

# *Mapificación y análisis de la distribución espacial de organismos indicadores de la calidad del agua en la quebrada la Ayurá (Envigado, Antioquia)*

## *Mapping and spatial analysis of the distribution of indicator organisms for water quality in the stream of Ayura (Envigado, Antioquia)*

Recibido para evaluación: 27 de Mayo de 2010  
Aceptación: 30 de Marzo de 2011  
Recibido versión final: 14 de Abril de 2011

Adriana Guerra Rojas.<sup>1</sup>  
Néstor Jaime Aguirre Ramírez.<sup>2</sup>  
Orlando Caicedo Quintero.<sup>3</sup>

### RESUMEN

Esta investigación evalúa y analiza la distribución espacial de las comunidades de perifiton y macroinvertebrados acuáticos utilizados en la determinación de la calidad del agua, considerando los trabajos realizados previamente por el grupo GAIA de la Universidad de Antioquia sobre la Quebrada Ayurá.

Se emplearon las funciones de modelos hidrológicos, preestablecidos en la herramienta SIG, con las cuales se realizó el trazado de la red de corriente. A través de la superposición de capas temáticas, se obtuvo una herramienta cartográfica que permitió determinar la relación entre los usos del suelo dados a las zonas aledañas donde se ubicaron las estaciones de muestreo y la población de organismos colectados e identificados en cada punto.

Los resultados obtenidos permiten decir que tanto las comunidades de protistas y macroinvertebrados acuáticos, como los índices establecidos, BMWP Colombia, Dinius e INSF, señalan una buena calidad del recurso hídrico para la estación 1, en donde se presentan bosques de coníferas, rastrojos altos y bajos; en la estación 2 se tiene una calidad aceptable, y allí se observan algunas construcciones, pastos y monocultivos; finalmente en la estación 3, ubicada en la zona urbana, la calidad es inferior a las anteriores estaciones.

**Palabras Claves:** Mapificación, SIG, Bioindicación, Macroinvertebrados acuáticos, protistas,

### ABSTRACT

This research evaluates and analyzes the spatial distribution communities of periphyton and aquatic macroinvertebrates used in determining water quality, considering the work done previously by de GAIA group at the University of Antioquia on water stream Ayurá.

We used the functions of hydrological models preset into GIS tool, which was conducted the layout of the stream netting with. Through the overlay of thematic layers, was obtained a mapping tool that allowed us to determine the relationship between land uses given to near areas where the sampling stations were located and the population of collected organisms, they were identified at each point.

The results allow us to say that, both communities of protists and aquatic macroinvertebrates as indexes established, BMWP Colombia, Dinius and INSG, show a good quality of water resources for the station 1, which are coniferous forest, high and low stubbles; in station 2, it has an acceptable quality, and it has been noticed some buildings there, pastures and monocultures; finally at station 3, located in urban areas, the water quality is lower than previous stations.

**Key Words:** Mapping, GIS, Bioindication, aquatic Macroinvertebrates, Protists.

---

1. Ingeniera Sanitaria, Posgrado en Medio Ambiente y Geoinformática, grupo GAIA, facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

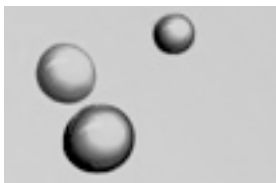
2. Dr., Docente Investigador del grupo GAIA, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

3. Docente Investigador del grupo GAIA de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia.

angelgr83@yahoo.es  
naguirre@udea.edu.co  
ocaicedo@udea.edu.co

## 1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas acuáticos soportan una gran diversidad de organismos, por lo que los impactos como la contaminación inducen a cambios en la estructura de las comunidades, la función biológica de los sistemas acuáticos y el propio organismo, afectando su ciclo de vida, crecimiento y su condición reproductiva (Bartram y Ballance, 1996). Por este motivo, algunos organismos pueden proporcionar información de cambios físicos y químicos en el agua, ya que a lo largo del tiempo revelan modificaciones en la composición de la comunidad.



En un intento por explicar los cambios fisicobióticos en una corriente de agua, se han propuesto conceptos generales sobre la estructura de los ríos que pueden ser aplicables a los estudios de la ecología de estos ambientes (Aguirre, 2004). Entre estos conceptos cabe resaltar el del río como un continuum propuesto por Vannote et al, (1980), que es un importante aporte al estudio de los ecosistemas acuáticos lóticos y describe los cambios bióticos desde el nacimiento hasta la desembocadura del río, como una respuesta a los gradientes establecidos por las condiciones físicas del biotopo. Este concepto requiere una visión del ambiente lótico como una corriente ininterrumpida (Ward y Stanford, 1983).

La bioindicación consiste en evaluar la calidad de un ambiente ecológico determinado a través de los organismos que viven adaptados a él (Roldán, 2001). Las respuestas de estas comunidades acuáticas frente a las perturbaciones ambientales son útiles para evaluar los impactos negativos de los distintos tipos de contaminación, principalmente los provenientes de residuos municipales, agrícolas e industriales sobre los cursos de aguas superficiales (Rosenberg y Resh, 1993).

Los métodos biológicos y fisicoquímicos son complementarios en los procesos de evaluación de la calidad de las aguas: los primeros representan las características de una calidad biológica, y los segundos, una serie de propiedades que tienen que ver con la precisión y determinación de las sustancias contaminantes (Sawyer, 2000).

Es así como los macroinvertebrados acuáticos han sido utilizados con mayor frecuencia en los estudios relacionados con la contaminación de los ríos, como indicador de las condiciones ecológicas o de la calidad de las aguas. Ghetti y Bonzzi (1981) consideran los macroinvertebrados acuáticos como los mejores bioindicadores de la calidad del agua. Les siguen, en su orden, las algas, los protozoos, las bacterias y en menor grado, los peces, las macrófitas, los hongos y los virus (Pratt, 1998).

Las investigaciones realizadas por Aguirre et al. (2008), González (2008) y Valverde et al. (2009), tendientes a determinar la calidad del agua en la quebrada La Ayurá, se hicieron mediante la utilización de las algas, los protozoos de vida libre y los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de contaminación orgánica del agua. Estos organismos se relacionaron con algunas variables fisicoquímicas, tales como alcalinidad total, dureza total, DBO, turbiedad, y microbiológicas como coliformes totales y coliformes fecales. Las variables temperatura del agua, pH, oxígeno disuelto, % de saturación, conductividad eléctrica y sólidos disueltos se determinaron in situ, con el fin de obtener una aproximación a los contaminantes provenientes de las diferentes acciones generadas por el hombre o como resultado de procesos ambientales que pueden estar asociados a la ausencia y/o abundancia de estos organismos (Aguirre et al., 2008).

En la realización de estos estudios ambientales, es necesario obtener una visión conjunta e integrada del territorio que permita la racionalización de las actividades antrópicas dentro del mismo. Es precisamente en esta tarea de cuantificación de impactos y riesgo, de tratamiento conjunto de la información, donde los Sistemas de Información Geográficos se han configurado como herramientas útiles para las tareas de planeamiento territorial (Gómez, 1992). Así como las herramientas fundamentales de la tecnología SIG facilitan el manejo eficiente de la información gráfica, y como también las herramientas de análisis espacial permiten incorporar al sistema todas las características que describen los diferentes elementos, examinarlas, compararlas y cruzarlas de múltiples formas (IGAC, 1995).

Sobre esta base, es posible superponer cada uno de los mapas temáticos para su posterior análisis, lo que permite, en el caso de los estudios a cuerpos de agua, realizar una gestión integrada del recurso hídrico, pues permite abarcar varios elementos, tal como se ha mencionado antes, cartografía y los atributos relacionados (Gómez, 1992).

Para esta investigación se utilizaron las ventajas y facilidades ofrecidas por los Sistemas de Información Geográficos, sistematizando, articulando y analizando la distribución espacial de la cuenca objeto de estudio con la información disponible, proveniente de los trabajos realizados por Aguirre *et al.*, (2008), González (2008) y Valverde *et al.* (2009), en los cuales se evaluó la calidad del agua a través del comportamiento de los protistas y macroinvertebrados acuáticos recolectados en la quebrada La Ayurá, a la vez que se caracterizó el agua superficial de la misma, aplicando índices de calidad e índices bióticos. Dicho estudio proporciona herramientas para realizar una adecuada gestión del recurso hídrico.

## 2. METODOLOGÍA

Se procedió a recolectar la información obtenida en 3 muestreos previamente realizados en los meses de noviembre de 2007, enero y febrero de 2008, en tres estaciones ubicadas en la parte alta, media y baja de la quebrada La Ayurá: La estación 1 se ubicó aguas arriba del Ecoparque el Salado (coordenadas N 06°07'5.68" y W 75°33'7.78") a 1875 m.s.n.m. La zona se caracteriza por ser un lugar de recreación abierta, con asentamientos dispersos y lugares de cría de trucha. (Aguirre *et al.*, 2008, González, 2008, Valverde *et al.*, 2009).

La estación 2 se encuentra en las inmediaciones del barrio Rosellón (coordenadas N 06°09'3.97" y W 75°34'7.80") a 1678 m.s.n.m. La zona está en proceso de urbanización, siendo afectada por la descarga de productos de la construcción, en especial arenas que modifican las características físicas del agua. El sitio presenta abundante vegetación, con guadua (*Guadua angustifolia*) de mayor tamaño en la margen izquierda, con distribución continua y arbustos en la margen derecha con distribución espaciada; la llanura de inundación es asimétrica, con alta pendiente en la margen derecha, y aguas arriba del sitio de muestreo, la llanura de inundación es simétrica (AUSRIVAS, 2002).

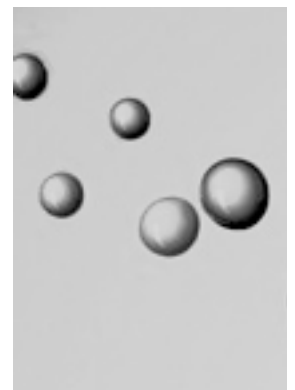
La estación 3 se localizó en el barrio Los Sauces (Antes del puente de la avenida El Poblado sobre la quebrada, coordenadas N 06°10'8.12" y W 75°34'8.76") a 1523 m.s.n.m. La zona está totalmente urbanizada e influenciada por el paso peatonal y de automotores.

A continuación, se revisó la información recopilada de las investigaciones previas realizadas por Aguirre *et al.* (2008), González (2008) y Valverde *et al.* (2009), con el fin de determinar su utilidad en el proyecto, es decir, cuáles datos podrían representarse dentro de un mapa de calidad del recurso hídrico, para su clasificación y posterior localización en el mismo.

Los datos recopilados se ubicaron en un mapa de la cuenca de la quebrada La Ayurá, utilizando las aplicaciones de la herramienta ArcGIS Desktop, versión 9.3, con nivel de licenciamiento ArcView, en las tres estaciones georreferenciadas, asignando a cada estación los atributos correspondientes, tales como, coordenadas, protistas y macroinvertebrados acuáticos colectados e identificados en cada una, variables fisicoquímicas y los índices de calidad que posteriormente se establecieron con base en el estudio de las comunidades acuáticas: protistas y macroinvertebrados.

Se analizaron los datos clasificándolos para su almacenamiento en una base de datos geográfica; las estaciones se ubicaron en el mapa utilizando el método de adición de puntos y convirtiendo las coordenadas geográficas a coordenadas planas; posteriormente se les asignaron los atributos correspondientes a las variables fisicoquímicas analizadas como temperatura, oxígeno disuelto, CO<sub>2</sub>, pH, conductividad eléctrica, dureza total, alcalinidad total, sólidos disueltos, turbiedad, % de saturación, nitratos, fosfatos, cloruro y color verdadero, al igual que los datos de las comunidades de protistas y macroinvertebrados acuáticos, e índices calculados, con el fin de establecer relaciones entre los mismos, así como para modelar fenómenos geográficos y obtener la solución de algunas preguntas relacionadas con la gestión adecuada del recurso hídrico. Se realizó un estudio de la corriente basado en el concepto de tomar el río como un continuum propuesto por Vannote *et al* (1980).

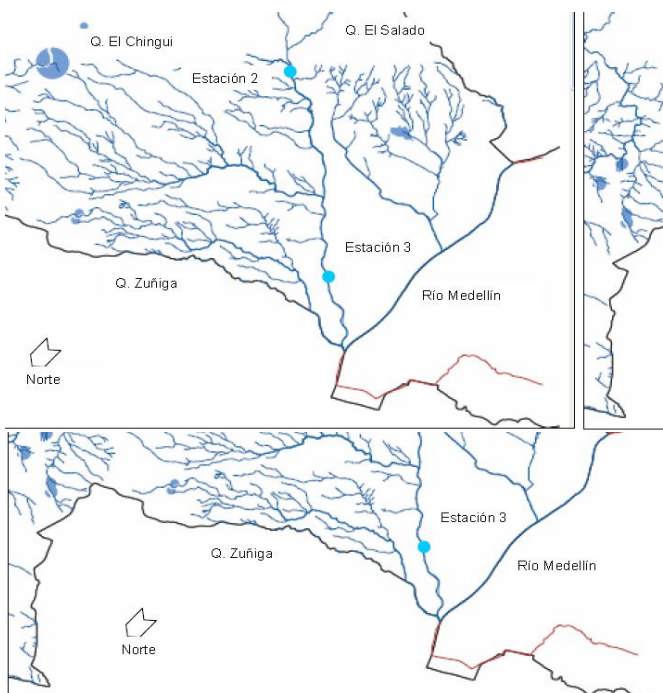
Se elaboró un Diagrama de Flujo Acumulado que permitió determinar los principales drenajes aportantes a la quebrada La Ayurá, y se enmarcó toda la cuenca; el resultado obtenido se cruzó con el mapa de coberturas y usos del suelo para conocer las actividades que se desarrollan en los alrededores de la quebrada y que aportan contaminantes al recurso hídrico; con esto, se pudo asociar la calidad del recurso estimada a través de los protistas y macroinvertebrados acuáticos colectados e identificados a los vertimientos generados por los usos del suelo actuales.



Se emplearon herramientas de análisis hidrológico de ArcGIS, las cuales proveen un método que permite describir las características físicas de una superficie. Utilizando un modelo de elevación digital, es posible delinear un sistema de drenaje y cuantificar las características del sistema. Estas herramientas permiten determinar, en cualquier ubicación de la cuenca, el área de contribución para un punto de interés y la cantidad de agua que puede recibir dicho punto.

### 3..RESULTADOS Y DISCUSION

En la figura 1, se puede observar la localización de los tres sitios de muestreo que se establecieron con el fin de evaluar la calidad del recurso hídrico mediante la toma de muestras en los meses de noviembre de 2007, enero de 2008, y febrero de 2008.



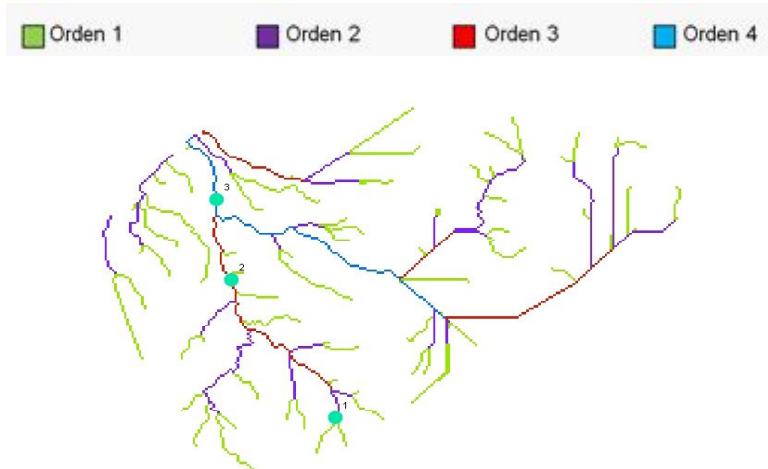
**Figura 1:** Ubicación de las estaciones de muestreo quebrada La Ayurá (Plan de Ordenamiento Territorial de Envigado, Antioquia, 2008)

Una geodatabase (GDB) es un modelo que permite el almacenamiento físico de la información geográfica. En este caso, el modelo constó de capas temáticas reunidas tales como usos del suelo en el área urbana y rural, curvas de nivel, drenajes, división político-administrativa de veredas y de barrios, sumado a la información de las investigaciones previas con la cual se crearon las tablas con los datos de variables fisicoquímicas, protistas, macroinvertebrados acuáticos, índices de calidad del agua, índices basados en protistas e índices basados en macroinvertebrados acuáticos (Tabla 1).

Nombre	Formato	Tipo	Detalles
Actual_Rural	shp	Secundario	Usos del Suelo en el Área Rural
Actual_Urbano	shp	Secundario	Usos del Suelo en el Área Urbana
Barrios	shp	Secundario	División Político_Administrativa
Coberturas_generales	shp	Secundario	Clasificación por uso actual
Curvas	shp	Secundario	Líneas de Nivel
Drenajes	shp	Secundario	Líneas de fuentes hídricas
Veredas	shp	Secundario	División Político_Administrativa
Estaciones	dbf	Primario	Unidad georreferenciada
Fisicoquimicos	dbf	Primario	Variables fisicoquímicas determinadas.
Indices_Calidad	dbf	Primario	Índices calculados
Indices_Macroinvertebrados	dbf	Primario	Índices calculados basados en macroinvertebrados
Indices_Protistas	dbf	Primario	Índices calculados basados en protistas
Macroinvertebrados1	dbf	Primario	Organismos muestreados
Protistas1	dbf	Primario	Organismos muestreados

**Tabla 1:** Inventario de Fuente de Datos utilizados en la Base de Datos.

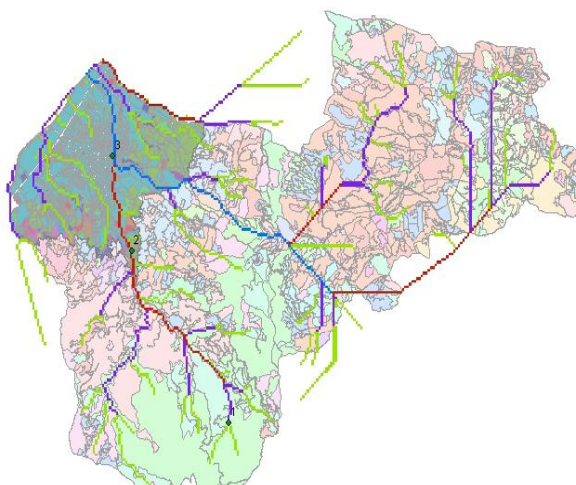
En la figura 2 se muestra el orden de la red de drenaje hallada utilizando la herramienta orden de drenajes (Stream order) para la cuenca de la quebrada La Ayurá; el resultado se presenta utilizando el método de Strahler proporcionado por el sistema. Sobre la quebrada pueden observarse las 3 estaciones muestreadas. El orden de las corrientes se representa con colores diferentes así:



**Figura 2:** Orden de los drenajes establecidos en la cuenca de la quebrada La Ayurá, por el método de Strahler.

Los Sistemas de Información Geográfica nos permiten observar la ubicación de las estaciones y realizar un análisis sobre la posible entrada de contaminantes a la corriente, en proveniencia de las actividades que se desarrollan en el entorno de las mismas, a través de la comparación con los usos del suelo establecidos en la cuenca de la quebrada La Ayurá. Esta herramienta facilita la obtención de un mapa de calidad de agua de la corriente relacionando la información existente sobre características fisicoquímicas y organismos muestreados como protistas y macroinvertebrados acuáticos.

En la figura 3, se observa la superposición de las capas de la red de flujo acumulado y los usos del suelo, en la cual puede establecerse la relación de los usos del suelo que se presentan en las zonas aledañas a los puntos muestreados o a las fuentes hídricas que descargan sobre los mismos puntos.



**Figura 3:** Superposición de la red de drenaje sobre la capa temática de usos del suelo del municipio de Envigado.

Puede apreciarse cómo la estación 1 se ubicó sobre corrientes de orden 2, en el punto donde se reúnen dos corrientes de orden 1. Al comparar con el estado de la calidad del agua hallado mediante el análisis de los microorganismos muestreados tales como protistas y macroinvertebrados acuáticos, se tiene que ésta es un agua de buena calidad. Esta apreciación se relaciona con los usos del suelo que se presentan en los alrededores de la estación, entre los cuales se encuentran



rastrojos altos, bosques de coníferas y rastrojos bajos. Este tipo de coberturas vegetales contribuye a la conservación de la calidad y la cantidad de oferta del recurso hídrico. La densidad de ocupación de la cuenca a esta altura es baja, y es aquí donde se presentan las mejores condiciones en lo que respecta a características fisicoquímicas, pues exhibe los niveles de oxígeno disuelto más altos, determinados durante el tiempo de muestreo, al igual que valores altos de saturación de oxígeno; en contraste, se tienen los mínimos valores de alcalinidad, nitratos, fosfatos y  $\text{CO}_2$ .

La estación 2 se ubicó sobre una corriente de orden 3, en un punto donde se reciben descargas de varias fuentes hídricas que pueden aportar algunos elementos que modifiquen las características del agua. Al evaluar la calidad del recurso en este punto, se evidencia un deterioro de las condiciones ambientales con respecto a la estación 1, pues disminuye la cantidad de morfotipos de macroinvertebrados acuáticos.

Con respecto a los usos del suelo que se presentan en cercanía de la estación 2 o de las fuentes hídricas que descargan sobre la corriente donde se ubica esta estación, se tienen monocultivos, pastos con malezas, rastrojos altos y bajos, bosques de coníferas, arborizaciones, cultivos permanentes y algunas construcciones que contribuyen al deterioro de la calidad del agua con el aporte de sólidos y contaminantes que modifican las características fisicoquímicas. La pérdida de cobertura vegetal y la desprotección del suelo puede causar el aporte de sedimentos a la fuente hídrica superficial, lo que se ve confirmado con el aumento de la turbiedad, la conductividad eléctrica y los sólidos determinados para este punto, con respecto al anterior.

La estación 3 se ubica sobre una corriente de orden 4, que recibe el aporte proveniente de las estaciones anteriores más la descarga de otras fuentes hídricas. En este punto, se presenta el mayor deterioro del recurso hídrico tal como lo expresan la mayoría de las variables estudiadas (González, 2008).

La comunidad de macroinvertebrados acuáticos encontrados en la estación 2 permite inferir que la calidad en esta zona se encuentra entre un rango ambiental de buena calidad a moderada contaminación, mientras que el tipo de macroinvertebrados acuáticos determinados en la estación 3 evidencia un mayor deterioro de la calidad del agua en ese punto.

La estación 3 está dentro del área urbana del municipio donde predominan las construcciones, con presencia de algunas zonas verdes, pastos, bosques urbanos y monocultivos. Con respecto a las variables fisicoquímicas valoradas, se tiene que la conductividad eléctrica muestra una tendencia ascendente, de estación en estación; esta variable se ve influenciada por los sólidos totales que aumentan con el recorrido del agua, dado que, a medida que se avanza en las estaciones, se va perdiendo cobertura vegetal y los usos del suelo se van modificando hacia pastos o monocultivos y urbanizaciones que pueden aportar una mayor cantidad de sólidos al agua, sin contar con los vertimientos puntuales de aguas residuales sin previo tratamiento, que contribuyen al deterioro del cuerpo de agua.

De acuerdo con los índices INSF, BMWP Colombiano y Dinius, evaluados por González (2008), se estableció un rango de calidad, el cual se representa con colores. Dicha representación puede observarse en las figuras 4, 5 y 6, donde, de acuerdo con el BMWP establecido para Antioquia, en la estación 1 se tiene una buena calidad del agua, la cual se representa con color azul; para las estaciones 2 y 3 se obtuvo una calidad aceptable a la cual se asigna el color verde (figura 4).

Teniendo en cuenta los resultados arrojados por el índice de Dinius, éste no presentó variaciones espacio- temporales y su valor determina que la calidad del agua es dudosa. Por lo tanto se representa a lo largo de toda la corriente con color amarillo (figura 5). Finalmente, al considerar la figura 6 en la cual se presenta el valor calculado para el INSF, en la estación 1 se refleja una buena calidad del agua a la cual se le asigna el color verde; en las estaciones 2 y 3, se tiene una calidad regular representada por el color amarillo. Las Tablas 2, 3 y 4 muestran los valores entre los que oscilan los índices y el color que les corresponde, de acuerdo con la calidad del agua que representan.





**Figura 4:** Red de drenaje del municipio de Envigado donde se señala la quebrada La Ayurá con los colores indicadores de la calidad resultantes del análisis del BMWP para Colombia.

Muestreo	Estación	BMWP Internacional		BMWP Colombiano		Color
		Valor	Clasificación	Valor	Clasificación	
Noviembre 2007	E1	61	Aceptable	94	Aceptable	Verde
	E2	51	Dudosa	50	Dudosa	Amarillo
	E3	46	Dudosa	66	Aceptable	Verde
Enero 2008	E1	75	Aceptable	109	Buena	Azul
	E2	64	Aceptable	77	Aceptable	Verde
	E3	63	Aceptable	83	Aceptable	Verde
Febrero 2008	E1	90	Aceptable	138	Buena	Azul
	E2	58	Dudosa	94	Aceptable	Verde
	E3	53	Dudosa	65	Aceptable	Verde

**Tabla 2:** Resultado BMWP/ internacional y BMWP/Colombia para la quebrada la Ayurá durante el periodo de estudio  
**Fuente:** González (2008).

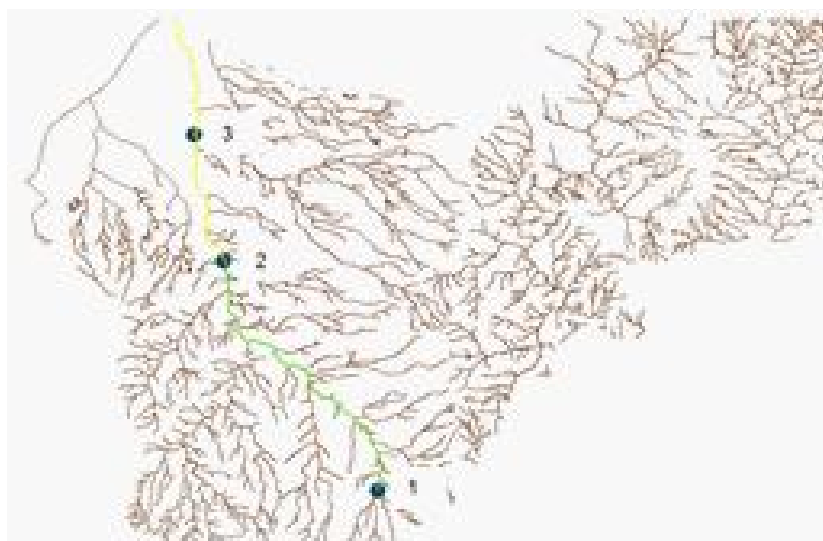


**Figura 5:** Red de drenaje del municipio de Envigado donde se señala la quebrada La Ayurá con los colores indicadores de la calidad de acuerdo con el índice de Dinius

**Tabla 3:** Resultados del Índice de Calidad de Dinius (1972) hallados en la quebrada La Ayurá  
**Fuente:** González (2008)

Muestreo	Estación	Valor	Color
Noviembre 28	1	65,38	Amarillo
	2	60,16	Amarillo
	3	55,44	Amarillo
Enero 24	1	65,73	Amarillo
	2	64,13	Amarillo
	3	58,92	Amarillo
Febrero 26	1	65,55	Amarillo
	2	58,86	Amarillo
	3	57,13	Amarillo

**Figura 6:** Red de drenaje del municipio de Envigado donde se señala la quebrada La Ayurá con los colores indicadores de la calidad de acuerdo con el INSF



**Tabla 4:** Resultados del Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento, para la quebrada La Ayurá  
**Fuente:** González (2008)

Fecha de muestreo	Estación	INSF	Calidad	Color
Noviembre de 2007	1	72,99	Buena	Verde
	2	67,99	Regular	Amarillo
	3	64,93	Regular	Amarillo
Enero de 2008	1	73,54	Buena	Verde
	2	67,01	Regular	Amarillo
	3	63,55	Regular	Amarillo
Febrero de 2008	1	68,53	Regular	Amarillo
	2	60,92	Regular	Amarillo
	3	54,85	Regular	Amarillo

Al evaluar los índices INSF y BMWP se puede concluir que en la estación 1 se presenta una buena calidad del recurso hídrico, pero regular en las estaciones 2 y 3. Estos resultados guardan una estrecha relación con la dinámica de los macroinvertebrados acuáticos. Caso contrario sucede con el índice de Dinius, el cual no presenta ninguna variación espacial ni temporal, para todo el período de muestreo, calificando la fuente como de calidad regular.

En relación con los valores reportados por los índices de calidad basados en el análisis de la comunidad de protistas hallados y de diversidad se pudo establecer que la cuenca presenta una calidad de agua de regular a mala y las comunidades no presentan una dominancia de especies. Por el contrario, muestran una diversidad asociado al estado mesosapróbico.

Diferentes obras remarcan el paralelismo existente entre la sucesión ecológica y la organización



espacial de los ríos (Margalef, 1956), que desde el punto de vista químico implicaría la atenuación de las fluctuaciones ambientales con respecto a la composición del agua. Esto indica que ciertos impactos producidos en zonas de cabecera originan un mayor distanciamiento químico entre las estaciones próximas que los debidos a los distintos vertidos que se efectúan en los tramos inferiores del cauce. Es decir: cualquier perturbación de tipo antrópico introducida al biotopo en la estación 1 podría afectar la calidad del agua en la quebrada La Ayurá, de manera más significativa que una aguas abajo.

## 4. CONCLUSIONES

La aplicación de los sistemas de Información geográficos, específicamente la herramienta ArcGIS en el análisis de la información disponible sobre la quebrada La Ayurá, permitió establecer la similitud existente entre todos los análisis realizados sobre características fisicoquímicas, protistas, macroinvertebrados acuáticos, e índices de calidad, a través de la superposición de las respectivas capas temáticas generadas y las relaciones establecidas entre las tablas componentes de la base de datos, en los que se señala la estación 1 como de buena calidad y las estaciones 2 y 3 de una calidad regular.

La construcción de un mapa de zonificación cualitativa de los organismos indicadores de la calidad del agua y los parámetros fisicoquímicos evaluados en la quebrada La Ayurá del municipio de Envigado se convierten en una herramienta útil para el control de los impactos ambientales presentados en dicha cuenca a la vez que se constituye en una herramienta para una gestión adecuada del recurso hídrico, a partir de la cual pueden establecerse estrategias para la conservación del mismo.

Al utilizar la herramienta para comparar los resultados de los diferentes índices de calidad del agua establecidos como los índices bióticos y de diversidad y sus componentes, se confirma que el agua está moderadamente contaminada en las estaciones 2 y 3, lo que a su vez se relaciona con los valores de las variables fisicoquímicas tales como sólidos disueltos, alcalinidad total, dureza total y turbiedad, y con el comportamiento de los macroinvertebrados.

Teniendo en cuenta lo representado en las figuras 4, 5 y 6, se puede decir que de los índices analizados, el de calidad de agua de Dinius (figura 5) fue el único que no presentó variabilidad espacial ni temporal en sus resultados, y se representa en el sistema de drenaje de la quebrada La Ayurá con un color amarillo.

De acuerdo con los resultados arrojados en esta investigación, los estudios donde se involucran los Sistemas de Información Geográficos para generar mapas en los que se relacionen diferentes variables que permitan analizar la calidad de un cuerpo de agua, son útiles y convenientes al momento de realizar una gestión adecuada del recurso hídrico y la planificación del desarrollo en torno al mismo, pues se convierten en elementos que permiten encontrar aproximaciones a posibles fuentes contaminantes, para establecer medidas de control sobre la prevención del deterioro del cuerpo de agua, la pérdida de la oferta hídrica y de los servicios ambientales que presenta la fuente hídrica en la cuenca.

## REFERENCIAS CITADAS

- Aguirre, D., Aguirre, N. y Caicedo, O., 2008. Evaluación de la calidad del agua a través de las algas y los protozoos de vida libre en la quebrada La Ayurá. Municipio de Envigado- Antioquia. **Revista Producción más Limpia**. Enero a Junio de 2008, Vol 3. Pag 50– 60.
- Aguirre, N., 2004. Principales aspectos fisicobióticos de la microcuenca de la quebrada La Vega que la constituyen como un ecosistema. En Aguirre, N., Palacio, J., y Wills, T., Caracterización de los principales aspectos fisicobioticos de la microcuenca de la quebrada La Vega, municipio de San Roque, Antioquia. Primera edición. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín. P. 147
- AUSRIVAS Physical Assessment Protocol Field Data Sheets.2002.



- Bartram, J., y Balance, R., 1996. Water Quality Monitoring. 1ª Edición. UNEP/WHO. Gran Bretaña.
- Caicedo, O., Palacio, J., Aguirre, N., 2004. Macroinvertebrados En: Aguirre, N., Palacio, J. & Wills, T., 2004. Caracterización de los principales aspectos fisicobioticos de la microcuenca de la quebrada La Vega, municipio de San Roque, Antioquia. Primera edición. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín. P. 147
- Enviromental Systems Research Institute (ESRI), 2002. What is ArcGis?. 76 páginas.
- Fernández, N. y Solano, F., 2005. Índices de calidad y de contaminación del agua. Universidad de Pamplona. 142 p.
- Gómez, F., 1992. Los Sistemas de Información Geográfica. Su Importancia y su Utilidad en los Estudios Medioambientales. Donostia.
- González, V., 2008. Evaluación de la calidad del agua de la quebrada la Ayurá mediante la aplicación de índices de calidad, ICAs e índices de bióticos. Trabajo de Grado Universidad de Antioquia.
- GWP (Asociación mundial para el agua) y TAC (Comité de Consejo Técnico), 2000. Manejo Integrado del Recurso Hídrico. Global Water Parnertship. Estocolmo, SE. 76 p.
- IGAC, 1995. Conceptos Básicos sobre Sistemas de Información Geográfica y aplicaciones en Latinoamérica. Bogotá.
- Instituto von Humboldt. Disponible en internet [www.unisig.es](http://www.unisig.es)
- Margalef, R., 1956. Información y diversidad específica en las comunidades de organismos. Investigación pesq., 3: 99- 106.
- Prat, N., 1998. Bioindicadores de calidad de aguas. En: Manuscritos del curso Bioindicadores de calidad de aguas. Universidad de Antioquia, Medellín
- Roldan, G., 2001. La bioindicación y la calidad del agua. Revista **Universidad Católica de Oriente**. Volumen 13. N° 14. P. 37– 50.
- Rosenberg, D. M. y Resh, V. H., 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall, N.Y. 488 pp.
- Sawyer, C., 2000. Química para ingeniería ambiental. Editorial Mc Graw Hill. Bogotá, Colombia.
- Valverde, N., Aguirre, N. y Caicedo, O., 2009. Análisis de Calidad de agua de la quebrada La Ayurá con base en variables fisicoquímicas y macroinvertebrados acuáticos. Universidad de Antioquia. **Revista Producción más Limpia**. Enero a Junio de 2009, Vol. 4, N° 1. P. 44– 60.
- Vannote, R., Minshall, W., Cummins, K., Sedell, J. y Cushing, C., 1980. The River Continuum concept. Can.J.Fish. Aquat. Sci 37: 130- 137.
- Ward, J. V., y Stanford, J. A., 1983- 1984. The serial discontinuity concept of Lotic Ecosystems. En: Fontaine, T.D. y S.M. Bartell (eds), Dynamics of Lotic Ecosystems, 29- 42

