de rocas calcáreas en la región, lo cual se traduce en una menor capacidad de neutralización del agua de lluvia o una pobre capacidad tampón del sustrato. El otro factor que influye en la acidez de estas aguas es la presencia de ácidos húmicos en solución, los cuales pueden disminuir significativamente el pH de las mismas.

Los valores más elevados de pH (entre 6,0 y 6,9) se encuentran asociados a las estaciones más perturbadas por la actividad minera, tal como la estación RAP-CY-AF3: F la cual presenta el valor de pH más elevado registrado durante este estudio (pH 6,85). Esto podría ser consecuencia de la degradación que ocurre en los suelos a causa de la actividad minera.

Durante la erosión de los suelos por las actividades mineras, cantidades significativas de minerales de arcilla son liberados, especialmente caolinita y menores proporciones de esmectitas, las cuales tienden a fijar hidrogeniones en los bordes de los cristales, modificando la acidez de las aguas. Adicionalmente, en las zonas de actividad hidrotermal asociadas a las mineralizaciones primarias de oro en la región de Las Cristinas (cuenca de la Quebrada Amarilla), se encuentran cantidades menores de calcita y dolomita que pudiesen contribuir al aumento del pH. Esto es consistente con las relativamente altas concentraciones de Ca y Mg observadas en esta estación de la Quebrada Amarilla.

Oxígeno disuelto (OD)

La mayoría de los sistemas estudiados presentan aguas bien oxigenadas (Tabla 3.1), con un rango entre 5 y 7 mgO_2/L . Los valores más altos se ubicaron en las estaciones aguas abajo de rápidos y cascadas (RAP-CY-AF5:31 (8,64 mg/L), RAP-CY-AF3:27 (7,07 mg/L) y RAP-CY-AF4:39 (7,00 mg/L). De manera similar, en el mapa de concentraciones de OD mostrado en la figura 3.3 se observa que estas estaciones poseen las mayores concentraciones de oxígeno disuelto de toda la zona estudiada, al igual que las estaciones localizadas en las áreas focales AF4 y AF5.

Los niveles más bajos de oxígeno disuelto (entre 0,40 y 2,38 mg/L) se encuentran en pequeños pozos (RAP-CY-AF1:14A y RAP-CY-AF1:14B) y quebradas (RAP-CY-AF1:04 y RAP-CY-AF1:15) ubicadas en general en el Área Focal 1. Los valores de oxígeno disuelto en esta área focal (AF1) son significativamente menores (ANOVA, $p=0.001$) en comparación con el resto de las estaciones (LSD, $p<0.05$). Estos bajos valores de oxígeno disuelto presentados en esta área se deben quizás a que estos pequeños cuerpos de agua carecen de circulación de agua o simplemente la circulación del agua es muy restringida tanto en quebradas como en pozos.

Temperatura

El promedio de temperatura de las aguas estudiadas estuvo alrededor de 23 °C. Sin embargo, existen diferencias entre áreas focales. Las áreas focales AF4 y AF5 presentaron temperaturas significativamente menores (ANOVA, $p=0.000$) que a las áreas focales 1, 2 y 3 (LSD, $p<0.05$). Estas diferencias se pueden observar claramente en el mapa de temperatura por estaciones (Figura 3.4). La temperatura de las aguas es muy dependiente de la temperatura ambiental, la cual a su vez es en parte dependiente de la altura (m s.n.m.). A mayor altura menor es la temperatura ambiental y, por ende, menor es la temperatura del agua. El Área Focal 4 es el área de mayor altura (entre 500 y 600 m s.n.m.) de la cuenca estudiada, enclavada además en un bosque submesotérmico húmedo producto de la presencia frecuente de neblina ocasionada por las características orográficas y condiciones atmosféricas reinantes (Hernández y Castellanos 2006), característica por lo cual los ecosistemas presentes en esta área focal presentan las menores temperaturas encontradas en toda la cuenca: RAP-CY-AF4:39 (19,80 °C) y RAP-CY-AF4:37 (19,50 °C) (Tabla 3.1).

Las estaciones con mayores temperaturas fueron ubicadas en el Área Focal 3 especialmente en la cuenca de la Quebrada Amarilla RAP-CY-AF3: F (27,53 °C), caracterizada por áreas desprovistas de vegetación boscosa y drenajes totalmente disturbados a causa de las actividades mineras. En ausencia de vegetación la temperatura del suelo se incrementa, produciendo un aumento en la temperatura del agua que drena esa zona en particular.

Nutrientes

En la tabla 3.2 se muestran los resultados de los contenidos de nutrientes expresados en micromoles/litro ($\mu\text{M}/\text{L}$)

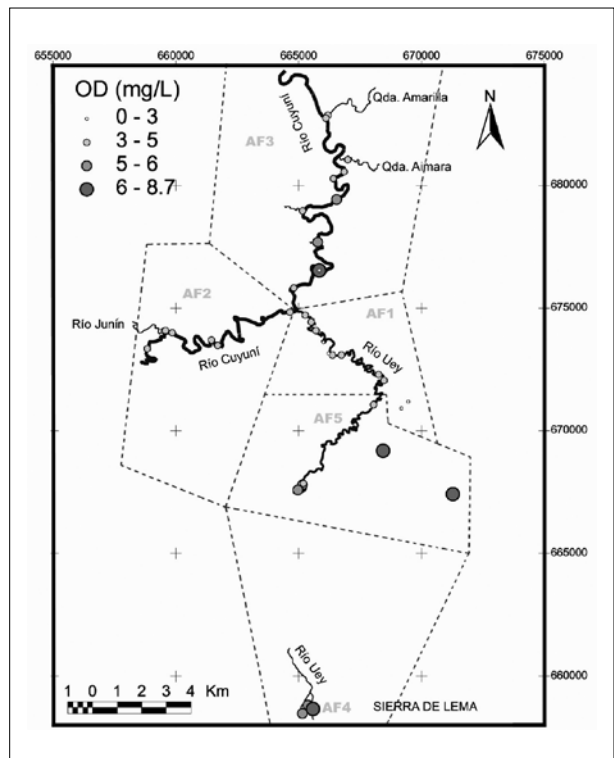


Figura 3.3. Oxígeno disuelto (OD) (mg/L) por estación de muestreo. Las estaciones con valores más altos de OD pertenecientes a las áreas focales 4 y 5 son las más cercanas a saltos y rápidos.

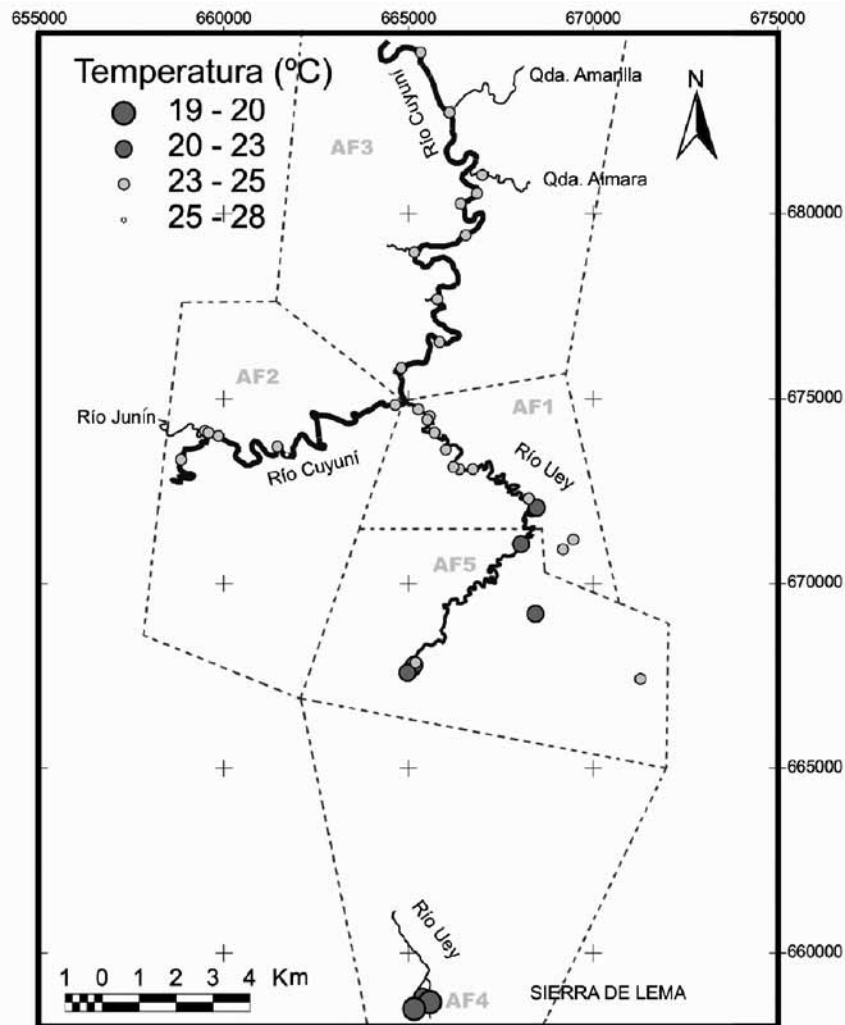


Figura 3.4. Temperaturas (°C) por estación de muestreo. Se observa como en las áreas focales 4 y 5 las temperaturas son las menores registradas.

Tabla 3.2. Concentraciones de nutriente (uM/L) en las aguas de la cuenca alta del río Cuyuní- RAP Alto Cuyuní 2008.

| Estación | NT | PT | COT | Si | NO ₃ | NO ₂ | NH ₄ | NIT | PRS |
|---------------|-------|-------|-------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|------|--------|
| RAP-CY-AF1:01 | 33,67 | 0,149 | 894,2 | 87,12 | 1,562 | 0,3600 | 3,34 | 5,26 | 0,0123 |
| RAP-CY-AF1:02 | 26,24 | 0,518 | 298,1 | 128,23 | 2,861 | 0,1095 | 1,65 | 4,62 | 0,0330 |
| RAP-CY-AF1:11 | 22,28 | 0,072 | 528,8 | 70,32 | 2,260 | 0,2489 | 0,49 | 3,00 | 0,0715 |
| RAP-CY-AF2:16 | 22,45 | 0,138 | 298,2 | 69,75 | 2,968 | 0,0750 | 3,20 | 6,25 | 0,0410 |
| RAP-CY-AF2:B | 17,17 | 0,079 | 371,4 | 88,52 | 1,699 | 0,1804 | 0,77 | 2,65 | 0,0428 |
| RAP-CY-AF2:K | 23,82 | 0,035 | 402,3 | 95,58 | 1,222 | 0,2249 | 1,03 | 2,47 | 0,0195 |
| RAP-CY-AF2:L | 15,32 | 0,090 | 314,2 | 93,38 | 2,594 | 0,1775 | 1,03 | 3,80 | 0,0330 |
| RAP-CY-AF3:C | 17,00 | 0,106 | 418,6 | 91,38 | 1,942 | 0,2265 | 0,87 | 3,04 | 0,0390 |
| RAP-CY-AF3:E | 24,32 | 0,141 | 301,7 | 94,03 | 2,297 | 0,2341 | 0,90 | 3,43 | 0,0407 |
| RAP-CY-AF3:F | 26,34 | 1,092 | 249,1 | 188,79 | 3,812 | 0,2020 | 1,69 | 5,71 | 0,0701 |
| RAP-CY-AF3:G | 25,33 | 0,617 | 275,4 | 141,41 | 3,054 | 0,2180 | 1,30 | 4,57 | 0,0554 |
| RAP-CY-AF3:H | 18,62 | 0,121 | 403,8 | 98,52 | 2,015 | 0,1913 | 0,53 | 2,73 | 0,0680 |
| RAP-CY-AF3:I | 25,13 | 0,114 | 376,3 | 109,53 | 0,552 | 0,2016 | 5,09 | - | - |
| RAP-CY-AF4:37 | 24,21 | 0,052 | 480,8 | 100,74 | 1,309 | 0,3007 | 0,33 | 1,94 | 0,0925 |
| RAP-CY-AF5:21 | 21,36 | 0,153 | 435,3 | 79,73 | 1,553 | 0,3028 | 0,68 | 2,53 | 0,0930 |
| RAP-CY-AF5:22 | 26,06 | 0,074 | 694,6 | 67,99 | 2,387 | 0,2000 | 0,33 | 2,92 | 0,0175 |
| RAP-CY-AF5:A | 28,69 | 0,118 | 492,8 | 94,83 | 2,251 | 0,1767 | 0,69 | 3,12 | 0,0598 |
| RAP-CY-AF5:X1 | 24,79 | 0,190 | 445,3 | 86,39 | - | - | - | - | - |

Tabla 3.3. Concentración de cationes mayoritarios (mg/L) en las aguas de la cuenca alta del río Cuyuní: RAP Alto Cuyuní 2008.

| Localidad | Na | K | Mg | Ca |
|---------------------|------|------|------|------|
| Área Focal 1 | | | | |
| RAP-CY-AF1:01 | 0,71 | 0,25 | 0,27 | 0,47 |
| RAP-CY-AF1:02 | 0,64 | 0,13 | 0,71 | 0,72 |
| RAP-CY-AF1:04 | 0,39 | 0,09 | 0,83 | 0,58 |
| RAP-CY-AF1:05 | 0,59 | 0,15 | 0,51 | 0,81 |
| RAP-CY-AF1:06 | 0,50 | 0,09 | 0,56 | 0,57 |
| RAP-CY-AF1:09 | 0,48 | 0,13 | 0,58 | 0,70 |
| RAP-CY-AF1:11 | 0,52 | 0,13 | 0,47 | 0,70 |
| RAP-CY-AF1:D | 0,57 | 0,15 | 0,53 | 0,81 |
| Área Focal 2 | | | | |
| RAP-CY-AF2:16 | 0,46 | 0,12 | 0,46 | 0,60 |
| RAP-CY-AF2:17 | 0,66 | 0,13 | 0,45 | 0,56 |
| RAP-CY-AF2:19 | 0,81 | 0,30 | 0,18 | 0,26 |
| RAP-CY-AF2:20 | 0,97 | 0,22 | 0,92 | 0,84 |
| RAP-CY-AF2:B | 0,67 | 0,18 | 0,38 | 0,62 |
| RAP-CY-AF2:K | 0,75 | 0,19 | 0,30 | 0,57 |
| RAP-CY-AF2:L | 0,66 | 0,19 | 0,48 | 0,69 |
| Área Focal 3 | | | | |
| RAP-CY-AF3:24 | 1,06 | 0,34 | 0,35 | 0,47 |
| RAP-CY-AF3:25 | 0,68 | 0,18 | 0,24 | 0,36 |
| RAP-CY-AF3:26 | 0,79 | 0,86 | 0,17 | 0,29 |
| RAP-CY-AF3:27 | 0,73 | 0,39 | 0,06 | 0,15 |
| RAP-CY-AF3:29 | 0,73 | 0,35 | 0,04 | 0,07 |
| RAP-CY-AF3:C | 0,65 | 0,17 | 0,45 | 0,71 |
| RAP-CY-AF3:E | 0,77 | 0,17 | 0,50 | 0,80 |
| RAP-CY-AF3:F | 1,59 | 0,35 | 0,92 | 1,61 |
| RAP-CY-AF3:G | 0,69 | 0,19 | 0,45 | 0,80 |
| RAP-CY-AF3:H | 0,68 | 0,19 | 0,43 | 0,72 |
| RAP-CY-AF3:I | 0,98 | 0,23 | 0,43 | 0,51 |
| RAP-CY-AF3:R | 0,69 | 0,19 | 0,44 | 0,69 |
| Área Focal 4 | | | | |
| RAP-CY-AF4:39 | 0,84 | 0,28 | 1,30 | 2,31 |
| RAP-CY-AF4:37 | 0,49 | 0,15 | 0,71 | 1,28 |
| Área Focal 5 | | | | |
| RAP-CY-AF5:21 | 0,45 | 0,08 | 0,63 | 0,84 |
| RAP-CY-AF5:22 | 0,52 | 0,19 | 0,50 | 0,87 |
| RAP-CY-AF5:31 | 0,66 | 0,14 | 0,49 | 1,00 |
| RAP-CY-AF5:33 | 0,48 | 0,16 | 0,57 | 0,91 |
| RAP-CY-AF5:A | 0,60 | 0,16 | 0,54 | 0,90 |
| RAP-CY-AF5:X1 | 0,51 | 0,09 | 0,64 | 0,86 |

de la mayoría de las estaciones estudiadas: nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amonio (NH_4^+), nitrógeno total (NT), nitrógeno inorgánico total (NIT), fósforo total (PT), fósforo soluble reactivo (SRP), carbono orgánico total (COT) y silicio (Si). En general, todos los nutrientes y el silicio presentan bajas concentraciones, las cuales son características de los ríos que drenan el Escudo de Guayana (Sioli 1975, Viers et al. 2000). En todas las áreas, el orden de predominancia de los nutrientes ($\mu\text{M/L}$) fue $\text{COT} \gg \text{NT} \gg \text{PT}$. Las relaciones NT:PT (relaciones de Redfield, Redfield 1934) varían entre 24 y 680 (promedio=223) indicando una limitación substancial de nitrógeno para los organismos planctónicos. Es importante mencionar que las estaciones donde la relación de Redfield es relativamente baja (24-51) corresponden a aquellas con mayores evidencias de impacto antrópico (RAP-CY-AF1:2; RAP-CY-AF3: F y RAP-CY-AF3:G).

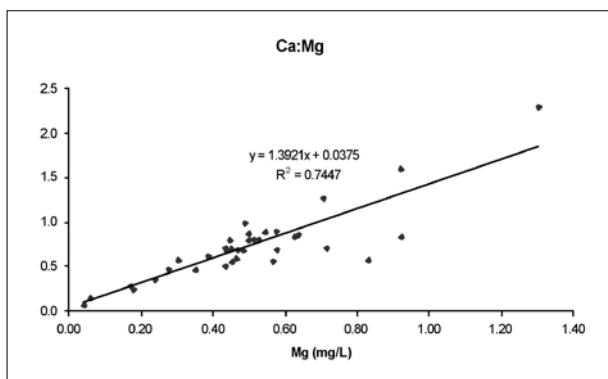


Figura 3.5. Relación entre Ca y Mg mostrando una significativa correlación lineal.

Los valores más altos en PT y NO_3^- se registraron en la estación RAP-CY-AF3: F. Sin embargo, en esta estación se presentan los valores más bajos de COT, lo que confirma el impacto producido en esta quebrada por parte de la minería. Altos valores de PT pudiesen indicar contaminación, mientras que los valores bajos de COT resultarían de la erosión de los horizontes orgánicos del suelo. Los valores de Si disuelto se corresponden con los valores mostrados por ecosistemas similares que drenan el Escudo de Guayana (Yanes 1997). Todas las aguas estudiadas se encuentran por debajo de la saturación con respecto al cuarzo, ya que los perfiles de suelo son el producto de extensos periodos de meteorización química intensa, donde solo persisten fases neoformadas muy lixiviadas (caolinita, gibbsita, goethita) y cuarzo.

En la estación del cauce principal del Cuyuní RAP-CY-AF3:I, la concentración de NO_3^- es la más baja registrada en toda la cuenca (0.552 $\mu\text{M/L}$) y la de NH_4^+ (5.093 $\mu\text{M/L}$) la más alta, lo cual sugiere ya sea una intensa actividad denitrificante en dicha localidad o un “cuello de botella” en los procesos de nitrificación.

Las concentraciones de NO_2^- observadas son bajas (0,08–0,36 $\mu\text{M/L}$), siendo la estación RAP-CY-AF1:01 la que presenta los valores máximos de NO_2^- . Los mayores valores de PT se ubicaron en la Quebrada Amarilla (RAP-CY-AF3:F). Estas altas concentraciones de PT en esta quebrada producen un incremento en el PT en el cauce principal del río Cuyuní aguas abajo de su confluencia: RAP-CY-AF3:G (0,617 $\mu\text{M/L}$). El valor más bajo de PT fue observado en la estación RAP-CY-AF2: K (0.035 $\mu\text{M/L}$), la cual pertenece a la cuenca alta del río Cuyuní antes de su confluencia con el río Junín.

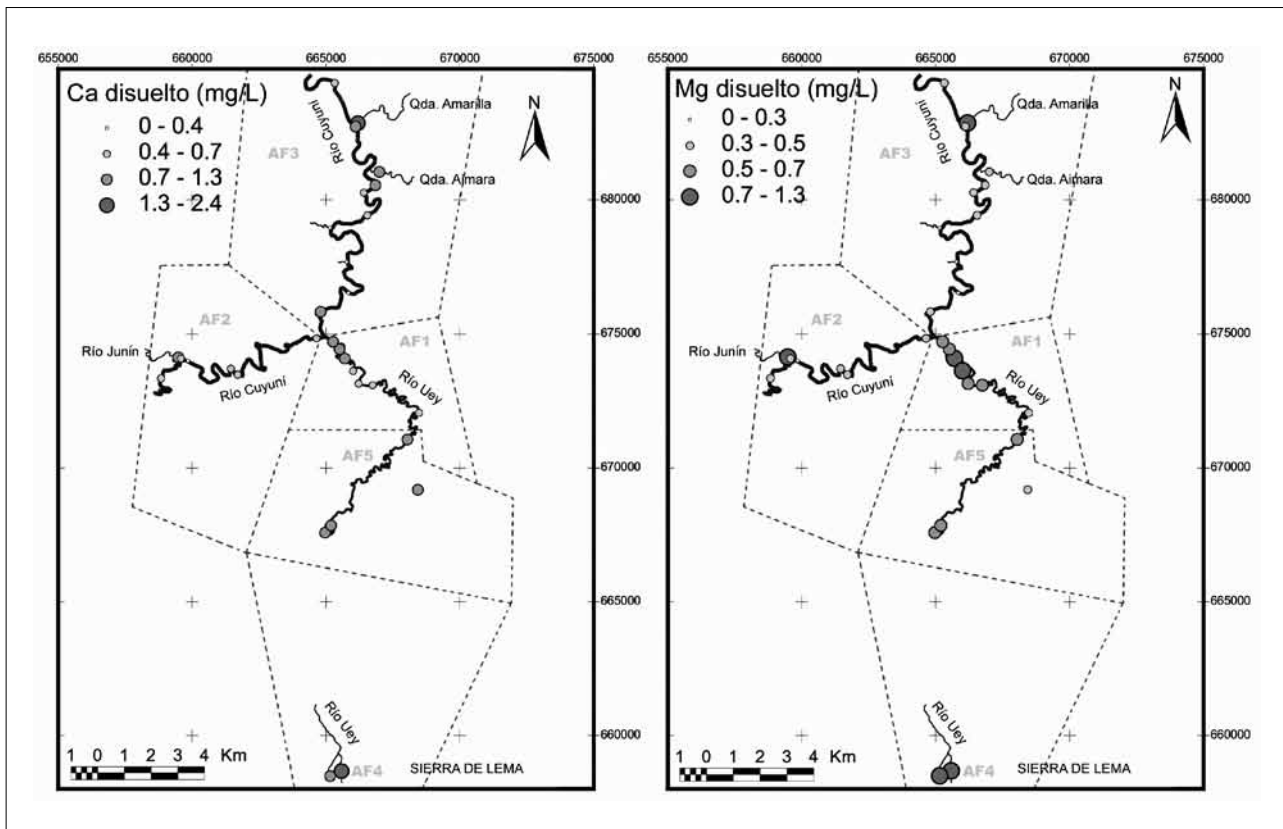


Figura 3.6. Concentraciones de Ca y Mg por estación de muestreo.

Descripción de la carga disuelta (elementos traza y mayoritarios)

Cationes mayoritarios (Na, K, Ca, Mg)

La concentración de los cationes mayoritarios analizados (Na, K, Ca, Mg) se presenta en la tabla 3.3. Existe una buena correlación lineal entre los cationes Ca y Mg (Figura 3.5, $R^2= 0,74$). El Ca es significativamente mayor en el Área Focal 4 (Kruskal Wallis, $p=0.002$) comparado con el Área Focal 5. Igualmente, estas dos áreas poseen concentraciones de Ca superiores al resto de las estaciones estudiadas (ManWhitney-U, $p<0.05$) (Figura 3.6) Similarmente, las concentraciones de Mg fueron significativamente mayores en el Área Focal 4 (ANOVA, $p=0.007$) comparado con el resto de las estaciones (LSD, $p<0.05$). Cerca del 50% de las muestras tienen relaciones molares Ca:Mg muy cercanas a 1 (promedio general=0,93) lo cual sugiere que el equilibrio con la fase sólida es con dolomita ($CaMg(CO_3)_2$, especialmente en AF3, AF4 y AF5).

Los mapas de concentraciones de Ca y Mg por estación (Figura 3.6), muestran al río Uey (áreas focales 4 y 5) con las mayores concentraciones de Ca y Mg de toda la zona estudiada. En resumen, los resultados sugieren diferencias en el sustrato rocoso en la cuenca alta y media del Uey, con la presencia de carbonatos dolomíticos.

Las concentraciones de Na y K son significativamente mayores en el Área Focal 3 (ANOVA, $p=0.003$), en comparación con las áreas focales 1 y 5 (LSD, $p<0.05$) (Figura 3.7). Las mayores concentraciones de Na disuelto observadas en el Área Focal 3 parecen estar asociadas a la presencia de granitos del Grupo Supamo en esta parte de la cuenca, los cuales son anormalmente enriquecidos en sodio (Mendoza 2000, Tosiani et al. 2004).

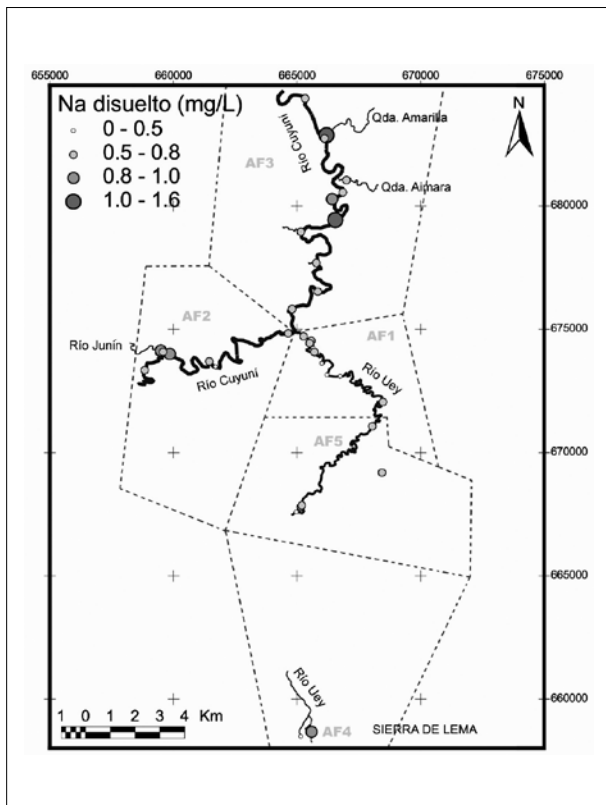


Figura 3.7. Sodio disuelto (mg/L) por estación de muestreo. Las más altas concentraciones se presentan en el Área Focal 3.

Es importante destacar que la estación RAP-CY-AF3: F (Quebrada Amarilla) presenta las concentraciones más altas para la mayoría de los elementos mayoritarios (Na, K, Ca y Mg), debido quizás a que durante las labores de excavación minera se exponen horizontes de suelo más profundos y menos meteorizados (i. e. horizonte C) y/o roca fresca, lo cual conduce a la incorporación de una carga disuelta adicional a las aguas de los ríos y quebradas. Adicionalmente, las aguas servidas de las comunidades mineras son, por lo general, vertidas directamente a los cursos de los ríos, por lo cual esta pudiese ser también una causa de las mayores concentraciones observadas en la Quebrada Amarilla.

Carbono orgánico disuelto (COD) y elementos traza (Fe, Al, Mn, Cu)

Los rangos de COD fueron muy variables en toda la zona de estudio, con valores entre 0,9 y 17 mg/L (Tabla 3.4). Sin embargo, se observa una mayor cantidad de estaciones con altas concentraciones de COD en las áreas focales 5 y 1 en la cuenca del río Uey. La estación RAP-CY-AF5:22 presentó los valores más altos de COD (7,43 mg/L) de todas las estaciones de cauce principal de los ríos estudiados. Existe una correlación positiva entre la concentración de Fe y Al disuelto frente al COD (Figura 3.8). Además del Al y el Fe, las concentraciones de Cu disuelto también muestran correlación significativa con el COD ($p=0,025$) aunque no predictiva ($r=0,380$), lo que sugiere un control parcial en la solubilidad de estos elementos por parte del COD. En estos ecosistemas de aguas negras, la mayor parte del COD se encuentra en forma de sustancias húmicas, las cuales son coloides orgánicos de alto peso molecular que tienden a formar complejos organometálicos con algunos elementos, principalmente con Fe, Al y otros metales (Dupré et al. 1999, Oliva et al. 1999, Viers

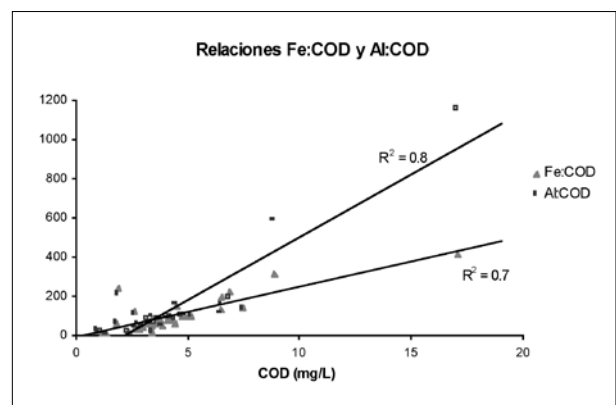


Figura 3.8. Correlación Fe y Al frente a Carbono orgánico disuelto (COD).

et al. 2000). Esta asociación entre la materia orgánica disuelta y metales ha sido también reportada por Tosiani et al. (2004) en la cuenca del río Cuyuní.

En algunas estaciones que presentan un evidente impacto por la minería (estación RAP-CY-AF3:26), se observaron altas concentraciones Al, Fe y COD (415,3 $\mu\text{g/L}$, 1160 $\mu\text{g/L}$ y 17,1 mg/L, respectivamente). También esta estación, presentó uno de los valores más altos de STS. La estación RAP-CY-AF2:16 presentó las mayores

concentraciones de Al y Fe disueltos en toda la zona de estudio. Sin embargo, la concentración de COD determinada en esta estación presentó un valor muy bajo. Este fenómeno puede estar asociado a que las sustancias húmicas (COD) son aportadas por los horizontes más superficiales del suelo, donde la descomposición de la materia vegetal se lleva a cabo. Estos horizontes superficiales son removidos al inicio de las excavaciones propias de la actividad minera. Los horizontes más profundos presentan

menor cantidad de carbono orgánico y la degradación del material mineral es la que predomina. Esto da como resultado la incorporación de elementos móviles en la carga disuelta y bajas concentraciones de COD en las aguas.

Cuando el proceso de lixiviación causado por actividad minera ya abarcó la mayor parte de los horizontes del suelo, como es el caso de la subcuenca de la Quebrada Amarilla (RAP-CY-AF3:F) que ha sido sometida durante años a esta actividad, es de esperar que las concentraciones

Tabla 3.4. Metales traza ($\mu\text{g/L}$) y Carbono orgánico disuelto (COD) (mg/L) en las aguas de la cuenca alta del río Cuyuní: RAP Alto Cuyuní 2008.

| Localidad | Fe | Al | Mn | Cu | COD |
|---------------------|-----|------|------|------|-------|
| Área Focal 1 | | | | | |
| RAP-CY-AF1:01 | 318 | 208 | 20.0 | 0.64 | 8.83 |
| RAP-CY-AF1:02 | 55 | 17 | 0.34 | 0.97 | 2.74 |
| RAP-CY-AF1:04 | 28 | 19 | 9.27 | 0.29 | 0.93 |
| RAP-CY-AF1:05 | 84 | 86 | 0.62 | 0.66 | 4.20 |
| RAP-CY-AF1:06 | 101 | 99 | 3.24 | 0.58 | 4.88 |
| RAP-CY-AF1:09 | 89 | 48 | 6.39 | 0.65 | 3.39 |
| RAP-CY-AF1:11 | 131 | 115 | 1.38 | 0.43 | 6.44 |
| RAP-CY-AF1:D | 100 | 87 | 1.46 | 0.59 | 4.71 |
| Área Focal 2 | | | | | |
| RAP-CY-AF2:16 | 240 | 590 | 2.45 | 0.86 | 1.87 |
| RAP-CY-AF2:17 | 223 | 161 | 7.86 | 0.95 | 6.86 |
| RAP-CY-AF2:19 | 66 | 104 | 3.16 | 0.35 | 3.17 |
| RAP-CY-AF2:20 | 58 | 27 | 6.24 | 0.44 | 1.81 |
| RAP-CY-AF2:B | 57 | 83 | 1.41 | 0.44 | 3.53 |
| RAP-CY-AF2:K | 76 | 88 | 1.96 | 0.40 | 3.61 |
| RAP-CY-AF2:L | 33 | 45 | 0.22 | 0.51 | 2.58 |
| Área Focal 3 | | | | | |
| RAP-CY-AF3:24 | 34 | 81 | 5.46 | 0.27 | 2.80 |
| RAP-CY-AF3:25 | 52 | 43 | 9.97 | 0.32 | 2.87 |
| RAP-CY-AF3:26 | 415 | 1160 | 13.2 | 0.98 | 17.06 |
| RAP-CY-AF3:27 | 6 | 47 | 1.06 | 0.27 | 1.10 |
| RAP-CY-AF3:29 | 15 | 194 | 0.89 | 0.23 | 3.39 |
| RAP-CY-AF3:C | 78 | 59 | 2.45 | 0.65 | 4.05 |
| RAP-CY-AF3:E | 26 | 17 | 0.26 | 0.75 | 2.33 |
| RAP-CY-AF3:F | 5 | 7 | 2.12 | 1.27 | 1.34 |
| RAP-CY-AF3:G | 67 | 52 | 1.26 | 0.56 | 3.70 |
| RAP-CY-AF3:H | 81 | 62 | 1.14 | 1.07 | 3.76 |
| RAP-CY-AF3:I | 130 | 64 | - | 0.26 | 2.58 |
| RAP-CY-AF3:R | 61 | 96 | 2.02 | 1.06 | 4.41 |
| Área Focal 4 | | | | | |
| RAP-CY-AF4:39 | 84 | 86 | 1.16 | 0.86 | 4.27 |
| RAP-CY-AF4:37 | 53 | 91 | 1.00 | 0.58 | 3.83 |
| Área Focal 5 | | | | | |
| RAP-CY-AF5:21 | 157 | 108 | 4.87 | 0.52 | 4.45 |
| RAP-CY-AF5:22 | 143 | 158 | 2.62 | 2.61 | 7.43 |
| RAP-CY-AF5:31 | 42 | 93 | 0.37 | 0.48 | 3.01 |
| RAP-CY-AF5:33 | 200 | 136 | 10.2 | 0.62 | 6.48 |
| RAP-CY-AF5:A | 100 | 99 | 0.83 | 0.59 | 5.14 |
| RAP-CY-AF5:X1 | 56 | 65 | 3.03 | 0.48 | 3.37 |

de Fe, Al y COD en las aguas sean muy bajas. Las concentraciones de Fe y el Al en aguas de ríos tropicales pueden ser muy bajas en la fase disuelta debido a que su movilidad durante la meteorización y el transporte es extremadamente baja (Gaillardet et al. 2003), y si adicionalmente el COD también es bajo, se reduce la probabilidad de acomplejamiento a fases orgánicas disueltas.

El Mn es un elemento que presenta un comportamiento no conservativo durante los procesos transporte y mezcla de tributarios en ríos tropicales (Aucour et al. 2003), y su comportamiento durante los procesos de meteorización, transporte y mezcla no han sido bien definidos en la literatura. Durante este estudio, la mayor concentración de Mn disuelto fue observada en la estación RAP-CY-AF1:1, la cual es una pequeña quebrada que se encuentra hacia el margen derecho del río Uey. La menor concentración de Mn se observó en la estación RAP-CY-AF2:L (0.22 mg/L), en la cuenta alta del río Cuyuní, específicamente en el río Junín. Nuestros resultados indican que no existe relación alguna entre las concentraciones de COD y las concentraciones de Mn disuelto, debido a que el manganeso (Mn) no tiende a asociarse con sustancias húmicas en ríos tropicales (Dupré et al. 1999).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN

Las aguas de la cuenca alta del río Cuyuní, aguas arriba de su confluencia con el río Uey, presentan en general caracteres adecuados para el desarrollo de vida acuática y funcionamiento normal de los ecosistemas, excepto en aquellos sitios intervenidos donde se practica o se practicó en el pasado la minería. En comparación con las aguas de zonas intervenidas, las aguas no impactadas por esta actividad son bajas en nutrientes, en carga suspendida y carga disuelta, en conductividad y ricas en carbono orgánico disuelto. La minería que se practica en la región se enfoca a la explotación de aluviones y perfiles de suelo enriquecidos en oro. Para ello no solamente se remueven estos materiales en paleo-placeres sino también los sedimentos de fondo de cauce, bancos de los ríos y regolitos fáciles de excavar. Por lo general los desechos de estas operaciones son vertidos directamente a los ríos lo que afecta notablemente las características geoquímicas de las aguas, incrementando substancialmente su carga suspendida y de fondo, la colmatación de los cauces y al aumento de la turbidez de las aguas. Esto, a su vez, destruye los ecosistemas bentónicos y limita substancialmente la visibilidad en el agua afectando a peces, aves y mamíferos que dependen de dichos cuerpos de agua. Quizás el mejor ejemplo y a mayor escala de este impacto se halla en la subcuenca de la Quebrada Amarilla.

No menos importante es el uso de mercurio y todo lo que ello conlleva, el vertido de combustibles y lubricantes a suelos y aguas, así como la disposición sin control ni tratamiento de aguas servidas y desechos sólidos al bosque y sus aguas. Los ríos que atraviesan las zonas mineras se convierten así en distribuidores aguas abajo de todas estas descargas trascendiendo de esta manera, el impacto de esta actividad mas allá de los confines de las minas.

Es necesario tomar las medidas pertinentes para prevenir el incremento de la explotación aurífera artesanal que

se desarrolla en la zona, la cual elimina la capa vegetal, altera los suelos, aumenta la carga suspendida en las aguas, incrementa la sedimentación y cambia las características físicoquímicas de las aguas, causando graves daños a los ecosistemas acuáticos. De igual manera, el incremento en el aporte de los sedimentos por parte de las quebradas intervenidas por minería, altera las propiedades geoquímicas de las aguas, produciéndose a largo plazo posibles modificaciones del curso de los ríos, que pueden alterar la distribución sedimentaria de la cuenca.

Aquellas quebradas que se encuentran seriamente afectadas están localizadas específicamente en las áreas focales 2 y 3. En estos ecosistemas, la intervención minera se ha producido durante varias décadas, pero constantemente aparecen nuevas explotaciones río arriba, que producen la intervención de nuevos afluentes y quebradas.

Debido a que la actividad minera en la cuenca del río Cuyuní ha sido intensa y sostenida por décadas en la región de Las Cristinas-Kilómetro 88, es poco lo que se puede hacer en términos de protección en esas zonas y el esfuerzo allí debería ser enfocado a la restauración. Sin embargo, la cuenca del Cuyuní, aguas arriba de su confluencia con el río Uey presenta condiciones más prístinas, aunque la amenaza es grande ya que nuevas minas han empezado a operar. Es precisamente en estos ecosistemas no intervenidos donde se debe prevenir que ocurran nuevos asentamientos mineros, a fin de mantener algunos tributarios en condiciones naturales. Es evidente que cualquier intervención incrementaría el impacto ambiental, debido principalmente a la lenta capacidad de recuperación de estos ambientes oligotróficos.

Las zonas que requieren mayor protección son el medio y el alto río Uey que ya muestran los primeros indicios de perturbación, debido a la instalación de minas artesanales por lo que se recomienda su erradicación lo antes posible. Se han detectado dos campamentos mineros en la margen derecha del río Uey. El primero está ubicado a una elevación de 144 m s.n.m. (06° 02' 03" N - 61° 31' 03,3" W) y el segundo a 169 m s.n.m. (06° 01' 59,6" N - 61° 30' 49,6" W). Debido a que el alto río Uey es relativamente inaccesible, todavía se encuentra en condiciones prístinas. Sin embargo, el avance de la minería hacia esta zona parece ser incontrolable.

BIBLIOGRAFÍA

- 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/Solimões confluence. *Chemical Geology* 197: 271-285.
- Briceño, H., J. Tapia y J. Estanga. 1989. "Formación Ichún, volcanismo ácido del Grupo Roraima". *Memorias VII Congreso Geológico Venezolano, Tomo I*: 57-82.
- Dupré, B., J. Viers, J. Dandurand, M. Polve, P. Bénézeth, P. Vervier y J. Braun, 1999. Major and trace elements associated with colloids in organic-rich river waters: ultrafiltration of natural and spiked solutions. *Chemical Geology* 160: 63-80.

- EDELCA. 2000. Evaluación del Potencial de Erosionabilidad de los Suelos del sector Salto el Danto-Luepa de la línea de Transmisión Eléctrica a 230 Kv, las Claritas Santa Elena de Uairen. Informe Técnico. CVG-EDELCA. Ciudad Guayana, Venezuela.
- Edmond, J. M., M. R. Palmer, C. I. Measures, B. Grant y R. F. Stallard. 1995. The fluvial geochemistry and denudation rate of the Guayana Shield in Venezuela, Colombia, and Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59:3301-3325.
- Frankovich T. y R. Jones. 1998. A rapid, precise, and sensitive method for the determination of total nitrogen in natural waters. *Marine Chemistry* 60: 227-234.
- Gaillardet, J., J. Viers y B. Dupré. 2003. Trace elements in river waters. *En: Drever J. I., H. D. Holland y K. K. Turekian (eds.). Treatise on geochemistry, Vol. 5, Elsevier Ltd. Pp. 225-272.*
- Hernández, L. y H. Castellanos. 2006. Crecimiento diamétrico arbóreo en bosques de Sierra de Lema, Guayana venezolana: primeras evaluaciones. *Inter-ciencia* 31: 787-793.
- Huber, O., G. Febres. 2000. Guía Ecológica de la Gran Sabana. Troncal 10: Piedra de la Virgen-Santa Elena de Uairén. The Nature Conservancy. Caracas, Venezuela.
- Islam, S. y M. Tanaka. 2004. Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and synthesis. *Marine Pollution Bull.* 48: 624-649.
- Lasso, C., D. Lew, D. Taphorn, C. Donascimento, O. Lasso-Alcalá, F. Provenzano y A. Machado-Allison. 2004 ("2003"). Biodiversidad Ictiológica Continental de Venezuela. Parte I: Lista de especies y distribución por cuencas. *Memorias de la Fundación La Salle Ciencias Naturales* 159-169: 105-196.
- Mendoza, V. 2000. Evolución Geotectónica y Recursos Minerales del Escudo de Guayana en Venezuela (y su Relación con el Escudo Suramericano) Pub. Esp. HECLA, 183 p.
- Oliva, P., J. Viers, B. Dupré, J. Fortuné, F. Martin, J. J. Braun, D. Nahon y H. Robain. 1999. The effect of organic matter on chemical weathering: study of a small tropical watershed: nsimi-zoétélé site, Cameroon. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 63: 4013-4035.
- Pokrovsky, O. S., J. Schott y B. Dupré. 2006. Trace element fractionation and transport in boreal rivers and soil porewaters of permafrost-dominated basaltic terrain in Central Siberia. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 70: 3239-3260.
- Redfield, A. C. 1934. On the proportions of organic derivations in sea water and their relation to the composition of plankton. *En: Daniel, R. J. (ed.). James Johnstone Memorial Volume. University Press of Liverpool. Pp. 177-192.*
- Reid, A. R. 1974. Stratigraphy of the type area of the Roraima Group, Venezuela. *Conf. Geol. Interguayanas, MEM. Pub. Especial N. 6. Pp. 343-353.*
- Sioli, H. 1965. Bemerkungen zur Typologie amazonischer Flüsse. *Amazoniana* 1 (1): 74-83.
- Sioli, H. 1975. *Tropical rivers as expressions of their terrestrial environments. En: Golley, F. B. y E. Medina (eds.). Tropical Ecological Systems/Trends in Terrestrial and Aquatic Research. New York City, Springer-Verlag. Pp. 275-288.*
- Solórzano, L. y J. Sharp. 1980. Determination of total dissolved phosphorus and particulate phosphorus in natural waters. *Limnology & Oceanography* 25: 754-758.
- Tosiani, T., M. Loubet, J. Viers, M. Valladon, J. Tapia, S. Marrero, C. Yanes, A. Ramírez, y B. Dupré. 2004. Major and trace elements in river-borne materials from the Cuyuni basin (southern Venezuela): evidence for organo-colloidal control on the dissolved load and element redistribution between the suspended and dissolved load. *Chemical Geology* 211: 305-34.
- Urbani, F. 1997. Metamorfismo de las rocas del Grupo Roraima, Estado Bolívar y Territorio Federal Amazonas. *Memorias V Congreso Geológico Venezolano, Tomo II. Pp. 623-641.*
- USEPA. 2007a. Method 7000B: Flame atomic absorption spectrophotometry. Washintong, DC. http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/online/7_series.htm
- USEPA. 2007b. Method 7010: Graphite furnace atomic absorption spectrophotometry. Washintong, D.C. http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/online/7_series.htm
- Viers, J., B. Dupré, J. Braun, S. Deberdt, B. Angeletti, J. Ngoupayou y A. Michard. 2000. Major and trace element abundances, and strontium isotopes in the Nyong basin rivers (Cameroon): constraints on chemical weathering processes and elements transport mechanisms in humid tropical environments. *Chemical Geology* 169: 211-241.
- Yanes, C. 1997. Estudio geoquímico regional de los ríos del Escudo de Guayana. Tesis Doctoral. Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias y Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica: Universidad Central de Venezuela.