

CALIDAD DEL AGUA EN HUMEDALES DEL PLANO DE INUNDACIÓN DEL RÍO ATRATO

Juan D. Correa¹

Resumen:

Se colectaron muestras de agua en 18 ciénagas de la porción media y baja del río Atrato para el análisis de 23 variables de la calidad de la misma. Adicionalmente se midieron *in situ* algunas variables en la superficie y el fondo de la columna de agua. Se comparan las características fisicoquímicas y microbiológicas halladas, con valores de referencia y límites establecidos en la legislación colombiana respecto a algunos usos del agua. Las ciénagas estudiadas (100-2500 ha; 1,3-6,2 m de profundidad) se caracterizan por su alta transparencia, baja concentración de sólidos y valores moderados de clorofila *a*. En el caso de los metales pesados, el plomo y el cobre exhiben valores más altos por lo que se discuten sus fuentes de origen potencial. En todas las ciénagas se hallaron coliformes fecales, más abundantes en áreas cercanas a centros poblados.

Palabras claves: Humedal, plano de inundación, Atrato, ciénaga, calidad del agua

WATER QUALITY IN WETLANDS OF ATRATO RIVER FLOODPLAIN

Abstract:

Water samples were collected at 18 swamps the middle and lower portion of Atrato river, to analyze 23 factors water quality. Additionally, some variables were measured in situ on surface and bottom of the water column. We compared the physicochemical and microbiological characteristics found respect to reference values and limits established under Colombian law to some uses of water. The swamp studied (100-2500 ha, 1.3 to 6.2 m depth) were characterized by high transparency, low solids concentration and medium values of chlorophyll *a*. Lead and copper exhibited higher values than others heavy metals, therefore potential sources were discussed. Fecal coliformes were found in all swamps, but were most abundant near population centers.

Key words: Wetland, Atrato, swamp, flood plain, water quality.

I. Introducción

¹ Grupo de Estudios Oceánicos Luis Fernando Vásquez Bedoya (GEOc). Correo electrónico jdiego.correa@udea.edu.co.

Los humedales en zonas inundables constituyen ecosistemas altamente dinámicos, sujetos a una amplia gama de factores naturales que determinan su modificación en el tiempo aún en ausencia de factores de perturbación (Junk, 1980). Sus atributos físicos, principalmente hidrográficos, topográficos y edáficos son constantemente moldeados por procesos endógenos, tales como la sedimentación y la desecación, y por fenómenos de naturaleza exógena, tales como avalanchas, deslizamiento de tierras, tormentas y vendavales, actividad volcánica y las inundaciones tanto estacionales como ocasionales (MinAmbiente & Consejo Nacional Ambiental, 2002).

En la zona baja de los grandes ríos colombianos se encuentran numerosas ciénagas en el plano de inundación, que forman extensas áreas pantanosas donde se desarrollan abundantes plantas acuáticas que, a su vez, albergan gran variedad de organismos (Blanco *et al.*, 1996). Estos cuerpos de agua están sometidos a cambios periódicos en el nivel del agua, por lo que la zona de transición agua-tierra es amplia (Junk, 1980). Las ciénagas están generalmente comunicadas con un río o caño, pueden ser permanentes o temporales, dependiendo del nivel que logran durante épocas de máxima o mínima precipitación (CORPOURABA & Corporación Caoba, 2001).

En Colombia el área correspondiente a humedales es de 20.252.500 ha, representados por lagos, pantanos, ciénagas, llanuras y bosques inundados. La región Caribe alberga el 71% de los humedales de carácter permanente o semipermanente, destacándose en orden de importancia el complejo de la depresión Momposina, el del Magdalena Medio y el del río Atrato (MinAmbiente & Instituto Humboldt, 1999). Los humedales asociados al río Atrato, específicamente las ciénagas, fluctúan periódicamente debido al desbordamiento de los ríos por el incremento de la precipitación pluvial (Asprilla *et al.*, 1998).

Considerando que las ciénagas de la parte media y baja del río Atrato están experimentando un deterioro acelerado por factores antrópicos (CORPOURABA & CODECHOCO, 2006), es preciso conocer cómo esto afecta la calidad del agua de dichos cuerpos de agua, por lo que algunos parámetros fisicoquímicos pueden reflejar las alteraciones a las que se han visto sometidos. Los resultados encontrados amplían el conocimiento sobre los humedales de zonas bajas tropicales, ecosistemas importantes para el mantenimiento de bienes y servicios ambientales como el control de inundaciones, la retención de contaminantes, el abastecimiento de agua y el mantenimiento de recursos hidrobiológicos y pesqueros.

II. Área de estudio

El río Atrato (figura 1) nace en los Altos de la Concordia y los Farallones del Citará, a una altura de 3900 m.s.n.m. en el cerro de Caramanta en la cordillera Occidental, departamento del Chocó. Este río tiene una longitud de 612 km, es navegable casi en su totalidad, recorre los departamentos del Chocó y Antioquia hasta desembocar en el Golfo de Urabá sobre el mar Caribe y tiene una profundidad media de 11 m y 282 m de ancho promedio. El área de drenaje es de 806.477 ha, de las cuales 130.000 corresponden a su plano de inundación. La cuenca del río Atrato está comprendida entre los 05° y 09° de latitud Norte, y los 76° y 78° de longitud oeste, en el extremo noroccidental de Colombia y de Suramérica (CORPOURABA & Corporación Caoba, 2001).

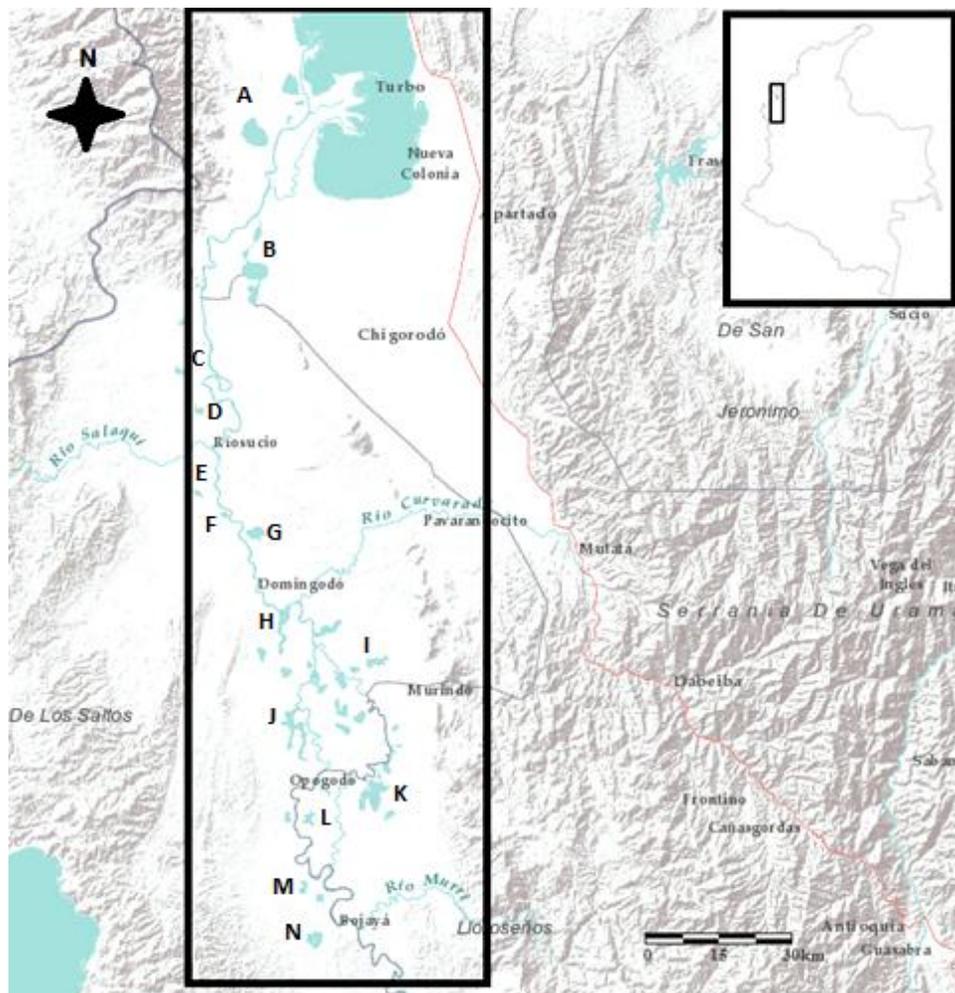


Figura 1. Ubicación del área de estudio en la cuenca del río Atrato (Las ciénagas evaluadas están indicadas así: A. Unguía B. Tumaradó C. Perancho D. La Honda E. El Guineo F. Robalera G. Pedeguita H. Solorza I. La Grande J. Montañó K. Tadíá L. Platillos M. Muriel N. Bellavista)

Fuente. Tomado y modificado de Tremarctos (2013, <En línea>).

El río Atrato aumenta su caudal desde abril hasta octubre; un 15% del valle permanece inundado durante todo el año y con caudales máximos se inunda un 55%, afectando los diques naturales y las terrazas bajas. Los ríos que depositan sus aguas desde el oriente son mucho más torrentosos y pedregosos, menos meándricos y depositan materiales diferentes y más gruesos, por ello son más arenosos y en sus lechos arrastran oro. Dentro de este sistema hídrico, el principal subsistema lo constituyen las ciénagas, que se forman en terrenos de relieve plano-cóncavo con pobre drenaje e inundaciones de origen fluvial (CORPOURABA & Corporación Caoba, 2001).

La cuenca del Atrato está sometida a la influencia directa del sistema de vientos procedentes de los océanos Atlántico y Pacífico. En el Atlántico, los vientos alisios provenientes del Este empujados por el anticiclón permanente del Atlántico Norte; son vientos relativamente secos, cálidos y bastante estables en capas bajas de la atmósfera (aunque a veces llegan a estar asociados a perturbaciones viajeras como huracanes u ondas del Este). En el Pacífico, cuyas condiciones de temperatura son menores, la compleja interacción entre valle-montaña-mar produce vientos persistentes de componente dominante del occidente, relativamente fríos en las capas bajas y muy húmedos. Todos estos vientos, encajonados por la cuenca del Atrato y la cuenca del río San Juan, muy a menudo convergen masivamente en las partes altas de estas cuencas (Quibdó, Lloró, Tadó) produciendo una gran zona de bajas presiones atmosféricas casi permanentes en el sur y centro del Chocó, hasta el sur de Panamá, con abundante nubosidad y lluvias copiosas (CORPOURABA & Corporación Caoba, 2001).

El régimen de temperaturas medias mensuales en la región del Atrato no presenta una variación significativa a través del año. La estación climatológica de Sautatá, en el Bajo Atrato, registra temperaturas medias de 27,2°C para los meses de marzo y julio, y de 26,5°C en el mes de octubre, con variación de temperatura media de 0.7°C. La humedad relativa, ampliamente gobernada por la presencia de la masa oceánica, permanece básicamente invariable a lo largo del año. Los valores mensuales promedios fluctúan entre 83% y 86% (CORPOURABA *et. al.*, 2000).

III. Metodología

Entre junio y julio de 2006 se tomaron muestras de agua superficial en 18 ciénagas de la cuenca baja y media del río Atrato (Tabla 1) en dos puntos por cuerpo de agua, para el análisis de variables fisicoquímicas y microbiológicas (Tabla 2). Todas las muestras de agua fueron etiquetadas y refrigeradas para su transporte al laboratorio de análisis de aguas de CORPOURABA. Adicionalmente se midieron la profundidad y transparencia, así como la conductividad, oxígeno disuelto, temperatura y pH en la superficie y el fondo de la columna de agua.

Tabla 1. Conjunto de ciénagas evaluadas

Departamento	Municipio	Ciénaga
Chocó	Unquía Riosucio	Unquía*
		El Perancho*
		La Honda*
		El Guineo*
		Robalera*
		Pedequita*
	Carmen Darién Bojayá	del Solorza*
		La Grande*
		Montaño*
		Muriel*
		Bellavista** Paneso**
Antioquia	Turbo Murindó Vigía del Fuerte	Tumaradó*
		Tadía*
		Los Chicaravia*
		Bernal**

Fuente. Elaboración propia.

* Bajo Atrato

** Medio Atrato

Tabla 2. Variables fisicoquímicas y microbiológicas evaluadas

Variable	Método de medición	Unidad
Profundidad	Cinta métrica	m
Transparencia	Disco Secchi, d=0.20 m	m
Sólidos totales disueltos	Gravimétrico	mg.l ⁻¹
Conductividad	Conductímetro YSI	µS.cm ⁻¹
Oxígeno	Oxímetro YSI DO200	mg.l ⁻¹
Saturación de oxígeno	Oxímetro YSI DO200	%
Temperatura	Oxímetro YSI DO200	°C
Potencial de hidrógeno	pHmetro HANNA HI98140	Unidades de
Clorofila a	Colorimetría	µg.l ⁻¹
Demanda bioquímica de	Incubación Winkler	mg.l ⁻¹
Demanda química de	Reflujo abierto	mg.l ⁻¹
Dureza total	Titulación EDTA	mg.l ⁻¹
Alcalinidad total	Titulación ácida	mg.l ⁻¹
Sulfatos	Turbidimétrico	mg.l ⁻¹
Nitratos	Reducción cadmio	mg.l ⁻¹
Nitrógeno amoniacal	Polarografía	mg.l ⁻¹
Ortofosfatos	Ácido ascórbico	mg.l ⁻¹
Mercuro (Hg)	Polarografía	µg.l ⁻¹
Cadmio (Cd)	Polarografía	µg.l ⁻¹
Plomo (Pb)	Polarografía	µg.l ⁻¹
Cobre (Cu)	Polarografía	µg.l ⁻¹

Variable	Método de medición	Unidad
Coliformes totales	Tubos múltiples	NMP.100ml ⁻¹
Coliformes fecales	Tubos múltiples	NMP.100ml ⁻¹

Fuente. Elaboración propia.

IV. Resultados y decisiones

Los valores de las variables fisicoquímicas y microbiológicas evaluadas se encontraron en amplios rangos (Tabla 3), evidenciando que las condiciones ambientales difieren entre ciénagas. La extensión de las ciénagas se encuentra entre 100 y 2500 ha aproximadamente y la profundidad entre 1,3 y 6,2 m. Otros factores determinantes son el tipo de vegetación asociada, la influencia de los tributarios en la subcuenca, el nivel de poblamiento y las actividades humanas que se desarrollan en áreas adyacentes a las ciénagas.

A. Transparencia, color aparente, sólidos totales disueltos y conductividad

En las ciénagas se encontraron valores de transparencia que se pueden considerar altos, alcanzando incluso hasta el 97% de la columna de agua (ciénaga La Grande) y un 45,6% en promedio. Arias (1985) indica que la penetración lumínica general de las ciénagas en Colombia varía entre 0,17 y 1,13 m, rango que es superado por la mayoría de las ciénagas del área de estudio. El color aparente del agua fue negro y pardo, de acuerdo con Trujillo (1983) esto se debe a solutos orgánicos y metales solubles, principalmente hierro Fe⁺³, que se asocian a los ácidos fúlvicos y forman el color rojo oscuro característico. Payne (1986) señala que la alta transparencia de las aguas negras se debe a la ausencia de fitoplancton y material orgánico suspendido.

El promedio general de los sólidos totales disueltos alcanzó 44 mg l⁻¹, valor que es superado por la mitad de las ciénagas evaluadas. Los análisis indican que hay mayor concentración de sólidos disueltos en las ciénagas del bajo Atrato (exceptuando las ciénagas de Pedeguita y Solorza), especialmente en las ciénagas Perancho, La Honda, El Guineo y Robalera, que se encuentran en cuencas de la vertiente occidental, las cuales transportan una apreciable carga de sedimentos. La mayor concentración de sólidos disueltos fue encontrada en la ciénaga de Perancho con un valor de 122 mg l⁻¹ y la menor concentración en la ciénaga de Chicaravia, con solo 4 mg l⁻¹.

La conductividad mostró bajos valores (13-181 $\mu\text{S cm}^{-1}$), con un promedio de 65,8 \pm 51,8 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Los mayores valores se encontraron en las ciénagas del bajo Atrato, especialmente en las que se hallaron las máximas concentraciones de sólidos disueltos. En el sistema de caracterización del agua de Talling & Talling (1965), las ciénagas evaluadas se encuentran en la clase I (conductividades < 600 $\mu\text{S cm}^{-1}$), que incluye muchos cuerpos de agua ecuatoriales situados en regiones selváticas y en los que muchos iones son absorbidos y acumulados por

la vegetación circundante; también se incluyen cuerpos de agua alimentados en buena parte por el agua lluvia, lo que reduce el contenido de solutos orgánicos por dilución. Ambas situaciones se pueden estar presentando en las ciénagas evaluadas.

Tabla 3. Valores de tendencia central de las variables fisicoquímicas y microbiológicas evaluadas

Variable	Unidad	Nivel	Valor mín.	Valor máx.	Valor medio
Profundidad	m		1,3	6,2	3,2 ± 1,3
Profundidad Secchi	m		0,5	3,3	1,3 ± 0,7
	%		16,9	97,1	45,6 ± 22,2
Sólidos totales disueltos	mg l ⁻¹	Superficie	2,0	122,0	44,3 ± 31,9
Conductividad	µS cm ⁻¹	Superficie	13,0	180,7	65,8 ±
		Fondo	11,9	174,20	65,92 ± 50,3
Oxígeno	mg l ⁻¹	Superficie	0,5	7,84	4,33 ± 2,3
		Fondo	0,1	7,05	2,66 ± 2,1
Saturación	%	Superficie	6,00	104,0	51,77 ±
		Fondo	1,9	92,2	34,71 ± 27,2
Temperatura	°C	Superficie	27,9	32,8	29,43 ±
		Fondo	26,2	30,3	28,51 ± 0,8
pH	Unidades de pH	Superficie	6,4	7,7	6,94 ± 0,3
		Fondo	4,9	7,8	6,72 ± 0,5
Clorofila a	µg l ⁻¹	Superficie	3,7	88,8	25,26 ± 20,9
DBO	mg l ⁻¹	Superficie	0,2	3,9	1,35 ± 0,8
DQO	mg l ⁻¹	Superficie	10,0	92,0	33,61 ± 24,5
Dureza total	mg l ⁻¹	Superficie	14,0	113,0	43,36 ± 26,6
Alcalinidad total	mg l ⁻¹	Superficie	8,0	100,0	33,39 ± 26,3
Sulfatos	mg l ⁻¹	Superficie	<1	10,3	3,55 ± 2,7
Nitratos	mg l ⁻¹	Superficie	0,01	0,1	0,03 ± 0,02
Nitrógeno amoniacal	mg l ⁻¹	Superficie	0,1	0,2	0,13 ± 0,01

Ortofosfatos	mg l ⁻¹	Superficie	0,01	0,5	0,13 ± 0,1
Hg	µg l ⁻¹	Superficie	<1	1,0	
Cd	µg l ⁻¹	Superficie	0,1	0,5	0,27 ± 0,1
Pb	µg l ⁻¹	Superficie	0,1	153,4	9,91 ± 30,2
Cu	µg l ⁻¹	Superficie	<1	80,7	6,82 ± 17,5
Coliformes totales	NMP 100ml ⁻¹	Superficie	40	17000	1317 ± 2837
Coliformes fecales	NMP 100ml ⁻¹	Superficie	20	3000	496 ± 595

Fuente. Elaboración propia.

B. Temperatura y oxígeno disuelto

La temperatura superficial del agua varió de forma moderada (29,4°C ± 1,2°C como promedio) con un mínimo de 27,9 y un máximo de 32,8°C. En las ciénagas más profundas (Unguía, Tumaradó, Perancho, La Honda, El Encanto, Pedeguita, Solorza, Montaña, Tadia y Chicaravia), las condiciones entre superficie y fondo difieren con mayor amplitud, por lo que en ellas la mezcla de las capas de agua puede ser escasa, especialmente en ausencia de perturbaciones naturales como tempestades y corrientes.

La concentración del oxígeno disuelto fue muy variable entre ciénagas, abarcando condiciones hipóxicas así como valores altos, adecuados para el desarrollo de la hidrobiota. En superficie se encontró un valor promedio de 4,3 ± 2,3 mg l⁻¹, mientras que en el fondo los valores fueron más bajos (2,7 ± 2,1 mg l⁻¹ en promedio), con diferencias hasta de 4,2 mg l⁻¹ entre estratos de la columna de agua.

C. pH, alcalinidad y dureza

El pH es una de las variables más homogéneas entre las ciénagas evaluadas. Se encontró en un promedio de 6,9 ± 0,3 unidades en la superficie y en 6,7 ± 0,5 unidades en el fondo. Sólo uno de los registros está por debajo de 5 unidades de pH (ciénaga de Paneso). Aunque la diferencia en los valores de pH son estrechos, se evidencia que son más bajos y variables en las ciénagas del medio Atrato (6,7 ± 0,4 unidades).

La alcalinidad y dureza totales variaron notablemente entre ciénagas. Los mayores valores se encontraron en las ciénagas Perancho, La Honda, El Guineo y Robalera, las mismas que obtuvieron los mayores registros de sólidos disueltos y conductividad. Los valores de dureza y alcalinidad son similares en cada ciénaga

por lo que la capacidad buffer de estos cuerpos de agua es buena, explicando la tendencia a la neutralidad de los valores del pH.

Los valores más altos de alcalinidad se encontraron en las ciénagas El Guineo y La Honda (100 y 93 mg l^{-1} , respectivamente) y los menores en las ciénagas de Chicaravia y Bellavista (8 y 10 mg l^{-1} , respectivamente). Las aguas de las ciénagas del medio Atrato presentan niveles más bajos de alcalinidad, incidiendo sobre los valores del pH que también muestran una baja en esta porción de la cuenca. Leenheer (1980) indica que la mayor parte de la acidez en aguas negras se puede atribuir a los solutos orgánicos disueltos y no al ácido carbónico disuelto, situación que debe ser evaluada para determinar con certeza a que se atribuyen los valores obtenidos. Los valores bajos de dureza total en las ciénagas estudiadas sugieren aguas blandas a moderadamente duras.

D. Nutrientes

El nitrógeno se encontró en su mayoría en la forma reducida como nitrógeno amoniacal ($0,1 \pm 0,01 \text{ mg l}^{-1}$ en promedio). Las concentraciones de nitratos fueron muy bajas ($0,03 \pm 0,02 \text{ mg l}^{-1}$ en promedio) y en la mayoría de las ciénagas no se detectaron. En general cuando el medio se torna anaeróbico se observa una fuerte reducción de la concentración de nitrato, debido a su utilización para la desnitrificación y la amonificación del nitrato. El nitrógeno amoniacal puede provenir de aguas residuales (excrementos de animales, basuras, fertilizantes), aguas con hierro que pueden reducir los iones nitrato, a su vez pueden provenir de la descomposición de productos nitrogenados orgánicos en el suelo y de la putrefacción de plantas. Por su parte, los nitratos en las aguas son el producto final de la oxidación del nitrógeno, que proviene en su mayoría de desechos fecales, de la ganadería y de la agricultura.

El fósforo es considerado como el elemento menos abundante y al mismo tiempo el factor más limitante en la productividad primaria. Roldán (1992) menciona que en lagos tropicales los valores de ortofosfatos son por lo general muy bajos, promediando entre $0,001 \text{ mg l}^{-1}$ y $0,002 \text{ mg l}^{-1}$, pero son mucho mayores en ecosistemas muy intervenidos por el hombre o muy eutroficados (p.e. $0,6 \text{ mg l}^{-1}$ en ciénagas del bajo Magdalena). Considerando que en las ciénagas del bajo y medio Atrato los valores de ortofosfatos oscilaron entre $0,01$ y $0,46 \text{ mg l}^{-1}$ ($0,13 \pm 0,12 \text{ mg l}^{-1}$ en promedio), es evidente el enriquecimiento de este nutriente en algunas de las ciénagas evaluadas (Unguía, La Honda, El Encanto, El Guineo, Pedeguita, La Grande y Paneso), donde los valores superaron $0,20 \text{ mg l}^{-1}$.

Los sulfatos se encontraron en un promedio de $3,6 \pm 2,7 \text{ mg l}^{-1}$. Sin embargo, en la mayoría de las muestras no se pudieron detectar o se encontraron por debajo de 1 mg l^{-1} . Los sulfatos pueden provenir de fuentes naturales a través de la lixiviación de minerales sulfurosos nativos en donde el azufre es oxidado para producir sulfatos.

En las selvas tropicales lluviosas los suelos están formados generalmente por sedimentos recientes y se encuentran saturados con agua casi todo el año, por lo que contribuyen muy poco con la composición mineral de las aguas (González & Cortés, 1977). Lo anterior concuerda con las bajas concentraciones de nutrientes que en general se hallaron.

E. Clorofila a

Los valores de clorofila a determinados ($25,3 \pm 20,9 \mu\text{g l}^{-1}$ en promedio) indican un moderado desarrollo de la biomasa algal, relacionado principalmente con la baja disponibilidad de nutrientes. Esto influye sobre la capacidad del ecosistema para producir el oxígeno necesario en los procesos biológicos de respiración y degradación de la materia orgánica. También se debe considerar la presencia de sustancias húmicas en el agua, las cuales pueden reducir la capacidad fotosintética, ya que absorben radiación en los rangos de luz visible y ultravioleta (Thomas, 1997).

F. DBO y DQO

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) tuvo un valor promedio de $1,3 \text{ mg l}^{-1}$, el cual está por debajo del promedio de oxígeno disuelto tanto en superficie como en el fondo ($4,3$ y $2,7 \text{ mg l}^{-1}$, respectivamente) por lo que esta variable no representa en la mayoría de los casos un factor que pueda agotar el oxígeno en las ciénagas.

Sin embargo, en las ciénagas El Encanto y Pedeguita puede presentarse un déficit de oxígeno para la demanda bioquímica registrada, por lo que estos cuerpos de agua son sensibles a la contaminación por materia orgánica dada su baja capacidad para oxidarla. Las macrófitas en descomposición demandan gran cantidad de oxígeno en el agua, lo cual se magnifica con la acumulación de materia orgánica cuando los caños se taponan con abundantes restos leñosos que impiden su evacuación.

La DQO, como una medida indirecta del contenido de materia orgánica en el agua, tuvo un promedio bajo ($33,6 \pm 24,5 \text{ mg l}^{-1}$), aunque los valores fueron moderadamente altos en algunos cuerpos de agua (ciénagas Unguía, Perancho, Platillos y Bernal). Las sustancias húmicas constituyen la mayoría de la materia orgánica disuelta en términos de masa (Thomas, 1997), este puede ser el caso de algunas de las ciénagas donde es evidente la presencia de estas sustancias que dan un color negro o pardo al agua.

G. Metales totales

La presencia de mercurio (Hg) y cadmio (Cd) no se pudo detectar en la mayoría de las muestras, y en aquellas ciénagas donde fue posible medir su concentración

se encontró por debajo de los valores admisibles para aguas de consumo humano, de uso pecuario y agrícola² (valor máximo de 1 $\mu\text{g l}^{-1}$ y 0,5 $\mu\text{g l}^{-1}$ respectivamente).

Por su parte, en todas las ciénagas se detectaron plomo (Pb) y cobre (Cu); sin embargo, sus concentraciones están por debajo de los límites admisibles de referencia. No obstante la concentración de plomo fue alta en la ciénaga de Tadia (153,4 $\mu\text{g l}^{-1}$) y supera el límite admisible para uso pecuario. Otro aspecto importante es la concentración de cobre en esta ciénaga: no supera los límites admisibles para los usos señalados, pero está por encima del promedio general de las ciénagas evaluadas. Aunque la concentración de plomo en la ciénaga La Grande está por debajo de los límites admisibles para todos los usos, está por encima del promedio general determinado en el área de estudio. En las otras ciénagas, las concentraciones de plomo y cobre se encontraron por debajo de los criterios señalados para los diferentes usos.

La ciénaga de Tadia se ubica en el flanco oeste de la Cordillera Occidental, formación montañosa que ha sido geológicamente identificada en el ámbito mundial como una gran provincia cuprífera, con altas concentraciones de material diseminado (Ramírez, 1979; Rodríguez & Pernet, 1980; Rodríguez & Pernet, 1983; entre otros). Por tal razón, la presencia de cobre en el área se puede atribuir a la erosión de los depósitos naturales y su transporte hasta la ciénaga.

En cuanto al plomo, no se conocen depósitos de este metal en el área, por lo que su presencia en el agua puede tener otros orígenes. Es necesario considerar que el plomo y el cobre tienen su origen no sólo en la erosión de depósitos naturales, sino también pueden provenir de las aguas residuales domésticas que contienen desechos metabólicos, jabones y detergentes, los cuales contribuyen con cantidades apreciables de los mismos, así como de cromo y zinc (Williams *et al.*, 1976; Connell & Miller, 1984). Cabe mencionar que en ninguno de los asentamientos humanos existentes en el área se tratan las aguas residuales, aún más, las labores domésticas se realizan directamente sobre los ríos y quebradas, por lo que se identifica como una fuente de contaminación directa de las aguas en la cuenca del río Atrato.

El cobre también puede originarse en la lixiviación de sustancia conservantes de la madera, situación que se puede presentar en la cuenca del río Atrato donde la extracción de ese recurso del bosque es una actividad económica importante. En el caso del plomo, cabe recordar que es un aditivo de la gasolina, combustible empleado en toda la cuenca para la operación de los motores fuera de borda y de las motosierras utilizadas en el aprovechamiento forestal. De esta manera, los

² De acuerdo con los valores de referencia establecidos en el Decreto 1594 de 1984, que regula los usos del agua y el vertimiento de residuos líquidos en Colombia.

vertimientos directos y accidentales contribuyen con la carga de plomo en las ciénagas.

H. Coliformes totales y fecales

Los datos obtenidos muestran que las aguas de todas las ciénagas pueden ser usadas para el consumo humano y doméstico si se someten al tratamiento convencional, adicionalmente el agua de 11 de ellas sólo requiere desinfección para el mismo uso, ya que no sobrepasan $1.000 \text{ NMP } 100\text{ml}^{-1}$. La ciénaga de Perancho presentó las mayores concentraciones de coliformes totales alcanzando $17.000 \text{ NMP } 100\text{ml}^{-1}$ y es la única que, de acuerdo con el Decreto 1594 de 1984, no es apta para el uso agrícola en riego de cultivos de frutas que se consumen con cáscara o de hortalizas de tallo corto.

La presencia de coliformes fecales en todas las ciénagas evaluadas indica que también pueden estar presentes organismos patógenos. Es preocupante el caso de la ciénaga de Perancho, donde se hallaron un máximo de $3.000 \text{ NMP } 100\text{ml}^{-1}$, valor que supera los niveles admisibles para cualquier uso. La presencia de coliformes fecales indica que hay probabilidad de encontrar entre otras bacterias, al género *Salmonella*, organismos patógenos que producen la fiebre tifoidea y paratifoidea además de la gastroenteritis (salmonelosis). De acuerdo con los coliformes fecales hallados en las otras ciénagas, sus aguas se aceptan para el consumo humano y doméstico, para lo cual es necesario el tratamiento convencional, y también para el uso agrícola.

Sólo la ciénaga de Bellavista presenta concentraciones de coliformes fecales admisibles para el uso de sus aguas con fines recreativos en actividades de contacto primario como la natación, para uso agrícola, así como para el consumo humano y doméstico para el que es necesario el tratamiento convencional.

La alta concentración de coliformes fecales en la ciénaga de Perancho se puede relacionar con la densidad poblacional de la cuenca del río Cacarica a la cual pertenece (una de las más pobladas del bajo Atrato), en la que habitan alrededor de 3.800 personas (CORPOURABA & CODECHOCO, 2007). No obstante, los coliformes fecales provienen de las heces de animales homeotérmicos (aves y mamíferos), por lo que además del hombre es necesario considerar como fuente de contaminación microbiológica los grupos de estos animales que habitan y frecuentan las ciénagas y corrientes de agua tributarias. Al respecto se puede mencionar que durante los muestreos fue común observar diferentes especies de primates a orillas de los cuerpos de agua, así como grandes bandadas de aves, por lo que su aporte de materia fecal a estos sistemas puede ser significativo.

Los coliformes totales han perdido relevancia como indicadores de contaminación microbiológica y su uso se ha restringido para aguas tratadas y aguas minerales.

Al respecto uno de los aspectos negativos de su uso es el hecho de que algunos coliformes son capaces de multiplicarse en el agua (Madigan *et al.*, 1997).

Conclusiones y recomendaciones

La baja concentración de oxígeno disuelto se relaciona con el incipiente desarrollo fitoplanctónico, evidenciado a partir de los bajos valores de clorofila. Esta situación es promovida por la baja concentración de nutrientes, especialmente el fósforo (P), así como por la presencia de ácidos húmicos en el agua que absorben la radiación solar disponible para los productores primarios.

Adicionalmente, en la mayor parte de las ciénagas existe alta demanda de oxígeno para la descomposición de la materia orgánica. La DBO puede superar la capacidad de estos ecosistemas para degradar la materia orgánica ante su acumulación por la abundante producción de biomasa de macrófitas flotantes, emergentes y sumergidas.

Las concentraciones de nutrientes, a pesar de ser bajas, muestran niveles superiores en algunas ciénagas donde el desarrollo de macrófitas es apreciable. El fósforo es el elemento que posiblemente está determinando este proceso, principalmente en el bajo Atrato. Ese fenómeno se agudiza en las ciénagas donde la incorporación de sedimentos se ha incrementado en las últimas décadas, generando la obstrucción de caños, principalmente en la época seca (de diciembre a abril).

Por otra parte, es importante conocer la magnitud de la contaminación por metales pesados en toda la cuenca del Atrato. La presencia de estos elementos en el agua es motivo de interés ambiental y para la salud de las comunidades humanas asociadas a los cuerpos de agua. Algunos de metales son rápidamente atrapados por los sedimentos, por lo que su presencia en la columna de agua es indicador de contaminación reciente. A pesar que en las ciénagas las concentraciones de Mercurio, Cadmio, Plomo y Cobre tal vez no representen niveles preocupantes (excluyendo la ciénaga de Tavía en el caso del Plomo y Cobre), si merece atención su exploración en los sedimentos y los procesos de bioacumulación y biomagnificación en los organismos acuáticos, ya que para las poblaciones humanas que aprovechan los recursos pesqueros en el área su consumo puede generar problemas de salud.

El desarrollo de estrategias para el manejo de aguas residuales domésticas, así como de los residuos sólidos, es un componente fundamental de cualquier programa que pretenda el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades del Atrato. A pesar que actualmente no se emplea el agua de las ciénagas para

consumo humano o doméstico, el contacto con esta se presenta durante la actividad pesquera y el transporte, por lo que las personas, principalmente los pescadores, están expuestas a contraer enfermedades como la fiebre tifoidea, paratifoidea, gastroenteritis, entre otras.

Es necesario desarrollar estudios más detallados que abarquen las variaciones espaciales y temporales de las características limnológicas de las ciénagas para alcanzar un nivel de conocimiento más profundo de sus características limnológicas.

Agradecimientos

El presente estudio fue financiado por el Fondo de Compensación Ambiental en convenio con CORPOURABA³ & CODECHOCO⁴, en el marco del proyecto de formulación del plan de manejo de los humedales del bajo y medio Atrato. Hago un especial agradecimiento a los Consejos Comunitarios de las comunidades afrodescendientes de esta región por su hospitalidad y acompañamiento durante el desarrollo de las actividades en campo.

³ Corporación para el Desarrollo Sostenible de Urabá

⁴ Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó

Referencias

- Arias, P. (1985). Las ciénagas de Colombia. *Divulgación Pesquera INDERENA*, 22, 39-70.
- Asprilla, S., Ramírez, J., & Roldán, G. (1998). Caracterización limnológica preliminar de la ciénaga de Jotaudó (Chocó, Colombia). *Actualidad Biológica*, 20(69), 87-107.
- Blanco, L., Neiff, J & de Neiff, P. (1996). Invertebrate fauna associated with floating macrophytes in the floodplain lakes of the Orinoco (Venezuela) and Paraná (Argentina). *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 26, 2030-2034.
- Connell, W., & Miller, J. (1984). *Chemistry and Ecotoxicology of Pollution*. Nueva York, Estados Unidos de América: Willey and Sons.
- Corporación para el Desarrollo Sostenible de Urabá, & Corporación Caoba. (2001). *Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Vigía del Fuerte*. Vigía del Fuerte, Colombia: CORPOURABA.
- Corporación para el Desarrollo Sostenible de Urabá, Municipio de Turbo, Universidad Nacional de Colombia, Universidad de Antioquia, Escuela Superior de Administración Pública. (2000). *Plan de Ordenamiento Territorial municipio de Turbo*. Turbo, Colombia: CORPOURABA. 239 pp
- Corporación para el Desarrollo Sostenible de Urabá & Corporación Autónoma regional para el desarrollo Sostenible del Chocó. (2007). *Plan de Manejo Integrado de los Humedales del bajo y Medio Atrato*. Apartadó, Colombia: CORPOURABA. 186 pp.
- González, A., & Cortés, A. (1977). *Estudio general de los suelos del municipio de Quibdó*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Junk, W. (1980). Areas inundáveis. Um desafio para a limnologia. *Acta Amazonica*, 10, 775-995.
- Leenheer, J. (1980). Origin and nature of humic substances in the water of the Amazon River Basin. *Acta Amazónica*, 10, 513-526.

- Madigan, M., Martinku, J., & Parker, J. (1997). *Biología de los microorganismos*. Madrid, España: Prentice Hall.
- Ministerio de Transporte, Dirección General de Transporte Fluvial, División de Estudios e Investigaciones Fluviales. (1997). *Dragado del Río Atrato: Bocas de Matuntogo, Coquito y Leoncito*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte, Dirección General de Transporte Fluvial, División de Estudios e Investigaciones Fluviales.
- Ministerio del Medio Ambiente, & Consejo Nacional Ambiental. (2002). *Política nacional para humedales interiores de Colombia, estrategias para su conservación y uso sostenible*. Bogotá, Colombia: Ministerio del Medio Ambiente & Consejo Nacional Ambiental.
- Ministerio del Medio Ambiente, & Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. (1999). *Humedales Interiores de Colombia: Bases técnicas para su conservación y uso sostenible*. Bogotá, Colombia: Ministerio del Medio Ambiente, & Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.
- Payne, A. (1986). *The ecology of tropical lakes and rivers*. Nueva York, Estados Unidos de América: Willey and Sons.
- Ramírez, O. (1979). Estudio geoquímico en el área de pantanos-pegadorcito, municipios de Frontino, Dabeiba, Antioquia. *Boletín Geológico INGEOMINAS*, 22(2), 53 – 98.
- República de Colombia, Ministerio de Salud. (1984). Decreto 1594: Por el cual se regulan los usos del agua y los vertimientos de residuos líquidos. Bogotá, Colombia: Ministerio de Salud.
- Rodríguez, C., & Pernet, A. Instituto Colombiano de Geología y Minería. Escala 1:500.000. Mapa de recursos minerales del Departamento de Antioquia. Bogotá, Colombia, Instituto Colombiano de Geología y Minería, 1980. 1 mapa, col., 94 x 70 cm.
- Rodríguez, C.; Pernet, A. (1983). Recursos minerales de Antioquia. *Boletín Geológico INGEOMINAS*, 26(3), 1 – 116.
- Roldán, G. (1992). *Fundamentos de limnología tropical*. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.

- Talling, J., & Talling, I. (1965). The chemical composition of african lakes water. *International Review of Hydrobiology*, 50, 421-463.
- Thomas, J. (1997). The role of dissolved organic matter, particularly free aminoacids and humic substances in freshwater ecosystems. *Freshwater Biology*, 38, 1-36.
- Tremarctos Colombia. (2013). Sistema de Información de Alertas Tempranas. Bogotá: Conservación Internacional Colombia. Recuperado de <http://200.32.81.75/Tremarctos/index.html>.
- Trujillo, J. (1983). *Química de la coordinación: notaciones sobre las interacciones entre las sustancias húmicas y los iones metálicos en solución*. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.
- Williams S., Aulebanch B., & Clesceri L. (1976). Sources and distribution of trace metals in aquatic environments. En: D. Shooter (Ed), *Aqueous-environmental chemistry of metals* (pp. 77 – 129). Michigan State: Allen J. Rubin, Ann Arbor Science Publishers, Inc.

Recibido: 10 de noviembre de 2013
Aceptado: 24 de enero de 2014