

CALIDAD DEL AGUA EN LA PARTE ALTA DE LAS CUENCAS JUAN COJO Y EL SALADO (GIRARDOTA – ANTIOQUIA, COLOMBIA)

Ana María Gómez-Marín¹; Darío Naranjo-Fernández²,
Andrés Alfonso Martínez³ y Darío de Jesús Gallego Suárez⁴

RESUMEN

Este trabajo es un diagnóstico preliminar del estado actual del recurso hídrico de la parte alta de las cuencas hídricas Juan Cojo y El Salado, ubicadas en la vertiente Noreste del Valle de Aburrá, en jurisdicción del municipio de Girardota (6° 20.951' N, 75° 27.199' W), entre los 1900 y 2550 msnm. sobre la cordillera Central, mediante la realización de una campaña muestreo y aforo los días 10, 11, 17 y 19 de agosto de 2004. El estudio comprende la evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua de treinta sitios perturbados y no perturbados por las actividades agropecuarias de la zona. Los resultados muestran que todos los puntos, a excepción de uno, presentan contaminación microbiológica con coliformes totales y fecales, lo que evidencia la existencia de ciertas deficiencias locales en la forma de disposición de desechos líquidos de tipo doméstico y agropecuario. Por otro lado, de los análisis fisicoquímicos y el cálculo del Índice de Calidad del Agua –ICA–, se concluye que las corrientes poseen características típicas de aguas pertenecientes a la parte baja de cuencas no intervenidas, es decir, aunque su grado de contaminación no es alarmante, no poseen las características propias de nacimientos y/o aguas ubicadas en las partes altas de una cuenca, encontrándose algunas estaciones de muestreo con condiciones meso-eutróficas.

Palabras claves: Índice de calidad del agua, cuencas, recurso hídrico, caracterización fisicoquímica, contaminación hídrica.

ABSTRACT

WATER QUALITY OF THE HIGH-MOUNTAIN JUAN COJO'S AND EL SALADO'S BASINS (GIRARDOTA – ANTIOQUIA, COLOMBIA)

This work is a preliminary diagnosis of the actual state of the high-mountain water sources located in the Juan Cojo's and El Salado's basins of the NE side of the Aburrá valley; both belong to the Girardota municipality (6° 20.951' N, 75° 27.199' W), between 1900 and 2500 meter above sea level, in the central mountain chain. In order to achieve this work, several samples were taken in

¹ Docente Ocasional. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias. A.A. 3840, Medellín, Colombia. <amgomezma@unal.edu.co>

² Ingeniero Químico. Universidad de Antioquia. Grupo GIGA. A.A. 1226, Medellín, Colombia. <dnaranj@unal.edu.co>

³ Ingeniero Químico. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias. A.A. 3840, Medellín, Colombia. <aalfons@unal.edu.co>

⁴ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Minas. A.A. 1027, Medellín, Colombia. <dgallego@unal.edu.co>

Recibido: Agosto 29 de 2006; aceptado: abril 18 de 2007

august 10, 11, 17 and 19 of 2004. This preliminary study includes the physicochemical and microbiological evaluation of 30 sampling points. Just one of the 30 sampling points exhibited absence of microbiological pollution due to fecal and total coliforms. This fact suggests bad practices in the final disposal of domestic and farming water residuals. In the other hand, the physicochemical and the ICA (water quality index) evaluation reveal that the sampled water sources exhibit typical characteristics of common low-mountain, non-polluted water sources. In other words, although pollution levels found in those water sources are not alarming, they do not exhibit the typical pollution levels found in natural high-mountain waters, as they should; even we could find some sampling points with meso-eutrophic conditions.

Key words: Water quality index, basins, water sources, physiochemical characterization, water sources.

La disponibilidad de agua de buena calidad es una condición indispensable para la propia vida, y más que cualquier otro factor, condiciona la calidad de vida de las personas (Asvall y Alleyde 1999). Sin embargo, las características del agua cada día se ven más afectadas por las actividades humanas, las cuales, junto con los fenómenos naturales, hacen que sus propiedades fisicoquímicas y micro-biológicas varíen notoriamente de un lugar a otro.

Por otro lado, la gestión y administración adecuada de los recursos hídricos, que garantizan su uso sostenible, obliga a conocer su comportamiento y su respuesta ante las diferentes intervenciones antrópicas; por lo cual, se hace importante la implementación de metodologías rápidas y económicas para la evaluación de las características de las fuentes de agua que permitan determinar, de una manera aproximada, su calidad y sus posibles usos.

Los índices de calidad, calculados a partir de la medición de ciertas variables ambientales, provee de un concepto preliminar para diagnosticar el estado sanitario de las corrientes, y se emplean como herramientas para analizar tenden-

cias, especificar condiciones ambientales, ayudar en decisiones gubernamentales y en la evaluación de programas de control, entre otros (Canter 1998).

La cuenca Juan Cojo, con 4,61 km², esta conformada, principalmente, por las quebradas Chachafruto y El Acurrucado. La cuenca El Salado, con un área de 24,84 km², se compone de las quebradas El Tigre, El Tábano, La Rosa y El Salado. Ambas cuencas conforman el mayor afluente oriental del río Medellín en esta zona y son una de las principales fuentes de abastecimiento de agua para la población (Secretaría de Planeación y Desarrollo Municipal 2003). Sin embargo, en el momento no existen estudios acerca de la caracterización o análisis de la calidad de sus aguas, ni siquiera de naturaleza puntual, que permitan hacer comparaciones o establecer tendencias temporales acerca de la evolución del recurso, siendo su diagnóstico y seguimiento de vital importancia para la elaboración de un plan de conservación y utilización sostenible del recurso hídrico.

Este estudio pretende elaborar un mapa preliminar de calidad del agua pertene-

ciente a la parte alta de las cuencas hidrográficas Juan Cojo y El Salado, considerando criterios físicos, químicos y microbiológicos, con el fin de conocer el impacto ambiental de las actividades desarrolladas en la zona y esbozar un diagnóstico del estado de las corrientes en su nacimiento (grado de contaminación). Para esto, se calcula el Índice de Calidad del Agua –ICA–, desarrollado por la Fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos –NFA– (Morales 1984), y empleado por entidades gubernamentales como CORANTIOQUIA (Corantioquia 2002) y Empresas Públicas de Medellín –EE.PP.M– (Jaramillo 1991) para evaluar la

calidad de las fuentes de abastecimiento.

METODOLOGÍA

Descripción del sitio. La parte alta de las cuencas hidrográficas de Juan Cojo y El Salado comprende aproximadamente 435 ha y esta ubicada en las veredas orientales del municipio de Girardota (6° 20.951' N, 75° 27.199' W), descendiendo desde los 2550 hasta los 1900 msnm sobre la cordillera Central, al Noreste del Valle de Aburrá, en el departamento de Antioquia, Colombia (Figura 1).

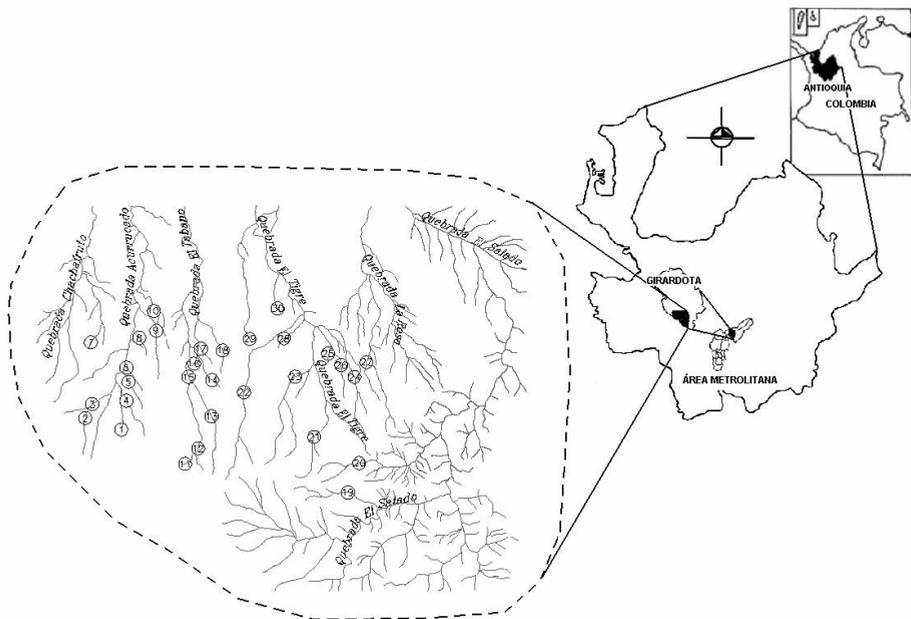


Figura 1. Localización de la parte alta de las cuencas Juan Cojo y El Salado y de las estaciones de muestreo (Girardota, Antioquia, Colombia).

El lugar se localiza principalmente en la zona de vida bosque húmedo montano bajo (bh-MB), y, en menor proporción, en la zona de vida bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB), con una precipitación promedio anual entre los 1850 y 2200 mm y una temperatura promedio anual de 12 °C, según el Plan de Ordenamiento Territorial –POT– del Municipio de Girardota (Secretaría de Planeación y Desarrollo Municipal 2003).

La zona presenta suelos residuales de Batolito Antioqueño y suelos derivados de anfibolitas, en algunos casos poco fértiles, con pendientes mayores a 25 % y de 40 % y con excesivo drenaje natural, haciendo del lugar una zona de amenaza alta por riesgos geológicos y que presenta erosión severa (Secretaría de Planeación y Desarrollo Municipal 2003). Por lo anterior, en la actualidad se vienen implementando programas de reforestación con especies foráneas como *Pinus patula* y *Eucalyptus grandis*, entre otros, y con especies nativas como *Tibouchina lepidota* (siete cueros).

Desde el punto de vista del uso del suelo, esta región posee tierras destinadas a la ganadería extensiva, cultivos agroforestales y bosques. Adicionalmente, la parte media presenta asentamientos humanos y algunos de los prados son regados con el agua residual proveniente de la actividad porcícola ubicada en partes más altas.

Procedimientos de muestreo y análisis. Las treinta estaciones de muestreo comprenden puntos perturbados y no perturbados por la actividad bovina y porcina de la zona, y fueron distribuidas espacialmente para

incluir los principales nacimientos de las cuencas Juan Cojo y El Salado (Figura 1). La campaña de muestreo se realizó los días 10, 11, 17 y 19 de Agosto de 2004, periodo seco para la región, según registros pluviométricos de las estaciones La Cuchilla, Girardota y Chorrillos, principales estaciones de la zona. Se elige esta época con el fin de caracterizar el estado de las corrientes durante uno de los periodos más críticos. El estudio comprende la caracterización puntual y cuantitativa, sin repetición de muestras, de la calidad del agua.

La Tabla 1, indica los materiales y métodos utilizados para la medición de las diferentes variables fisicoquímicas y microbiológicas. Los análisis microbiológicos fueron realizados en el Laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Se utilizaron recipientes estériles de vidrio de 200 ml. Todas las muestras se rotularon indicando el lugar y la fecha, se conservaron a 4 °C y se llevaron antes de 24 horas a los laboratorios para su análisis. Los análisis fisicoquímicos fueron realizados en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Antioquia. Las muestras de agua fueron recolectadas en recipientes plásticos de 2000 ml para los análisis de conductividad, turbidez, sólidos totales, DBO₅, pH y color verdadero; en recipientes de vidrio de 500 ml, conservados con ácido sulfúrico, para la medición de nitrógeno amoniacal, nitratos y fosfatos, y en botellas Winkler para la determinación del oxígeno disuelto (Corantioquia 2002). La cantidad de sólidos suspendidos y disueltos presentes en el agua se estimó por medio de las medidas de turbiedad y conductividad,

respectivamente, multiplicados por una constante de proporcionalidad adecuada, de tal forma que la suma de ambos sea igual a la cantidad de sólidos totales encontrada (Crites y Tchobanoglous 2000).

La evaluación del estado de las corrientes se realizó mediante el cálculo del ICA, para lo cual se reúnen los valores de las variables involucradas y con una curva específica para cada una de ellas se

determina su índice (I_i). Este valor se multiplica por el peso respectivo según la importancia relativa de cada variable (W_i). La suma de los productos ($I_i \cdot W_i$) da el valor del ICA (Canter 1998). Las variables que se utilizan en el cálculo del índice, en orden de importancia relativa, son: oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, DBO₅, nitratos, fosfatos totales, desviación de la temperatura de la fuente respecto a la ambiental, turbiedad y sólidos totales.

Tabla 1. Material y metodología utilizada para la medición de las variables fisicoquímicas y microbiológicas estudiadas en el agua de la parte alta de las cuencas Juan Cojo y El Salado. (Girardota, Antioquia, Colombia).

VARIABLES	UNIDAD	MATERIAL Y/O MÉTODO	COMENTARIO
Temperatura ambiente y del agua	°C	Termómetro	<i>In situ</i>
Conductividad	µS/cm	Conductímetro	Potenciométrico
Turbidez	NTU	Turbidímetro	Nefelométrico
Sólidos totales	mg/l	Gravimétrico	Secado en mufla a 103-105 °C
Oxígeno disuelto	mg/l	Winkler (300ml)	Fijación <i>in situ</i>
pH	---	Potenciómetro	Potenciométrico
Color verdadero	UC	Espectofotométrico	Lectura a 543nm
Nitrógeno amoniacal	mg/l	Neslerización	Lectura a 415nm
Nitratos	mg/l	Brucina	Lectura a 410nm
Fosfatos	mg/l	Cloruro Estañoso	Lectura a 690nm
D.B.O ₅ total	mg/l	Oxímetro	Potenciométrico
Sólidos suspendidos	mg/l	A partir de sólidos totales y turbiedad	
Sólidos disueltos	mg/l	A partir de sólidos totales y conductividad	
Coliformes Totales	NMP/100ml	Enzimático	Fluoroculd NMX
Coliformes Fecales	NMP/100ml	Enzimático	Fluoroculd NMX

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Por el carácter exploratorio del muestreo, este estudio sólo permite la formulación de un diagnóstico pre-liminar del estado del recurso hídrico en la parte alta de las cuencas hidrográficas de Juan Cojo y el Salado, municipio de Girardota, Antioquia. La Tabla 2 resume el valor de todos los parámetros evaluados en cada punto de muestreo y del ICA calculado.

Los análisis microbiológicos indican contaminación por coliformes totales y fecales en todos los puntos de muestreo, evidenciando la existencia de ciertas deficiencias locales en la forma de disposición de desechos líquidos de tipo doméstico y agropecuario (Alzate 2001), aún en las partes más altas, siendo más significativa su presencia en las partes bajas, las cuales reciben las aguas de desecho de las actividades porcícolas.

Tabla 2. Índice de calidad del agua – ICA – y parámetros evaluados en cada punto de muestreo en la parte alta de las cuencas Juan Cojo y El Salado. (Girardota, Antioquia, Colombia).

Cuenca	Muestra	ΔT °C	pH	Turbiedad UNT	OD, mg/l	DBO ₅ , mg/l	Nitratos mg/l	<i>E-coli</i> NMP/100ml	PO ₄ ³⁻ total mg/l	ST mg/l	SS mg/l	SD mg/l	ICA
JUAN COJO	1	7,5	6,19	2,03	5,30	0,414	0,3210	4	0,00873	52,0	5,5	46,5	74
	2	4,3	7,40	15,30	6,85	0,618	<0,0487	> 1600	0,02370	94,0	41,3	52,0	73
	3	8,0	7,13	8,61	6,80	0,571	<0,0487	94	0,01250	78,0	23,3	53,9	74
	4	5,2	7,33	0,46	7,50	0,888	<0,0487	4	0,01120	92,0	1,2	91,1	85
	5	3,3	7,55	5,20	7,20	1,030	0,0536	1600	0,01500	106,0	10,4	96,3	76
	6	3,6	7,40	6,86	7,00	0,848	<0,0487	> 1600	0,01250	148,0	18,5	129,4	76
	7	4,8	7,20	24,80	6,90	0,658	<0,0487	278	0,04860	86,0	62,0	24,5	73
	8	6,2	7,13	12,70	4,40	1,950	<0,0487	9	0,00624	152,0	25,4	126,1	72
	9	2,3	7,18	15,60	4,85	0,981	0,1610	1600	0,02990	140,0	35,9	104,9	70
	10	6,9	7,19	27,50	5,80	1,170	<0,0487	1600	0,00499	140,0	55,0	84,19	67
EL SALADO	11	7,1	6,61	1,76	6,35	0,444	0,1430	4	0,01500	52,0	4,8	47,8	79
	12	6,4	7,09	2,08	7,00	0,420	0,0536	94	0,01120	60,0	5,6	53,6	77
	13	5,3	8,85	2,20	6,85	0,659	0,1610	109	0,03490	82,0	5,9	76,9	71
	14	2,5	7,24	3,19	6,15	0,334	<0,0487	26	0,00748	98,0	8,6	88,9	83
	15	5,3	7,95	16,70	6,95	0,819	0,0893	920	0,01500	124,0	45,1	80,1	71
	16	0,7	7,77	37,70	5,70	0,820	0,1790	920	0,02000	530,0	102,0	426,3	67
	17	0,9	8,05	6,27	6,90	0,590	<0,0487	426	0,00748	124,0	16,9	106,6	79
	18	4,1	7,89	4,89	7,10	0,465	0,0536	49	0,00748	102,0	13,2	88,7	80
	19	2,2	7,74	2,87	7,00	0,882	0,0487	2	0,03120	40,0	7,8	32,4	87
	20	1,9	7,80	3,01	7,15	0,901	0,0487	1	0,07360	46,0	8,1	38,2	89
21	4,8	7,18	2,23	7,30	0,493	0,0487	120	0,01120	42,0	6,0	35,5	79	
22	9,2	8,14	5,46	6,85	0,809	0,2320	920	0,02870	54,0	10,9	43,2	69	
23	4,8	8,06	17,30	7,15	0,780	0,0487	26	0,00784	88,0	43,3	45,2	77	
24	6,1	7,78	5,83	6,75	1,000	0,2140	175	0,02370	68,0	15,7	52,5	74	
25	1,3	6,68	28,60	2,10	0,810	0,1970	1	0,03240	13096,0	68,6	13027,0	71	
26	3,7	8,01	2,73	7,50	0,857	0,1610	43	0,07610	76,0	7,4	68,2	80	
27	4,1	7,44	8,46	6,35	0,741	0,1430	240	0,04490	116,0	22,8	93,1	75	
28	0,1	7,39	17,70	7,00	0,467	0,0487	175	0,01370	148,0	38,9	109,2	80	
29	-1,0	7,36	3,02	6,35	0,367	0,0487	6	0,00624	80,0	8,15	71,0	87	
30	5,2	7,75	5,32	5,80	0,550	0,1430	> 1600	0,06230	222,0	14,4	207,5	69	

No se encontró este tipo de contaminación en los puntos 20 y 25, siendo en este último caso debido a la alta concentración de sales disueltas encontradas en el agua, que producen una presión osmótica tal que los microorganismos comunes no pueden soportarla.

La temperatura del agua presenta un promedio de $17,1\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,6$ registrando los menores y mayores valores en los puntos ubicados en las mayores y menores cotas respectivamente. Estos valores también se ven afectados por la hora de toma de la muestra. Lo anterior, indica la ausencia de descargas térmicas a las corrientes (Alzate 2001).

El potencial de hidrogeniones (pH) presenta un promedio de $7,5 \pm 0,5$ valor dentro del intervalo característico para el agua natural e igual a 6,5-8,2 (Posada, Roldán y Ramírez 2000), con excepción del pH de los puntos 1 y 13 que son iguales a 8,85 y 6,2, siendo este último valor aún natural en regiones de suelos ácidos (Secretaría de Planeación y Desarrollo Municipal 2003).

Analizando los valores para la DBO_5 y el oxígeno disuelto de las fuentes pertenecientes a las cuencas Juan Cojo y El Salado, se encuentra que la incorporación de oxígeno para suplir la demanda para la transformación de la materia orgánica que ingresa al sistema, por ser corrientes de montaña, presenta un balance positivo –proceso de autodepuración– (Water Works Association 1999), encontrándose concentraciones de materia orgánica menores a 2 mg/l para todas las fuentes, y porcentajes de saturación de oxígeno superiores al 60-70 %, a excepción de las

fuentes 8, 9 y 10, que presentan valores mayores al 45 %, y el punto 25 que presenta un valor del 22 %, al ser una fuente subterránea con gran contenido de sales disueltas.

Las concentraciones de nitrógeno para las fuentes esta muy por encima de las encontradas en aguas neotropicales, menores a 0,03 mg/l (Tebbutt 1998). Los nitratos son inferiores a 0,0487mg/l para la mitad de las fuentes, con un valor promedio de $0,101 \pm 0,074$ mg/l, y uno máximo de 0,32 mg/l para el punto 1. El nitrógeno amoniacal, en promedio, es de $0,28 \pm 0,18$ mg/l, muy alto comparado el valor característica de aguas naturales, inferior a 0,05 mg/l (Tebbutt 1998), siendo los valores más altos los encontrados en la microcuenca El Tábano. Lo anterior sugiere contaminaciones continuas, ya que la conversión de amoníaco a nitrato, en presencia de oxígeno, es rápida (Tebbutt 1998).

El punto de muestreo 25 es un caso aparte, presenta un gran contenido de nitrógeno amoniacal (24,9 mg/l), explicable considerando que representa a una fuente subterránea, en la cual la concentración de oxígeno es baja y por tanto el amoníaco no puede estabilizarse a nitrato. Este valor tan alto, similar al de ciertos vertimientos orgánicos (Water Works Association 1999), demuestra que aguas arriba de esta zona existen focos de contaminación que drenan nutrientes a las aguas.

Teniendo en cuenta lo anterior, y considerando la concentración de fosfatos de las muestras, puede decirse que los

puntos con concentraciones de fosfatos menores a 0,01 mg/l representan aguas con características oligotróficas, aquellos entre 0,01 y 0,02 mg/l, aguas con características mesotróficas, mientras que los puntos con mayores valores de fosfatos son aguas con ciertas características eutróficas, y por esto, son las corrientes más propensas a mineralizarse (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Universidad del Valle 1998). Estos nutrientes pueden provenir de fertilizantes, desechos humanos o de animales de granja, entre otros.

La cantidad de sólidos totales, divididos entre sólidos suspendidos y disueltos, muestra que, en general se presentan bajos valores para los sólidos suspendidos, y la turbiedad, principalmente en las muestras ubicadas en las partes altas; indicando un bajo arrastre de sólidos debido a fenómenos como la erosión superficial y deforestación.

Por otro lado, para la mayoría de las muestras la conductividad alcanza valores entre 30-150 $\mu\text{S}/\text{cm}$, característicos para aguas naturales (Water Works Association 1999), con los mayores valores ubicados en la parte más baja de ambas cuencas y los menores en los puntos más altos, lo que indica que a medida que las aguas descienden, el contenido de compuestos disueltos aumenta, debido a la incorporación de materia orgánica que drena a las aguas, teniendo en cuenta que la constante de proporcionalidad entre la conductividad y los sólidos disueltos calculada generalmente es mayor a 0,7 (los cálculos no se muestran).

En casi todas las fuentes la conductividad es menor a 320 $\mu\text{S}/\text{cm}$, descartando la presencia elevada de sales disueltas. Es una excepción a la tendencia anterior el punto 25, con una altísima conductividad igual a 17030 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ocasionada, probablemente, por la disolución de sales que drenan a sus aguas, provenientes de depósitos subterráneos con altas concentraciones de cloruros (3980 mg/l) y de sulfatos (3376 mg/l), como se comprueba de los análisis de estos parámetros (los datos no se adjuntan).

En general los nacimientos y aguas en la parte alta de una cuenca poseen valores altos para el color, porque estos lugares son ambientes ricos en materia orgánica, cauces arcillosos y presencia de material vegetal que le confieren esta característica, que disminuye a medida que el agua desciende (Postgrado de Ambiental-Universidad de Antioquia 2003); comportamiento similar, en este caso, para la cuenca Juan Cojo. Son excepciones los puntos 8 y 10, los cuales, a pesar de encontrarse en la zona baja, tienen un color igual a 39,8 y 45,7 UPC, debido seguramente a contaminación de las fuentes. Para la cuenca El Salado las medidas de color verdadero son similares, con un valor promedio de $14,1 \pm 4,3$ UPC y uno máximo de 22,4 UPC en el punto 13.

El cálculo del ICA permite globalizar las diferentes mediciones realizadas en un solo valor con fines de clasificar el estado general de una fuente de una manera rápida y eficiente, ayudando en la selección de una corriente para una función determinada. La Tabla 3 establece, preliminarmente, los posibles usos

Calidad del agua en la parte....

del agua según el ICA calculado para ella. Esta tabla no fija una decisión definitiva acerca del recurso, sino que permite ubicarse en un horizonte de probabilidad

para su empleo, es decir, si lo que se busca es una fuente para aprovisionamiento de agua potable una corriente con un ICA inferior a 70 debe rechazarse.

Tabla 3. Principales usos del agua según el Índice de Calidad del Agua –ICA– calculado*.

ICA	USO PÚBLICO	RECREO	PESCA Y VIDA ACUÁTICA	AGRÍCOLA	INDUSTRIA	NAVEGACIÓN	PECUARIO	TRANSPORTE DESECHOS TRATADOS
100	No requiere de tratamiento	Aceptable para todo tipo de deporte acuático (natación, buceo)	Aceptable para todo tipo de organismos	Cultivos consumidos sin quitar la cáscara (frutas, hortalizas)	Aceptable sin tratamiento para la industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable sin tratamiento para todo tipo de organismos	Aceptable para todo tipo de transporte de desechos tratados
90	Requiere de tratamiento menor							
80	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable pero no recomendable para contacto directo	No apta para especies muy sensibles	Apta para riego de cultivos consumidos quitando la cáscara o que necesiten un proceso	Aceptable con tratamiento para la mayor parte de la industria		Necesita tratamiento para algún tipo de organismos	
70								
60	Riesgoso consumirla	Dudosa para contacto directo	Dudosa para especies sensibles	Uso muy restringido, solo para ciertos casos			Uso muy restringido	
50								
40		Sin contacto con el agua (deportes náuticos)	Sólo para organismos muy resistentes	Uso muy restringido, solo para ciertos casos	Uso muy restringido	Contaminado	Contaminado	Uso restringido
30	Inaceptable para consumo humano	Muestras obvias de contaminación	Inaceptable					
20		Inaceptable		Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable
10								

*Tomada de (Guzmán y Merino, 1992 y Montoya, *et. al.*, 1997) y modificada teniendo en cuenta la normatividad colombiana.

El valor más alto para el ICA se registra para las fuentes 4, 14, 19 y 20, estas tres últimas pertenecientes a la cuenca El Salado. Las fuentes que se clasifican como regulares son las fuentes 9, 10, 16, 22 y 30, con las dos primeras ubicadas en la cuenca Juan Cojo. El valor promedio para la parte alta de las cuencas de 76 ± 6 , que indica que estas aguas son de buena calidad, según el muestreo realizado.

Los resultados fisicoquímicos muestran que las fuentes de agua con mayor grado de contaminación son las que se encuentran en la parte más baja y que pertenecen a la cuenca Juan Cojo (puntos

8, 9 y 10), resultado acorde con el valor del ICA calculado para estos puntos (Tabla 2), y puede explicarse teniendo en cuenta que en esta zona se encuentran potreros, aguas estancadas y/o viviendas cercanas.

El mapa preliminar de calidad de agua, considerando el objetivo principal de esta investigación se presenta en las Figuras 2, 3 y 4. Para mayor claridad, los puntos de muestreo pertenecientes a la quebrada El Tábano, que drena a la cuenca El Salado, se han graficado aparte.

Estos mapas muestran como la mayoría de las vertientes presentan aguas oligo-

mesotróficas (aguas en buen estado biológico), y algunas de ellas, ubicadas en la cuenca El Salado, mesoeutrólicas, puntos 16, 22 y 30, que corresponden, principalmente, a fuentes ubicadas en la parte más habitada. En general, la calidad del agua disminuye con el des-censo de la corriente; sin embargo, aún en las partes

altas hay indicios de contaminación por materia fecal, fertilizantes o vertimientos, más evidente y crítica en las partes bajas, al ser estas regadas por los desechos de las actividades porcícolas, principalmente en la cuenca Juan Cojo: puntos 1, 2, 8, 9 y 10.

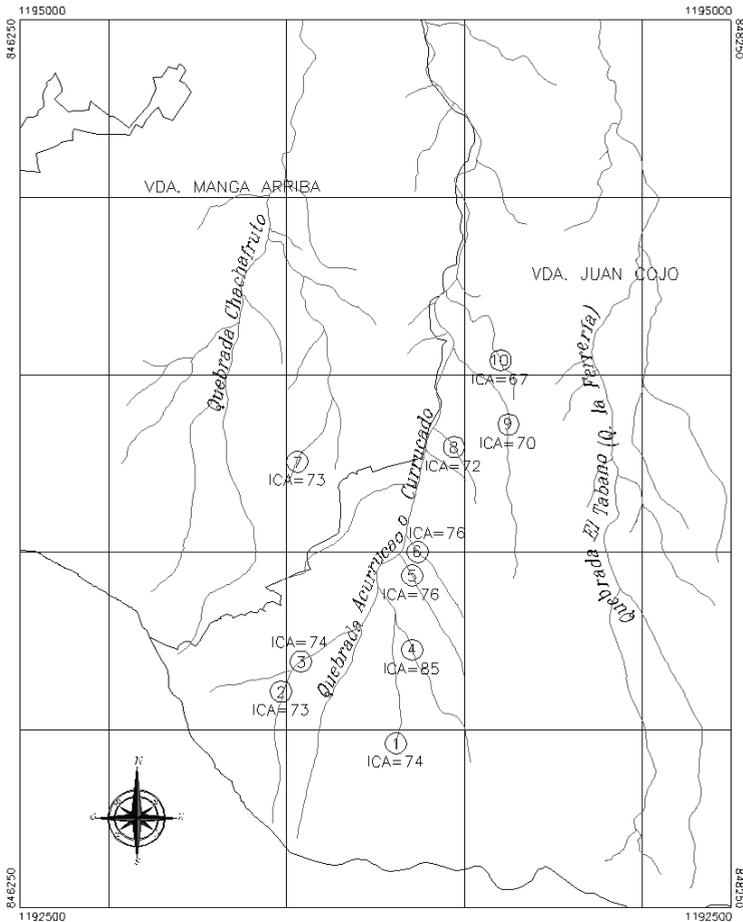


Figura 2. Mapa preliminar de la calidad del agua en la parte alta de la cuenca Juan Cojo (Girardota, Antioquia, Colombia).

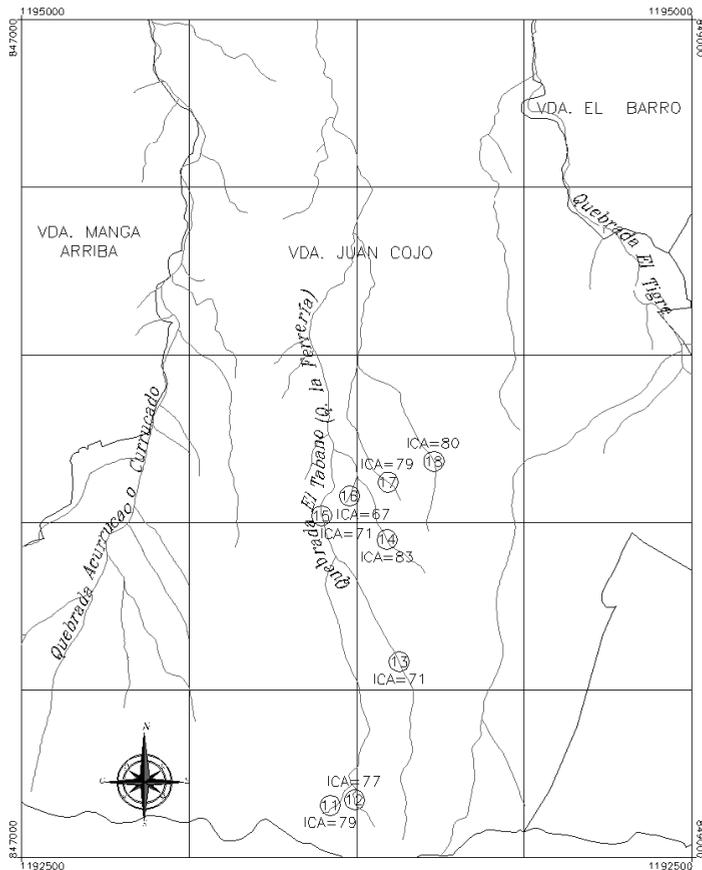


Figura 3. Mapa preliminar de la calidad del agua de la parte alta de la quebrada El Tábano perteneciente a la cuenca El Salado (Girardota, Antioquia, Colombia).

Como se mencionó, según el ICA de una corriente puede establecerse su posible uso (Tabla 3). En este caso, el recurso hídrico evaluado puede destinarse para consumo humano mediante una potabilización previa que remueva la carga orgánica y los contaminantes microbiológicos. Es aceptable para ciertos usos recreativos; puede emplearse para uso piscícola y utilizarse directamente para

finés agrícolas, industriales y pecuarios. Sin embargo, cualquier decisión que se tome para la planeación del uso de este recurso debe acompañarse de un análisis detallado de la red hídrica disponible y de un monitoreo adecuado en sitios de toma de agua que se prevean factibles, teniendo siempre presente la normatividad colombiana vigente con el rigor que ésta exige (Decreto 1598, 1984).

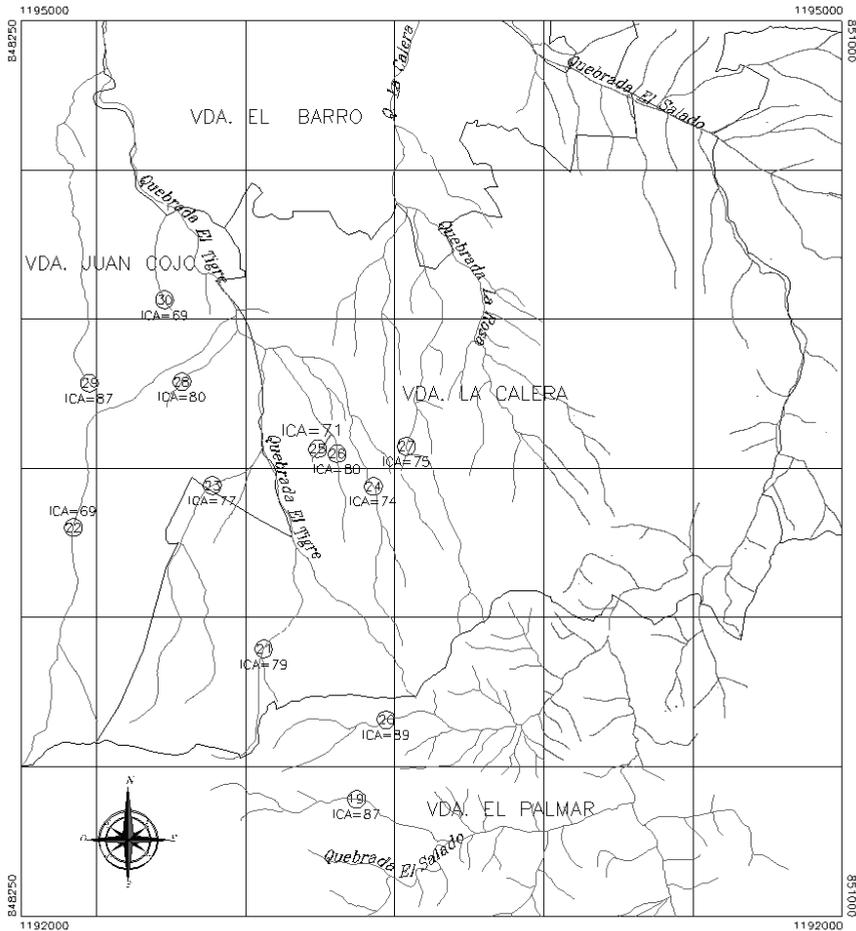


Figura 4. Mapa preliminar de la calidad del agua de la parte alta de la cuenca El Salado (Girardota, Antioquia, Colombia).

En general puede decirse que la parte alta de las cuencas Juan Cojo y El Salado presentan niveles incipientes de contaminación principalmente asociados con descargas recientes de desechos orgánicos provenientes de las actividades domésticas y agropecuarias, reflejada en elevados niveles de microorganismos de

origen fecal y nitrógeno amoniacal, entre otros, haciendo que estas aguas presenten características similares a corrientes pertenecientes a la parte baja de una cuenca no intervenida, es decir, aunque su grado de contaminación no es alarmante, no poseen las características propias de nacimientos y/o

aguas ubicadas en las partes altas de una cuenca. Es importante anotar que en esta investigación no se emplean indicadores biológicos, como macroinvertebrados acuáticos, bacterias, entre otros, para determinar la calidad biológica de las corrientes, por que los principales estudios limnológicos realizados en la región se han enfocado al estudio de ríos y quebradas ya desarrolladas (Roldán, 1988 y Machado, 1989) y, como la presencia o ausencia de estos organismos depende significativamente del tipo de ecosistema acuático, su empleo para evaluar otros ecosistemas diferentes, como los encontrados en los nacimientos de agua, no es adecuado.

CONCLUSIONES

El principal factor de deterioro del recurso hídrico superficial en las fuentes ubicadas en la parte alta de las cuencas Juan Cojo y El Salado es la contaminación con microorganismos patógenos, ya que en todas las micro-corrientes pertenecientes a estas cuencas se detecta la presencia de coliformes fecales y totales en cantidades que superan los límites establecidos por la normatividad colombiana (Decreto 1598 de 1984) para los usos mayoritarios del agua.

Según el ICA, el estado general del recurso hídrico es bueno, y puede emplearse para fines pecuarios, agrícolas o de potabilización, pudiéndose escoger las fuentes adecuadas para cada caso particular teniendo en cuenta el análisis puntual realizado. Sin embargo, deberá considerarse la realización de un monitoreo adecuado, que permita tener datos de calidad de las fuentes en el

tiempo y durante las distintas condiciones hidrológicas y climatológicas de la zona, para elegir el grado de tratamiento a los que debe someterse el agua con el fin de cumplir con las restricciones de calidad impuestas por la normatividad ambiental vigente para cada uso específico del recurso hídrico.

La cuenca de la quebrada Juan Cojo presenta los niveles más altos de contaminación, y sus valores se incrementan en las cotas inferiores, mientras que la cuenca de El Salado posee mejores condiciones de calidad del recurso hídrico según los valores calculados para el ICA. Sin embargo, esta última presenta niveles altos de fósforo total, comparables a los encontrados en aguas con características eutróficas, posiblemente por estar sometidas a contacto con desechos de origen humano o animal o al uso de agroquímicos en los cultivos realizados en los predios vecinos.

La microcuenca de la quebrada El Tábano presentó los niveles promedio más altos de nitrógeno amoniacal, que indica una posible contaminación reciente por desechos de origen animal asociados a la existencia cercana de potreros y al uso de aguas empleadas en actividades porcícolas para el riego de los suelos.

Dado que la mayor contaminación de estas fuentes no se debe al aumento de la materia orgánica presente en ellas, la cual se encuentra en niveles bajos, sino a la presencia de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y bacterias, puede concluirse que la práctica de regar los suelos con desechos porcícolas no incrementa el

contenido de materia orgánica de las fuentes ($\text{DBO}_5 < 2,0 \text{ mg/l}$ en todos los casos), pero si lo hace con los niveles de nutrientes, los cuales están por encima del valor para fuentes no intervenidas, llegándose a encontrar fuentes con características meso-eutróficas.

La parte alta de las cuencas Juan Cojo y El Salado presenta niveles incipientes de contaminación debida, principalmente, a descargas recientes de desechos orgánicos, probablemente provenientes de las actividades domésticas y agropecuarias, que se refleja en la presencia de grandes cantidades de microorganismos de origen fecal y nitrógeno amoniacal, entre otros. Por lo tanto, estas aguas presentan características similares a corrientes pertenecientes a la parte baja de una cuenca no intervenida, es decir, aunque su grado de contaminación no es alarmante, no poseen las características propias de nacimientos y/o aguas ubicadas en las partes altas de una cuenca.

BIBLIOGRAFÍA

Alzate, Gloria J. 2001. Diagnóstico ambiental quebrada Malpaso, municipio de Girardota. Medellín: Corantioquia. 53 p.

Antioquia. Departamento Administrativo de Planeación. 2003. Plan de Desarrollo Municipal de Girardota 2003. Medellín: Planeación, 100 p.

Asvall, J. E. y Alleyde, George. 1999. Agua y salud. Washington, Estados Unidos: Organización Panamericana de

la Salud/Organización Mundial de la Salud. 20 p.

Canter, Larry W. 1998. Manual de evaluación del impacto ambiental. Técnicas para la elaboración de estudios de impacto. Madrid, España: Mc Graw Hill. p. 154-162, 231-294.

Colombia. Ministerio de la Protección Social. Decreto 1594 de 1984, Normatividad Colombiana. Disponible en Internet. <http://www.corponarino.gov.co/modules/mimodulo/fuentes/tramites/Dec15941984.pdf>. [Consultada: 4 Junio 2007].

Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia. 2002. Estudio de zonas de recarga y acuíferos del Valle de Aburrá. Medellín: Corantioquia. 458 p.

Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia y Colnet - Ingeniería Ambiental 2002. Caracterización puntual cualitativa y cuantitativa de la calidad y cantidad del recurso hídrico superficial en la cuenca del río Aurra. Medellín: Corantioquia. 215 p.

Corporación Autónoma Regional Del Valle del Cauca y Universidad del Valle. 1998. Proyecto metodología para la distribución del recurso hídrico. Cali: CVC. 204 p.

Crites, Ron y Tchobanoglous, George. 2000. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades. Madrid, España: Mc Graw Hill. 776 p.

Guzmán A. M. y Merino, E. N. 1992. Diagnóstico de la contaminación del agua en Jalisco. Jalisco, México:

- Universidad de Guadalajara. 67p. (Cuadernos de Difusión Científica, no. 26).
- Jaramillo, Clara Inés. 1991. Índices de calidad de las fuentes de abasto del acueducto. En: Revista de Empresas Públicas de Medellín. Vol. 13. no. 3-4; p. 149-166.
- Machado, T. Distribución ecológica e identificación de los coleópteros acuáticos en diferentes pisos altitudinales del departamento de Antioquia. Medellín. 1989. 324 h. Tesis Biólogo. Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
- Montoya, H. A.; Contreras, C. S. y García, V. M. R. 1997. Estudio integral de la calidad del agua en el estado de Jalisco. Lerma-Santiago, Guadalajara: Comisión Nacional del Agua, Gerencia Regional. 106 p.
- Morales Zapata, Guillermo. 1984. Índices de calidad del agua y el río Medellín. En: Revista AINSA. Vol. 4, no. 2; p. 9-21.
- Posada, J. A.; Roldán, G. y Ramírez, J. J. 2000. Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de las aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. En: Revista de Biología Tropical. Vol. 48, no. 1; p. 59-70.
- Roldán, G. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Bogotá: Fondo FEN. 217 p.
- Tebbutt, T. H. 1998. Fundamentos de control de localidad del agua. México: Limusa. 240 p.
- Universidad de Antioquia – Posgrado de Ambiental. 2003. Caracterización cualitativa y cuantitativa de Fuentes hídricas en la jurisdicción de Corantioquia: río Amagá y quebrada El Limonar. Medellín: Corantioquia - Universidad Nacional de Colombia. 2 Tomos.
- Water Works Association. 1999. Calidad y tratamiento del agua. Manual de suministros de agua comunitaria. Quinta Edición. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España. 1245 p.