

## DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS E INDICES DE CALIDAD EN AGUAS Y SEDIMENTOS DEL RÍO MAGDALENA – TRAMO TOLIMA, COLOMBIA

### HEAVY METALS DETERMINATION AND QUALITY INDEXES IN WATER AND SEDIMENTS FROM MAGDALENA RIVER – TOLIMA TRACT, COLOMBIA

Lesly Tatiana Ortiz-Romero<sup>I</sup>, Julia Graciela Delgado-Tascón<sup>II</sup>, Daniel Andrés Pardo-Rodríguez<sup>III</sup>, Elizabeth Murillo-Perea<sup>IV</sup>, Antonio José Guio Duque<sup>V</sup>

#### Resumen

Este trabajo centró su interés en evaluar en época lluviosa y en período seco la concentración de elementos mayores (Na, K, Ca, Mg) y de metales pesados (Cd, Cr, Pb, Hg), en las aguas y sedimentos del río Magdalena, considerado como la más importante arteria fluvial de Colombia. La cuantificación de estas entidades químicas se realizó a través de espectroscopia de absorción atómica. Un análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas sirvió para reconocer la presencia de pesticidas organoclorados en dichas matrices del río, en su paso por los municipios de Purificación, Flandes, Ambalema y Honda, considerados como de mayor importancia pesquera en el departamento del Tolima. Se encontró que los atributos de calidad y contaminación del agua en todos los puntos muestreados evidenciaron un agua poco recomendable para el consumo humano, al plomo como el mayor contaminante de éstas, al índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) como el indicador de contaminación de mayor relevancia en Flandes, Ambalema y Honda. Los sedimentos del río deben ser tenidos en cuenta como grandes reservorios de información de la calidad del cuerpo de agua. Esta investigación se convierte en un punto de apoyo importante para posteriores estudios sobre monitoreo, biorremediación y toma de medidas integrales para la protección ambiental del río Magdalena.

---

<sup>I</sup> Grupo de investigación fitoquímica Universidad Javeriana, Departamento de Química. Facultad de Ciencias Básicas, Pontificia Universidad Javeriana. [ortizlesly@javeriana.edu.co](mailto:ortizlesly@javeriana.edu.co). \*Autor para correspondencia.

<sup>II</sup> Grupo de investigación en productos naturales GIPRONUT, Departamento de Química. Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Tolima, [juliadelgado\\_13@hotmail.com](mailto:juliadelgado_13@hotmail.com).

<sup>III</sup> Grupo de investigación fitoquímica Universidad Javeriana, Departamento de Química. Facultad de Ciencias Básicas, Pontificia Universidad Javeriana. [danielpardo@javeriana.edu.co](mailto:danielpardo@javeriana.edu.co).

<sup>IV</sup> Grupo de investigación en productos naturales GIPRONUT, Departamento de Química. Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Tolima. [emurillop@ut.edu.co](mailto:emurillop@ut.edu.co).

<sup>V</sup> Departamento de Ingeniería. Facultad Forestal. Universidad del Tolima, [aguio@ut.edu.co](mailto:aguio@ut.edu.co).

**Palabras clave:** Río Magdalena, Sedimentos, Índices de calidad, Metales pesados.

### **Abstract**

In rainy season and in dry weather the concentration of major elements (Na, K, Ca, Mg) and of heavy metals (Cd, Cr, Pb, Hg) in the waters and sediments from the Magdalena River considered the most important fluvial artery in Colombia, it was evaluated. Quantification of these chemical entities was performed using Atomic Absorption Spectroscopy. An analysis by Gas Chromatography-Mass Spectrometry served to recognize the presence of organochlorine pesticides in the above mentioned matrices, of the river as it passes through the towns of Purificación, Flandes, Ambalema and Honda, considered most important fishing port of Tolima department. It was found that the quality attributes and water pollution of all Sample Points is not recommended for drinking water, lead is the largest single source of water pollution, the Suspended Solids Contamination Index (ICOSUS) as the indicator of pollution most important in Flandes, Ambalema and Honda. The sediments of the river should be considered best reservoirs of information about waterbody quality. This research becomes an important foothold for further studies on monitoring, bioremediation and taking comprehensive measures for environmental protection of the Magdalena river.

**Keywords:** Magdalena river, Sediments, Quality indexes, Heavy metals.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los elementos de descarga fluvial, son fundamentalmente el resultado de procesos naturales geofísicos ocurridos en el ambiente (precipitación de lluvias, erosión natural, lavado de suelos, entre otros); pero también son derivados de actividades antrópicas urbanas, industriales y agrícolas en terrenos aledaños, hecho que refleja el estado y calidad del recurso hídrico de una región (Palacio-Baena, 2007).

El río Magdalena, el cuerpo de agua de mayor importancia para el país, con 1550 kilómetros extendidos a lo largo de once departamentos, incluido el Tolima (IDEAM, 2007), sufre un vertimiento de desechos directo e indirecto a través de sus afluentes. En su paso por los municipios de Purificación, Flandes, Ambalema y Honda, el río recibe una fuerte contribución al deterioro de su calidad hídrica como una consecuencia de las labores agrícolas y de pesca en ellos desarrolladas (Duran et al., 2005). A la altura de Girardot el río sufre un aporte adicional de aguas contaminadas de hasta 39 m<sup>3</sup>/segundo procedentes del río Bogotá (Alvear, 2005) y, en consecuencia, un tributo significativo de materiales que alteran aún más sus condiciones naturales, y que logran transportarse y acumularse gradualmente en los diferentes compartimentos del ecosistema acuático según la afinidad de sus moléculas.

De esta forma, los sedimentos se convierten en un reservorio y una fuente importante de materiales orgánicos e inorgánicos, que pueden ser intercambiados con la columna de agua en la interfase agua-sedimentos, dependiendo de las condiciones redox y del pH del agua. Además, al actuar en conjunto los sedimentos y los sólidos suspendidos disminuyen la movilidad y favorecen la acumulación de algunos compuestos orgánicos persistentes en el fondo del ecosistema acuático, siendo la interacción adsorción-desorción una de las más relevantes (Palacio-Baena, 2007).

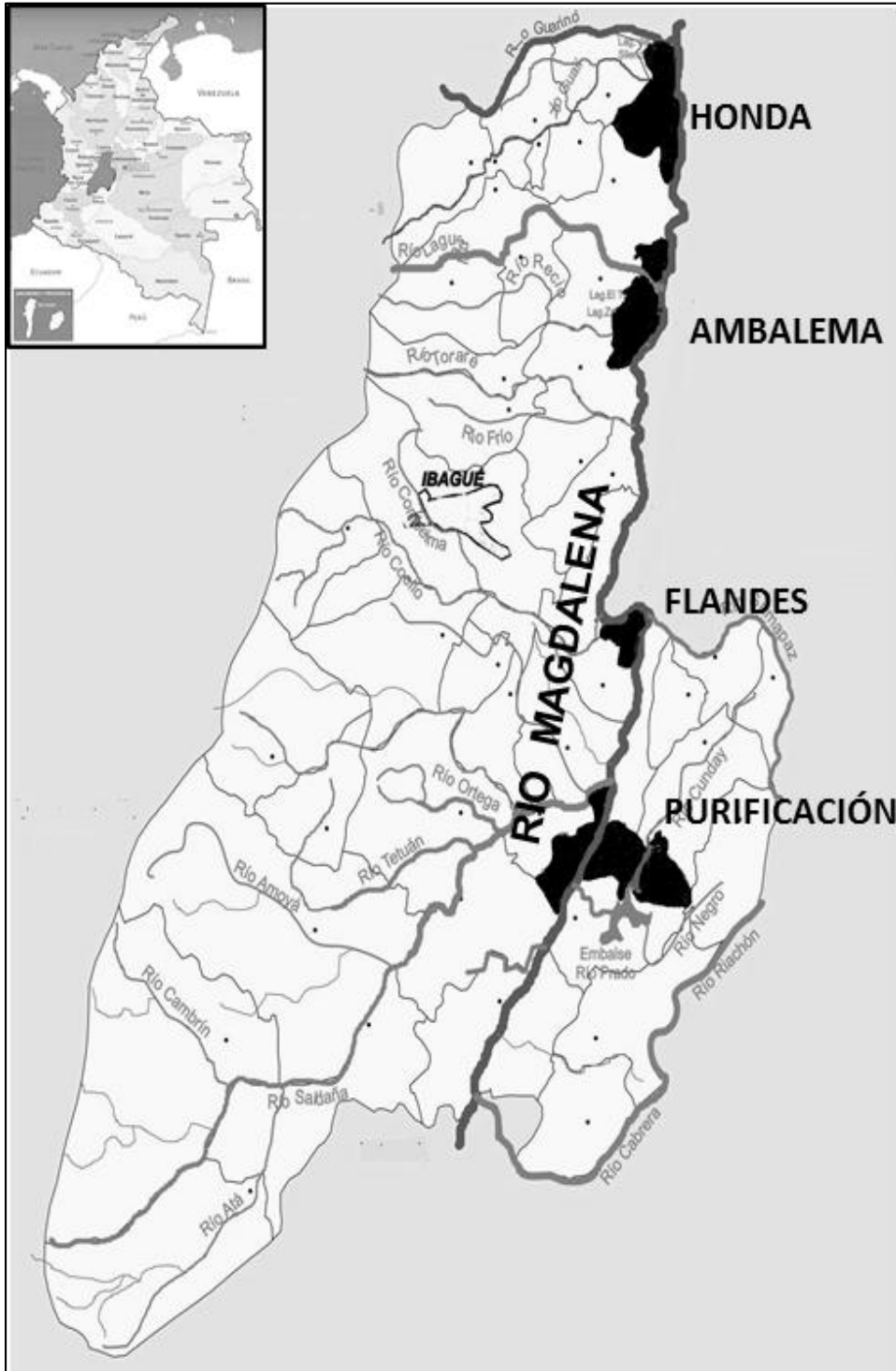
De particular importancia son los metales pesados (elementos químicos con una densidad igual o superior a  $5 \text{ g/cm}^3$  en su forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20, excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos) (Navarro et al., 2007) y pesticidas, a los cuales se les reconoce como sustancias que al entrar en contacto con el cuerpo de agua, se precipitan y concentran en el lecho del río, o bien, son absorbidos por la biota acuática a través de las membranas biológicas dada su elevada afinidad química al grupo sulfidrilo de las proteínas (Arce, 2007). Allí las moléculas sufren diversos mecanismos de transformación o degradación química y biológica, que pueden alcanzar niveles tóxicos en la medida en que su diseminación y concentración en el fondo acuático, generan productos nuevos y metabolitos aún más tóxicos difíciles de degradar y, por tanto, altamente persistentes en el ambiente, afectando la vida tanto vegetal como animal y, en consecuencia, toda la cadena trófica, llegando incluso a poner en riesgo la salud humana (Mancera & Álvarez, 2006).

Sin embargo, pocos trabajos han sido reportados relacionados con la presencia de metales pesados en las aguas del río Magdalena-tramo Tolima. Unas pocas investigaciones se han preocupado por estudiar el efecto de estos contaminantes en los peces que habitan en este río en su paso por el Tolima (Noreña, *et al.*, 2012). Este trabajo se propuso evaluar preliminarmente las concentraciones de metales Na, K, Ca, Mg, Cd, Cr, Pb, Hg y pesticidas organoclorados en aguas y sedimentos del Río Magdalena en su paso por el Tolima; para tal efecto se aplicaron herramientas espectroscópicas y cromatográficas conducentes a conocer el nivel de contribución de las actividades antrópicas en la contaminación de las aguas del río, así como también para establecer la calidad del recurso hídrico mediante algunos índices de calidad (ICA) y de contaminación (ICO).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Colecta de muestras.** Se trabajó con 4 “muestras integradas”, las cuales resultaron de la mezcla de varias muestras individuales recogidas simultáneamente en cada uno de los municipios de Purificación (N:3°46'3.7" W:74°55'21.8"), Flandes (N:4°16'37.3" W:74°49'49.5"), Ambalema (N:4°46'37.4" W:74°46'2.7") y Honda (N:5°12'34.9" W:74°44'3.4"), principales puertos pesqueros y agrícolas del Tolima sobre el río Magdalena (Figura 1), en un punto medio de la corriente principal y en donde la velocidad fuera máxima (50-100 cm de profundidad). Se empleó una draga tipo Van Veen Grab para muestrear en forma integrada los sedimentos, los cuales se colocaron en bolsas herméticamente cerradas. Muestras de agua y sedimento se rotularon, almacenaron y refrigeraron (4°C) para su traslado al laboratorio.

Los muestreos se centraron en la temporada de aguas altas (período de lluvias - mes de enero) y en la temporada de aguas bajas (período de sequía - mes de junio).



**Figura1.** Mapa Departamento del Tolima. Ubicación de los puntos de estudio.

**Determinación de elementos mayores y de metales pesados.** Las concentraciones en aguas de elementos mayores (Ca, Mg, Na y K) y metales pesados (Cd, Cr, Pb, Hg) se establecieron sobre muestras filtradas; en tanto que los sedimentos se secaron (40°C, 48 h), se tamizaron (1 mm) y se pusieron en contacto con acetato de amonio (1N, 12 h) para elementos mayores y con mezcla ácida (nitrato/perclórico 2,5:1) en el caso de metales pesados (Dural et al., 2007). Las determinaciones se realizaron en un espectrofotómetro de absorción atómica Shimadzu AA6300 ó bien, el equipo se acopló a un sistema para la generación de hidruros, según el caso.

**Determinación de plaguicidas.** Para la separación de los plaguicidas las muestras de agua se sometieron a extracción líquido-líquido con diclorometano, hasta su agotamiento. La fase orgánica se concentró en un rota-evaporador BÜCHI R-114. Los sedimentos secos y tamizados se pusieron en contacto con éter de petróleo/diclorometano (1:1), agitación mecánica y posterior filtración. Los extractos orgánicos provenientes de las muestras de agua y sedimentos se lavaron con n-pentano, se les agregó sulfato de sodio y se almacenaron en viales (4°C) hasta su utilización (Waliszewski et al., 2004). La determinación de plaguicidas organoclorados se realizó a través de un cromatógrafo de gases CG/detector de masas (GC-MS), comparando los tiempos de retención y calculando las áreas bajo la curva de muestras y estándares según los patrones alcanzados.

**Atributos de calidad de las aguas.** Los resultados del monitoreo de las aguas, objeto de interés de este trabajo se agruparon en cuatro índices fisicoquímicos: Índice de calidad general de agua "ICAG" deja ver la calidad general de un segmento en particular de los ríos y, a su vez, es un indicador de la gestión de una cuenca ya que permite realizar los controles de seguimiento (Cadavid, Echeverri & Gomez, 2010). Se utilizaron además tres índices para determinar el nivel de contaminación: Índice de contaminación por mineralización "ICOMI", índice de contaminación por materia orgánica "ICOMO" y el índice de contaminación por sólidos suspendidos "ICOSUS". En conjunto, estos parámetros resumen en una expresión numérica las características positivas o negativas de cualquier fuente de agua (NSF, 2006).

**Análisis estadístico.** Todos los ensayos se realizaron por triplicado. Los resultados son expresados como la media, la desviación estándar (DE). Para determinar la existencia y grado de asociación entre las variables biológicas y físico-químicas de las aguas del Río Magdalena-Tramo Tolima, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP), diferenciando las dos épocas muestrales (aguas altas, AA y aguas bajas, AB), con ayuda del programa estadístico INFOSTAT, 2008.

### 3. RESULTADOS

Las tablas 1 y 2 muestran las concentraciones de elementos mayores y de metales pesados en aguas y sedimentos del Río Magdalena-Tramo Tolima, respectivamente. Se nota mayor abundancia de estas especies químicas en la temporada de aguas bajas frente a la temporada de aguas altas, comportamiento que comparten los cuatro puertos pesqueros. Una observación relevante es que el sodio y el potasio registran los niveles más altos en el fluido hídrico (Tabla 1), en tanto que el calcio y el magnesio hacen lo propio en los sedimentos del río (Tabla 2), independiente del período de lluvias.

**Tabla 1.** Concentraciones de elementos mayores en muestras de aguas del río Magdalena-Tramo Tolima.

Elementos	Purificación		Flandes		Ambalema		Honda	
	AA	AB	AA	AB	AA	AB	AA	AB
Ca (mg/L)	<0,1	0,48±0,05	3,70±0,16	6,89±0,21	<0,1	6,97±0,35	2,67±0,09	4,32±0,19
Mg (mg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,55±0,05	<0,1	0,47±0,002
Na (mg/L)	1,24±0,05	<0,1	4,81±0,29	11,21±0,47	5,18±0,30	12,95±0,41	5,03±0,29	9,18±0,25
K (mg/L)	2,87±0,22	4,17±0,31	3,13±0,15	12,13±0,43	3,00±0,11	14,15±0,44	2,79±0,07	10,56±0,33

AA: Aguas Altas; AB: Aguas Bajas

Si se hace comparación entre los puertos, se nota que el período de aguas bajas favorece el incremento de los niveles de Ca, Mg, Na y K en las aguas del río a la altura de Ambalema (Tabla 1). El fenómeno se repite, pero en los sedimentos en el paso del río por Flandes (Tabla 2). Durante los dos períodos muestreados las aguas del río evidencian concentraciones bajas de Mg en los cuatro puertos; este mismo comportamiento lo evidencian el sodio y el potasio en los sedimentos del río Magdalena-tramo Tolima.

**Tabla 2.** Concentraciones de elementos mayores en muestras de sedimento del río Magdalena-Tramo Tolima.

Elementos	Purificación		Flandes		Ambalema		Honda	
	AA	AB	AA	AB	AA	AB	AA	AB
Ca (mg/kg)	560±10	1180±20	3400±40	3400±33	660±5	740±12	940±13	1560±25
Mg (mg/kg)	48±3	252±10	408±10	540±12	84±1.5	108±12	72±4	276±16
Na (mg/kg)	<0,1	46±0.9	23±1.2	69±2	11,5±2.1	23±1	11,5±0.9	46±0.9
K (mg/kg)	11,7±1.3	39±0.	19,5±2.6	19,5±2.3	46,8±3	54,6±3.4	23,4±3.3	39±3.9

AA: Aguas Altas; AB: Aguas Bajas

La tabla 3 por su parte, deja ver los valores encontrados en las determinaciones de Cd, Cr, Pb y Hg. El Decreto 1575 (9 junio de 2007), por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Colombia; reglamentado mediante las resoluciones 2125 (junio 22 de 2007) y 0811 (5 marzo de 2008), instauro como valores máximos aceptables (mg/L) 0.003, 0.05, 0.01 y 0.001, para el Cd, Cr total, Pb y Hg, respectivamente. De esta forma, los valores consignados en la tabla 3 sugieren que el Pb y el Hg, parecen ser los verdaderos quimioindicadores de la calidad del fluido hídrico del río Magdalena-tramo Tolima, mientras que los cuatro metales pesados en conjunto, o uno de ellos en particular, puede hacer esta función señalizadora de contaminación cuando se trata de los sedimentos del río en los cuatro municipios.

**Tabla 3.** Concentraciones de metales pesados (mg/Kg) en muestras de agua y sedimento del río Magdalena-Tramo Tolima.

Estación	Matriz	Temporada Aguas Altas				Temporada Aguas Bajas			
		Cd	Cr	Pb	Hg	Cd	Cr	Pb	Hg
Purificación	Agua	<0,01	<0,01	0,19±0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,13±0,05	<0,01
	Sedimento	0,05±0,05	0,04±0,05	36,0±0,05	0,016±0,05	0,11±0,05	<0,01	3,00±0,05	0,04±0,05
Flandes	Agua	<0,01	<0,01	0,16±0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,11±0,05	<0,01
	Sedimento	0,04±0,05	0,05±0,05	19,0±0,05	0,014±0,05	0,11±0,05	0,019±0,05	29,0±0,05	<0,01

## CIENCIAS-QUÍMICAS

Ambalema	Agua	<0,01	<0,01	0,19±0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,09±0,05	<0,01
	Sedimento	0,03±0,05	0,04±0,05	15,0±0,05	<0,01	0,11±0,05	0,027±0,05	9,00±0,05	<0,01
Honda	Aguas	<0,01	<0,01	0,17±0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,12±0,05	<0,01
	Sedimento	0,02±0,05	0,04±0,05	41,0±0,05	0,011±0,05	0,11±0,05	<0,01	10,0±0,05	<0,01

Al hacer un análisis comparativo entre los 4 puertos pesqueros, en el tramo del municipio de Flandes resultaron las mayores concentraciones de Cd, Cr y Pb en las dos temporadas, seguido por el puerto de Honda, mientras que el puerto de Purificación exhibe la mayor cantidad de Hg, especialmente en temporadas secas.

El estudio de la calidad de las aguas del río Magdalena-tramo Tolima, se complementó a través de la búsqueda de restos de plaguicidas, fundamentalmente organoclorados. El análisis CG-MS, permitió establecer la ausencia de plaguicidas clordano, dieldrín, endosulfan, butaclor, DDE, DDT, oxadiazon y propiconazol ni de hexaclorobenceno, en ninguna de los períodos estudiados.

Teniendo en que la calidad del agua es un concepto relativo y fundamentalmente dependiente del destino final del recurso, en este trabajo se utilizaron algunos índices fisicoquímicos de calidad como herramienta complementaria para reconocer problemas de contaminación de una forma ágil, sin tener que recurrir a la observación de cada una de las numerosas variables químicas determinadas al agua bajo estudio. Los datos reportados son adimensionales comprendidos entre 1 y 100 para ICAG y de 0 a 1 para ICOMI e ICOMO, donde a mayor valor mejor es la calidad del recurso hídrico. En el caso particular de ICOSUS, los sólidos suspendidos mayores a 340 mg/L tienen un valor de uno (ICOSUS = 1), valores menores a 10 mg/L tienen un valor de cero (ICOSUS = 0).

La tabla 4 muestra los valores encontrados a través del cálculo de los índices aplicados en esta investigación: ICAG, ICOMI, ICOMO, ICOSUS, así como también una evaluación cualitativa de los atributos de calidad positiva o negativa de las aguas de interés.

No obstante, los cuatro índices de contaminación presentados, expresan características distintas de la condición fisicoquímica de las aguas, situación que los hace de gran utilidad para la identificación de grupos indicadores, los valores que muestra la tabla 4 manifiestan una tendencia hacia la baja calidad del recurso hídrico más importante para Colombia, realidad que resultó prevalente en los cuatro puertos pesqueros, durante las dos temporadas analizadas.

Mientras que los índices de contaminación ICOMI, ICOMO e ICOSUS dejaron ver gran variabilidad en la calidad del recurso hídrico, contrariamente el índice de calidad general (ICAG) se mantuvo invariable revelando aguas de “mala calidad” y, consecuentemente, poco aceptables para el consumo humano.

Flandes, Ambalema y Honda revelaron muy alta contaminación en las dos temporadas analizadas, mientras que en el puerto de Purificación la calidad del agua fluctuó entre muy baja y baja (0,09 A.A. y 0,35 A.B.).



## CIENCIAS-QUÍMICAS

Importa hacer mención que los sedimentos del río a la altura de Ambalema y de Flandes se encuentran niveles de Cd y Cr cercanos, independientemente del régimen de lluvias. Los aportes que el río Magdalena recibe por parte del río Bogotá podrían explicar, al menos en parte, el hecho. En su paso por la sabana de Bogotá el recurso hídrico se ve significativamente afectado por actividades relacionadas con las acerías, las peleterías, las textileras, la pintura eléctrica, los pigmentos para pinturas y otras aplicaciones industriales; resulta así evidente el efecto antropogénico sobre el puerto de Flandes y aguas abajo sobre el puerto de Ambalema. Sin embargo, los resultados obtenidos no sobrepasan los valores encontrados en los *Shales*. De acuerdo al IDEAM (2007), estos materiales tomados como referencia ostentan una concentración de 0,3 mg/kg para estos dos metales.

**Tabla 4.** Índices fisicoquímicos de calidad de las aguas del Río Magdalena- Tolima

ESTACION	TEMP.	ICAG		ICOMI		ICOMO		ICOSUS	
Purificación	A.A.	49	MALA	0,07	MUY BAJA	0,32	BAJA	0,09	MUY BAJA
	A.B.	46	MALA	0,09	MUY BAJA	0,47	MEDIA	0,35	BAJA
Flandes	A.A.	41	MALA	0,20	MUY BAJA	0,23	BAJA	1	MUY ALTA
	A.B.	42	MALA	0,17	MUY BAJA	0,49	MEDIA	1	MUY ALTA
Ambalema	A.A.	40	MALA	0,18	MUY BAJA	0,24	BAJA	1	MUY ALTA
	A.B.	40	MALA	0,16	MUY BAJA	0,53	MEDIA	1	MUY ALTA
Honda	A.A.	43	MALA	0,18	MUY BAJA	0,20	BAJA	1	MUY ALTA
	A.B.	40	MALA	0,19	MUY BAJA	0,68	ALTA	1	MUY ALTA

A.A.: Aguas Altas; A.B.: Aguas Bajas

Los valores detectados para plomo en muestras de sedimento dejan ver que las estaciones de Purificación (aguas arriba) y Honda (aguas abajo), presentan las concentraciones más elevadas durante el período de aguas altas, sobrepasando incluso los datos encontrados en los *Shales*: 25 mg/Kg (IDEAM, 2007). Para la temporada de aguas bajas los sedimentos en la estación de Flandes son los más contaminados por este metal y el único valor que sobrepasa los reportados para los *Shales*.

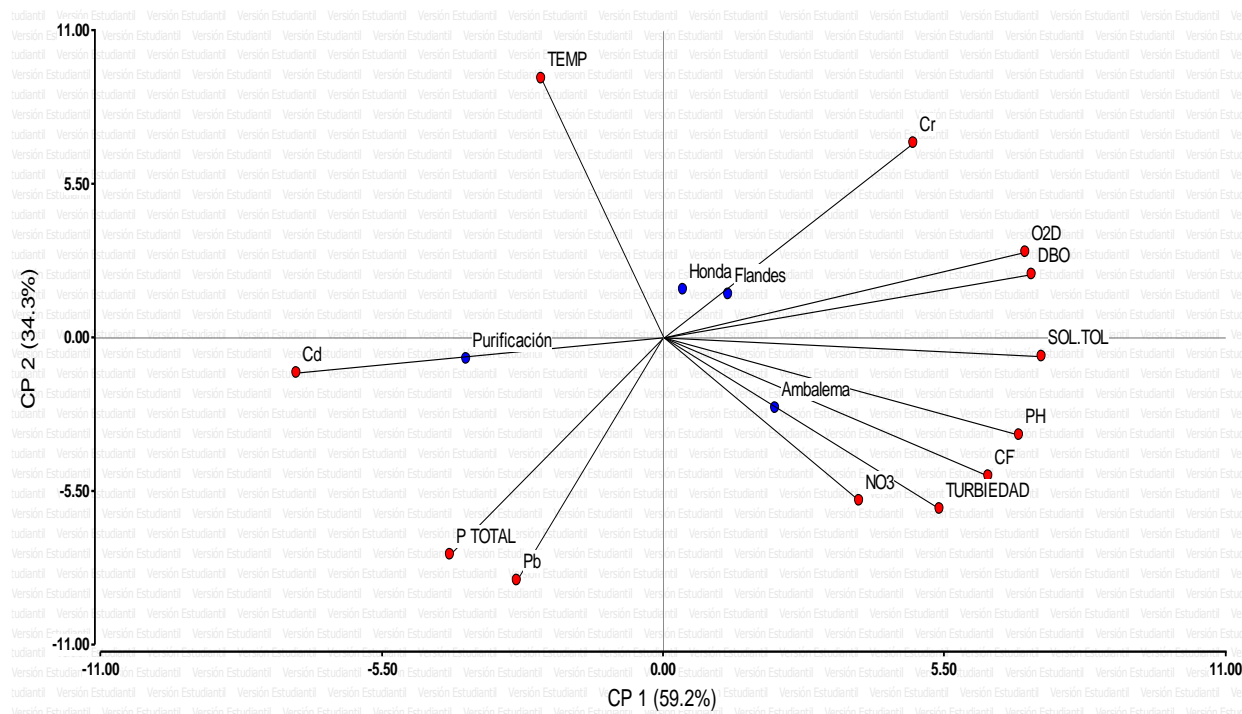
Todo lo planteado confluye en la afirmación que los sedimentos pueden actuar como portadores y posibles fuentes de contaminación porque los metales pesados no se quedan permanentemente en ellos y pueden

## CIENCIAS-QUÍMICAS

ser liberados a la columna del agua por cambios en las condiciones ambientales: pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de quelatos orgánicos (Rodríguez, 2001).

Con el ánimo de complementar las observaciones anteriores se realizó un análisis de componentes principales que permitiera dejar ver la influencia de las variables entre sí. Para tal efecto se tomaron 9 parámetros indicadores de calidad: pH, Temperatura, Oxígeno disuelto (OD), Demanda biológica de oxígeno (DBO), Fosfato Total, Nitratos, Turbiedad, Sólidos Totales (ST) y Coliformes fecales (CF), además de los 4 metales pesados objeto de interés de esta investigación (Cd, Cr, Pb, Hg).

El análisis mostró que en la temporada de aguas altas (Figura 2) Ambalema es el puerto donde la calidad de las aguas del río se ve mayormente afectada por los indicadores de calidad, fundamentalmente pH, CF, turbiedad Nitratos y ST. En Honda y Flandes “por su cercanía geográfica” el río parece verse afectado en igual medida. En ellos, la concentración de Cr podría tomarse como quimioindicador, mientras que el OD y la DBO harían lo propio desde el punto de vista biológico.



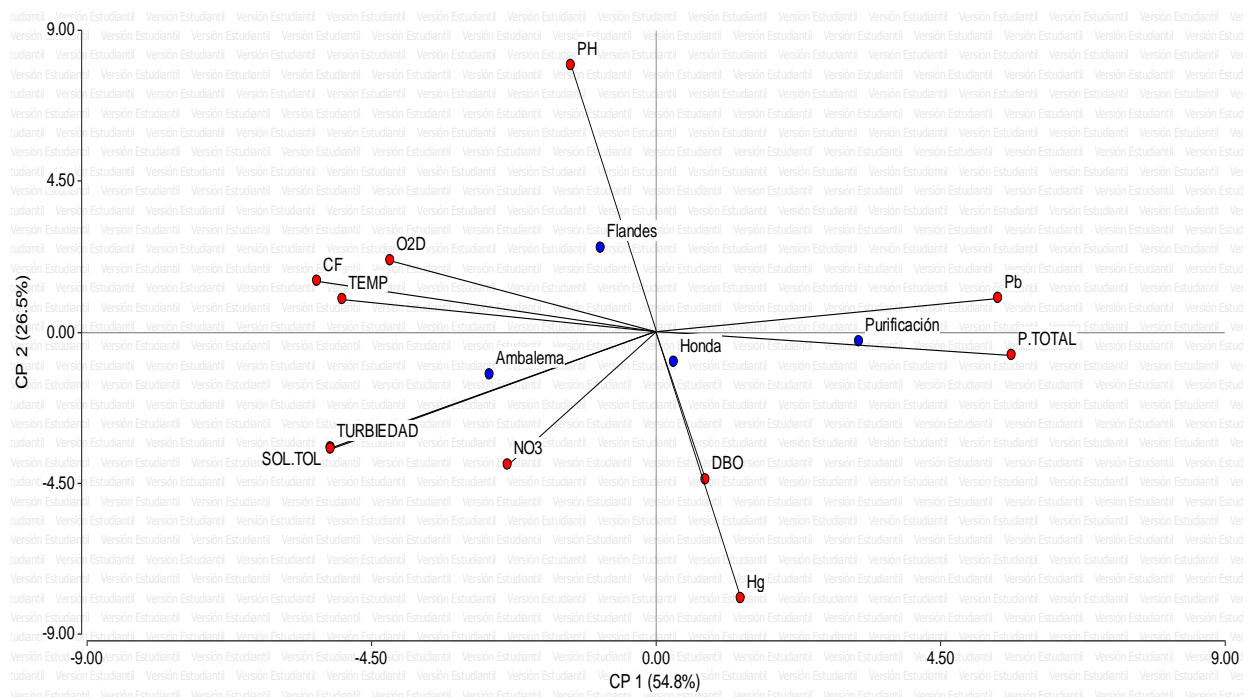
**Figura 2.** Análisis de componentes principales para 9 parámetros físico-químicos y 4 metales pesados en temporada de aguas altas

## CIENCIAS-QUÍMICAS

Entre los cuatro puertos bajo estudio, Purificación es el que fundamenta su actividad económica principalmente en la agricultura, de lo que puede derivarse la gran influencia del Cd en la calidad de las aguas del río y en menor proporción el Pb.

En temporada de aguas bajas (Figura 3) la calidad del recurso hídrico se ve impactada en Purificación por sus contenidos de Pb y un poco menos por los fosfatos. Un comportamiento opuesto al anterior se observa en Ambalema en donde los ST, por ende la turbiedad, y los nitratos son los factores influyentes en la calidad del agua. Por su parte, el Hg y la DBO parecen ser los atributos de mayor influencia en Honda, lo que no parece afectar a las aguas del río en Flandes. En este puerto, el pH parece ser el factor determinante.

La información obtenida a través de esta investigación permite establecer que la temperatura, por sí misma no es un atributo determinante de la calidad del recurso hídrico de mayor importancia en Colombia, en tanto que la turbiedad, los sólidos totales y los nitratos podrían utilizarse como indicadores físico-químicos al momento de evaluar la condición ambiental del cuerpo de agua, independientemente del periodo de lluvias en que se realice la determinación. No obstante, los fosfatos y el contenido de plomo, en cualquiera de las estaciones pluviales, parecen los marcadores químicos de las aguas en el puerto de Purificación, en Ambalema hacen lo propio los sólidos totales, la turbiedad y los nitratos. Los puertos de Honda y Flandes resultan afectados según la época de lluvias en las que se realice la determinación. Entre los metales pesados bajo estudio, el Cd y el Hg resultaron ser los de mayor influencia en temporada de aguas altas y bajas, respectivamente.



**Figura 3.** Análisis de componentes principales para 9 parámetros físico-químicos y 4 metales pesados en temporada de aguas bajas.

### 4. DISCUSIÓN

Buscando contribuir al menos en parte en el conocimiento de los atributos de calidad de las aguas del Río Magdalena-tramo Tolima, en su paso por los cuatro puertos de mayor actividad pesquera en el departamento del Tolima, se valoró el nivel de algunos de los macroelementos considerados como esenciales para la vida animal, incluyendo peces y camarones (Ca, Mg, Na y K); este conocimiento se contrastó con la medición de la concentración de otro grupo de metales que, contrariamente, son considerados como peligrosos en toda la cadena trófica, a partir de esta información se evaluaron algunos índices de contaminación; ejecución que además de complementar la información obtenida a través del análisis físico-químico, hace un mayor acercamiento al estado ecológico de los sistemas ribereños.

Es de interés hacer mención que la evaluación de la calidad del agua a través de los parámetros fisicoquímicos genera un gran volumen de información dispendiosa de manejar en la práctica y en ocasiones de difícil entendimiento para los diferentes actores en el proceso de la valoración de calidad. En estos casos, los índices de calidad se constituyen en una alternativa; no obstante, no todas las determinaciones químicas son tenidas en cuenta en el cálculo de ellos, no siempre se les puede utilizar para evaluar la calidad de algunos tipos de aguas, pero además deben ser validados bajo las condiciones del laboratorio. De cualquier manera, el propósito de los índices de calidad es simplificar en una expresión numérica las características positivas o negativas de una fuente de agua.

En general, los minerales desempeñan un papel clave en el mantenimiento de la presión osmótica convirtiéndose en reguladores del intercambio de agua y solutos dentro del cuerpo animal. Muchos de ellos son micronutrientes necesarios para la vida de los seres vivos y deben ser absorbidos por las raíces de las plantas o formar parte de la dieta de los animales, pero algunos pueden ser potencialmente tóxicos, es el caso de elementos bioacumulables como el cobre, plomo, cadmio, mercurio, arsénico, entre otros. Cuando por motivos naturales o por la acción del hombre se acumulan en los suelos, las aguas o los seres vivos en concentraciones altas se convierten en tóxicos riesgosos (Juarez, 2006)

Importa mencionar que los materiales orgánicos e inorgánicos se incorporan a la fase líquida y finalmente se precipitan en los sedimentos, constituyéndose estos últimos en el mayor reservorio de sustancias químicas y biológicas. Bajo esta óptica debe considerarse a los sedimentos y a los sólidos suspendidos, constituidos por materiales orgánicos e inorgánicos, con una función importante en el transporte y remoción de sustancias químicas de la fase líquida en los ecosistemas acuáticos, debido a que proveen superficies de sorción, actuando como sistemas buffer y porque sirven como sumideros de estas sustancias (Palacio-Baena, 2007). Sí se tiene en cuenta lo planteado anteriormente, se hallan entonces razones a los resultados en esta investigación, evidenciando mayor abundancia de los elementos mayores (Na, K, Ca, Mg), e incluso de metales pesados (Cd, Cr, Pb, Hg) en los sedimentos en comparación con las aguas.

Por otra parte, las concentraciones de los elementos mayores se observan bastante irregulares, justificable por el recorrido que hace el río por diferentes territorios lixiviando distintas geologías, recibiendo aportes de ciudades disímiles y, sobre todo, dependiendo de la actividad antrópica, también diversa.

Los resultados indicaron una tendencia de los elementos analizados a concentrarse en mayor grado en la temporada de Aguas Bajas, respecto a la de Aguas Altas; atribuible el hecho al factor de dilución que ejerce el agua para esta última temporada. Importa recordar que en Colombia no existen períodos absolutamente secos o lluviosos, y más bien lo que sucede es alternancia de lluvias con períodos más o menos largos de escasez de precipitaciones, lo que justificaría los valores encontrados.

Contrariamente a lo observado en los sedimentos, se nota poca variación en las concentraciones de los metales en las aguas del río en los cuatro puertos, registrándose además en esta matriz las concentraciones más bajas. Se afirma que todos los cambios ocurridos en un tramo fluvial determinado, repercutirán hacia las “aguas bajas” sobre los distintos equilibrios físico-químicos y biológicos que caracterizan la dinámica de las redes fluviales, mostrando así poca variabilidad a lo largo de todo el cuerpo de agua (Vannote et.al., 1980). Concordante con este planteamiento, en esta investigación se notó homogeneidad de comportamiento de los atributos fisicoquímicos, tanto en el período de aguas altas como en la temporada de aguas bajas.

Cabe anotar que la normatividad ambiental colombiana (Min.Salud, 1998; Min. Protección social, 2007) fija criterios de calidad admisibles en la destinación del recurso hídrico y establece valores máximos permisibles para las características organolépticas, físicas, químicas y para los diferentes metales pesados (Cr, Cd, Pb y Hg), entre otros. Sobre esta base se pudo establecer que las muestras de aguas analizadas reportan concentraciones dentro de los valores permisibles.

Por otra parte, se considera a los “*Shales*” como rocas sedimentarias cuya característica es la de poseer un porcentaje muy alto de partículas tamaño arcilla y alta proporción de limos (IDEAM, 2007). Esta composición estructural hace a estos materiales muy semejantes a los sedimentos y con capacidad física de retener metales que han podido formar estructuras solubles debido a procesos de meteorización provocados por los ríos o porque han logrado alcanzar estos niveles a través de la actividad antrópica. Con este criterio, a éstas rocas se les considera un sedimento activo y su concentración en metales puede ser tomada como base de comparación (IDEAM, 2007).

Una consideración de importancia que debe tenerse presente es que la distribución de metales pesados en los sedimentos es afectada por la mineralogía y por la composición del material suspendido, por la actividad antrópica y por los procesos *in situ*, tales como la deposición, la absorción y el enriquecimiento por acción de los microorganismos (Hamza AL-Robai, 2013). Además, la forma química como se combine el elemento es factor fundamental para encontrarlo en los sedimentos o en el cuerpo de agua.

Así, en ambientes dulceacuícolas, el Cd está íntimamente asociado con la materia coloidal como  $CdCl_2$  y  $CdSO_4$ ; mientras que los sedimentos son el principal sumidero de Hg en los sistemas acuáticos, principalmente debido a su asociación con la materia orgánica y minerales de óxidos superficiales (Marrugo & Paternina, 2011). El metilmercurio ( $CH_3Hg$ ) es la forma más tóxica del Hg y la más fácilmente bioacumulada

y biomagnificada en las cadenas alimenticias (Gaona, 2004). Por su parte, una de las principales fuentes de contaminación del ambiente por Pb es el proveniente de la combustión de la gasolina o por las pinturas; en tanto que la erosión de depósitos naturales y los efluentes industriales que contienen cromo (principalmente de acero, papel y curtiembres), son los que se incorporan a los cuerpos de aguas superficiales; la forma química dependerá de la presencia de materia orgánica en el agua, si está presente en grandes cantidades (PNUMA, 2010); el cromo (VI) se reducirá a cromo (III), que se podrá absorber en las partículas o formar complejos insolubles (Lituma, 2010), confirmándose una vez más que los sedimentos intervienen activamente en la concentración de especies químicas.

Importa mencionar que el río Magdalena sufre influencia de las aguas provenientes de la hidroeléctrica de Betania, además de los 500 ríos y numerosas quebradas que recibe a lo largo de su curso. Cuando se requiere abrir las compuertas de la represa en la temporada de aguas altas, el efecto se siente en un alto número de poblaciones por donde pasa, a lo que no escapan los puertos pesqueros del Tolima pese a que la distancia entre ellos y la mencionada represa excede los 100 kilómetros. Adicionalmente debe tenerse en cuenta que la subcuenca del río Yaguará, que alimenta la hidroeléctrica, es la de mayor erosión en la cuenca del río Magdalena, produciendo un aporte crítico en sedimentos al embalse de Betania, cuya zona de influencia se caracteriza además por tener suelos no muy buenos, pues presentan una formación geológica joven, un índice de fertilidad bajo y una alta disposición a la aparición de múltiples manifestaciones erosivas (IAvH, 2011; Duque & Donato, 1988).

A esta altura de la discusión, resulta de particular importancia mencionar que la zona de influencia del embalse tiene dos períodos climáticos bien definidos: lluvias bajas entre junio y mediados de octubre, y una época húmeda durante los meses de octubre a mayo, con precipitaciones que pueden superar los 100 mm/mes (Cala, et al., 1996). Cabe recordar que los muestreos realizados en este trabajo se sucedieron entre diciembre y enero (aguas altas) y en junio (aguas bajas). En cualquier punto de la Tierra, la cantidad de metales pesados encontrado en un ecosistema puede ser función del ciclo global perturbado por la actividad humana, entre otras causas.

La mayor presencia de Hg en el puerto de Purificación podría encontrar respuesta en que es el primero de los puertos encontrados al pasar del Huila al Tolima a través del río Magdalena. La fiebre del oro en varias regiones del tramo de interés sobre el río podría ser otra causal de la presencia de metales tóxicos, ya que la actividad minera conlleva la utilización de toneladas de productos químicos que terminan en los ríos circunvecinos y en las aguas freáticas. A lo anterior se suma el aumento de la población, la masiva urbanización, el vertido de nuevos patógenos, las actividades agrícolas y, por su puesto el cambio climático. De esta forma este estudio hace un aporte importante en la visualización completa de los efectos provocados por sustancias químicas tóxicas y no-tóxicas sobre los componentes bióticos y abióticos del ecosistema acuático, se convierte además en una base para posteriores estudios sobre monitoreo, biorremediación y toma de medidas integrales para la protección ambiental y, adicionalmente, se constituye en el primero de su estilo desarrollado para conocer el estado de salubridad del principal recurso hídrico del Tolima y de Colombia en general.

### 5. AGRADECIMIENTOS

El apoyo logístico y disponibilidad de la planta física del laboratorio de aguas de LASEREX-UT y el aporte financiero del Centro de Investigaciones de la Universidad del Tolima, son altamente apreciados.

### 6. LITERATURA CITADA

ALVEAR-SANIN, J. 2005. *Manual del río Magdalena*. Corporación Autónoma Regional del Río Grande del Magdalena, CORMAGDALENA, 1ª edición. Bogotá D.C. 239 p.

ARCE-GARCÍA, O.O. 2007. Contaminantes peligrosos en el agua y enfermedades de origen hídrico. Cochabamba (Bolivia): Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología.

BORJA, A. 2005. The European water framework directive: A challenge for nearshore, coastal and continental shelf research. *Continental Shelf Research*, 25: 1768–1783.

BORJA, A. 2006. The new European Marine Strategy Directive: difficulties, opportunities, and challenges. *Marine Pollution Bulletin*, 52: 239–42. CALA, P., PREZ, C. & RODRIGUEZ, I. 1996. Aspectos bioecológicos de la población de capaz, *Pimelodus grosskopfii* (Pisces: Pimelodidae), en el Embalse de Betania y parte alta del río Magdalena, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 20: 319-330.

CONSTANZA, R. & MAGEAU, M. 1999. What is a healthy ecosystem? *Aquatic Ecology* 33: 105–115.

DUQUE, S. & DONATO, J. 1988. Estudio del fitoplancton durante las primeras etapas de llenado del embalse de la central hidroeléctrica de Betania, Huila-Colombia. *Rev. Fac. Cien. Univ. Jav.* 1: 29-52.

DURAL, M., LUGAL-GÖKSU, M. & AKIFÖZAK, A. 2007. Investigation of heavy metal levels in economically important fish species captured from the Tuzla lagoon. *Food Chemistry*. 102: 415–421.

DURÁN-PINILLA, L., CADENA-DURÁN, O.L., GUZMAN-OSORÍO, G., KAIRUZ-MARQUEZ, V.E. & PEDRAZA CAMARGO, G. 2005. Formulación de la Agenda Prospectiva para la Competitividad del Tolima 2003-2013. Universidad del Tolima. Ibagué. 114 p. ISBN 9589243169.

HAMZA-AL-ROBAI, H. 2013. Determination some Heavy metals in Sediments of Shatt Al-Hilla River by Using Modified Single Chemical Fractionation Technique. *Journal of Babylon University/Pure and Applied Sciences*. 21: 2811-2818.

## CIENCIAS-QUÍMICAS

IDEAM, CORMAGDALENA Y ONF ANDINA. 2007. Nueva medición de la calidad de agua en los ríos Magdalena y Cauca. [en línea]. Disponible desde internet en: <http://fs03eja1.cormagdalena.com.co/nuevaweb/calidad%20de%20agua%202007/Publicacion%20Convenio.pdf>.

IAvH - Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 2011. Serie editorial recursos hidrobiológicos y pesqueros continentales de Colombia. [en línea]. Disponible desde internet en: [http://awsassets.panda.org/downloads/pesquerias\\_cuencas\\_2.pdf](http://awsassets.panda.org/downloads/pesquerias_cuencas_2.pdf).

JUAREZ, H. S. 2006. Contaminación del río Rímac por metales pesados y efecto en la agricultura en el cono este de lima metropolitana. Trabajo de grado. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina. 88 p.

LITUMA, P.C. 2010. Biodigestion anarobeia de lodos residuales, de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucabamba. Trabajo de grado. Cuenca, Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. 91 p.

MANCERA-RODRIGUEZ, N. & ALVAREZ-LEON, R. 2006. Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. Acta biológica Colombiana 11: 3-23.

MARRUGO, J.L. & PATERNINA, R. 2011. Evaluación de la contaminación por metales pesados en la ciénaga La Soledad y Bahía de Cispatá, cuenca del bajo Sinú, Departamento de Córdoba. Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Química. Universidad de Córdoba.

MINISTERIO DE SALUD. República de Colombia. Decreto número 475. Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable. [en línea]. *Bogotá DC., Colombia. Marzo 10 de 1998*. Disponible desde internet en: [http://www.carter.gov.co/documentos/437\\_D-0475.pdf](http://www.carter.gov.co/documentos/437_D-0475.pdf).

NAVARRO AVIÑÓ, J.P., AGUILAR ALONSO, I. y LÓPEZ MOYA, J.R. 2007. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. Ecosistemas, revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. 16: 10-25.

NOREÑA, R. D. A., ARENAS, T. A. M., MURILLO, P. E., GUÍO, D. A. J., MÉNDEZ, A. J. J. 2012. Heavy metals (Cd, Pb and Ni) in fish species commercially important from Magdalena river, Tolima tract, Colombia. Tumbaga. 2: 61-76.

NSF – National Sanitation fundation., Consumer inforation: Water Quality Index (WQI). 2006. En: [www.nsf.org/consumer/just\\_for\\_kids/wqi.asp](http://www.nsf.org/consumer/just_for_kids/wqi.asp)



## CIENCIAS-QUÍMICAS

PALACIO-BAENA, J. 2007. Ecotoxicología acuática. Universidad de Antioquia. Primera edición, Medellín: Imprenta Universidad de Antioquia. p. 85-86.

PNUMA- PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. 2010. Análisis del flujo del comercio y revisión de prácticas de manejo ambientalmente racionales de productos conteniendo cadmio, plomo y mercurio en América Latina y el Caribe. [en línea]. Disponible desde internet en: [http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Lead\\_Cadmium/docs/Trade\\_Reports/LAC/Trade\\_report\\_LAC\\_Spanish\\_and\\_English.pdf](http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Lead_Cadmium/docs/Trade_Reports/LAC/Trade_report_LAC_Spanish_and_English.pdf).

RODRIGUEZ, R. 2001. Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Trabajo de grado. Barcelona, España. Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Ingeniería Minera y Recursos Naturales.

SAMBONI, N., CARVAJAL, Y. & ESCOBAR, J. 2007. Revisión de parámetros físicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Revista Ingeniería e Investigación* 27: 172 – 181.

Servicio Nacional de Estudios Territoriales “SNET”. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL “ICA”. [en línea]. *San Salvador, El Salvador, Centro América*. Disponible desde internet en: <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolCA.pdf>.

VANNOTE, R., MINSHALL, G.; CUMMINS, K.; SEDELL, R & CUSHING, C. 1980. The river continuum concept. *Fish Aquatic Science* 37: 130-137.

WALISZEWSKI, S. M., GÓMEZ-ARROYO, S., CARVAJAL, O., VILLALOBOS-PIETRINI, R. & INFANZÓN, R. M. 2004. Uso del ácido sulfúrico en las determinaciones de plaguicidas organoclorados. *Int. Contam. Ambient.* 20: 185-192.

## CIENCIAS-QUÍMICAS

Referencia	Fecha de recepción	Fecha de aprobación
<b>DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS E INDICES DE CALIDAD EN AGUAS Y SEDIMENTOS DEL RÍO MAGDALENA – TRAMO TOLIMA, COLOMBIA.</b> Lesly Tatiana Ortiz-Romero, Julia Graciela Delgado-Tascón, Daniel Andrés Pardo-Rodríguez, Elizabeth Murillo-Perea, Antonio José Guio Duque. Revista Tumbaga (2015), 10, vol.2, 43-60	Días /mes /año 12/10/2015	Días/mes/año 3/11/2015