

Aplicación de tres índices bióticos en el río San Juan, Andes, Colombia

Mailedt Paola Murillo Torrentes,^{1*} Orlando Caicedo Quintero,¹ Esnedy Hernández Atilano,¹ Heazel Grajales Vargas,¹ Jenny A. Mesa V.,² Fernando A. Cortés,² Fabio de Jesús Vélez Macías,¹ Néstor Jaime Aguirre Ramírez^{1*}

¹Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental, Grupo GeoLimna calle 67 N° 53-108 Medellín, Colombia.

²Universidad de Antioquia, seccional Suroeste, Andes, Antioquia, Colombia

Autor para correspondencia: grupogeolimna@udea.edu.co

RESUMEN

Durante los meses de febrero, mayo, agosto y octubre del año 2014, se evaluó la calidad del agua del río San Juan. Para tal fin se establecieron seis puntos de muestreo donde se recolectaron muestras de agua y macroinvertebrados acuáticos para los análisis fisicoquímicos e hidrobiológicos. Se aplicaron y modificaron los índices bióticos EPT (efemerópteros, plecópteros, tricópteros), BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party) y ASPT (Average Score per Taxon) basados en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos capturados. Los resultados de las variables fisicoquímicas y los índices bióticos indican que las estaciones E1 y E2 son las que presentan menor grado de contaminación, en las demás estaciones disminuye considerablemente la calidad del agua debido a las actividades económicas desarrolladas en el sector y a su cercanías con el casco urbano del municipio de Andes. De los tres índices analizados, el ASPT modificado y adaptado al río San Juan es el que mejor se relaciona con las condiciones ambientales del río en tanto las características de los macroinvertebrados acuáticos recolectados y analizados en el trayecto objeto de estudio.

Palabras clave: río San Juan, variables fisicoquímicas, macroinvertebrados acuáticos, índices bióticos, calidad del agua.

Editor: Hernández Fernández, J.
javier.hernandez@utadeo.edu.co

Citation: Murillo-Torrentes, M.P., Caicedo-Quintero, O., Hernández-Atilano, E., Grajales Vargas, H., Mesa, J.A., Cortés, F.A., Vélez-Macías, F. Aguirre-Ramírez, N.J. (2016). Aplicación de tres índices bióticos en el río San Juan, Andes, Colombia. *Mutis* 6(2), 59-73, doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1151>

Received: Junio 28, 2016. **Accepted:** Julio 30, 2016. **Published on line:** Septiembre 30, 2016.

Copyright: ©2016: Murillo-Torrentes, M.P., Caicedo-Quintero, O., Hernández-Atilano, E., Grajales Vargas, H., Mesa, J.A., Cortés, F.A., Vélez-Macías, F. Aguirre-Ramírez, N.J. This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Competing Interests: The authors have no conflict of interest.

Application of three biotic indexes in the river San Juan, Andes, Colombia

ABSTRACT

During the months of February, May, August and October 2014, the water quality of the San Juan River was assessed. To this aim, six sampling points were established, where water samples and macroinvertebrates for physical-chemical and hydrobiological analysis were collected. Three biotic indexes were applied and one modified: EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera), BMWP /



Col (Biological Monitoring Working Party) and ASPT (Average Score per Taxon) based on the captured communities of aquatic macroinvertebrates. The results of the physical-chemical variables and biotic indexes indicate that E1 and E2 stations are those with lower degree of contamination, other stations considerably decreased water quality due to economic activities around, and the short distance with the urban municipality of Andes. Of the three indexes analyzed, modified and adapted, ASPT the San Juan River has the best approximation between the environmental conditions of the river and the characteristics of the aquatic macroinvertebrates collected and analyzed on the route under study.

Keywords: San Juan River, physicochemical variables, aquatic macro-invertebrates, biotic indexes, water quality.

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua es un tema de gran interés para los países desarrollados y subdesarrollados debido a la expansión de las fronteras agrícolas e industriales, al crecimiento poblacional y a la amenaza de cambio climático como causa de alteraciones al ciclo hidrológico (ONU-DAES, 2015). Un ecosistema es el resultado de las interacciones entre los seres vivos y las condiciones físicas y químicas existentes en un hábitat acuático, siendo este el más afectado, no solo por los cambios climáticos, sino además por las intervenciones del ser humano, dichas intervenciones han sido generadas por actividades tales como la minería, la agricultura, la ganadería extensiva, y el uso inapropiado de pesticidas y plaguicidas en los cultivos, cuyos componentes tienen como destino final los ambientes acuáticos debido a fenómenos naturales como la escorrentía. Esto, sin contar con las descargas de aguas residuales por parte del creciente desarrollo de las poblaciones y asentamientos urbanos dentro de las cuencas hidrográficas (Zapata, 2014).

Uno de los requerimientos que necesitan ser enfrentados para realizar un diagnóstico de las condiciones ambientales de un cuerpo de agua y establecer el estado de saprobiedad, es la definición de metodologías que relacionan variables físicas, químicas y biológicas (Roldán, 2003). Entre las metodologías propuestas se encuentra la medición de variables físicas tales como el caudal y la velocidad de la corriente, variables químicas

como las concentraciones de oxígeno disuelto, el pH, la conductividad eléctrica y la demanda química de oxígeno. Como complemento se usan los índices basados en la presencia y abundancia de organismos entre los cuales se encuentran algas, virus, protozoos, bacterias, peces, macrófitas y macroinvertebrados acuáticos (Ladrera, *et al.*, 2013).

En este estudio se evaluó la calidad del agua del río San Juan en seis estaciones y cuatro campañas de muestreo realizadas en el año 2014 mediante la aplicación de los índices bióticos BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party), ASPT (Average Score per Taxon) y el EPT (efemerópteros, plecópteros y tricópteros), determinando las posibles variaciones espaciotemporales de la calidad del agua del río y su asociación a las posibles afectaciones o alteraciones de las condiciones del río.

METODOLOGÍA

Área de estudio

La cuenca del río San Juan se localiza en el suroeste antioqueño, nace aproximadamente a 4000 msnm en el cerro de Paramillo con el nombre de Docató, al descender a los 1400 msnm recorre los municipios de Andes, Jardín, Bolívar, Salgar, Hispania y Betania (Municipio de Andes, 2000). En esta cuenca el uso de plaguicidas, herbicidas y demás químicos utilizados en la agroindustria del café presenta un importante impacto en la calidad del agua del río (Departamento Administrativo de Planeación, 2009). Según el Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado Urbano de Andes (Municipio de Andes, 2000), las principales problemáticas que enfrenta el río San Juan son las actividades agrícolas, los vertimientos de aguas residuales domésticas y la falta de planificación y conciencia ambiental, lo que conlleva a la contaminación y manejo inadecuado del recurso.

Ubicación de las estaciones de muestreo

Para definir el número y localización de las estaciones de muestreo se realizó una visita de reconocimiento donde se establecieron seis puntos que involucraran aspectos naturales y de impacto en el río San Juan, de esta forma se ubicaron dos puntos iniciales antes del casco urbano del municipio de Andes, dos intermedios finalizando el casco urbano y dos después del casco urbano del pueblo en cercanía a la desembocadura del

río San Juan en el río Cauca. La localización de cada estación de muestreo se muestra en la tabla 1 con sus

respectivas coordenadas y una breve descripción de las zonas.

Tabla 1. Coordenadas de las estaciones de muestreo

N°	Nombre de la estación	Coordenadas		Descripción
		Norte	Oeste	
E1	Charco Corazón	5° 35' 12,57"	75° 48' 44,78"	Pocos asentamientos humanos, se observaron algunas descargas de aguas residuales y sitios destinados a la recreación.
E2	Aguas arriba de la quebrada La Chaparrala	5° 38' 58,52"	75° 52' 28,79"	Existen asentamientos humanos ubicados al margen izquierdo de la corriente, descargas directas de aguas residuales domésticas. Se desarrollan actividades domésticas como son el lavado de ropa y utensilios de cocina.
E3	Comfenalco	5° 41' 20,35"	75° 52' 37,54"	Ubicada a unos metros después del municipio de Andes, no se observaron asentamientos ni descargas directas.
E4	Universidad de Antioquia	5° 41' 26, 28"	75° 52' 44,00"	Gran presencia de rocas y arenas más finas en comparación con las estaciones anteriores. Allí se encontró localizada una cantera, afectando en gran medida el aspecto paisajístico del lugar y el lecho del río.
E5	Remolinos	5° 50' 51,80"	75° 54' 54,26"	Su cercanía con el tramo vial facilita la llegada de residuos sólidos a la fuente de agua. Presencia de grandes rocas distribuidas a lo largo y ancho del tramo lo cual es un factor que se considera, permite una alta oxigenación del agua acelerando el proceso de degradación de la materia orgánica presente en este tramo del río.
E6	Peñalisa	5° 55' 57,07"	75° 51' 35,14"	Localizada a unos metros de la desembocadura del río San Juan en el río Cauca. La margen derecha con alta vegetación arbórea, mientras que en la margen izquierda la vegetación es básicamente de matorral.

Toma de muestras. La obtención y el análisis de las muestras fisicoquímicas se hicieron de acuerdo con el procedimiento establecido en el Standard Methods

(2012). Las variables evaluadas en este estudio fueron: temperatura del agua, temperatura del ambiente, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica,

porcentaje de saturación de oxígeno, y sólidos disueltos y turbiedad (medición realizada en el sitio con la ayuda de una sonda multiparamétrica marca Hach). Para la medición de las demás variables como dureza, DQO, alcalinidad y nutrientes, se recogieron muestras de agua que fueron preservadas en hielo y llevadas al Laboratorio de Ciencias de la Tierra de la seccional Suroeste de la Universidad de Antioquia.

La recolección de los macroinvertebrados acuáticos involucró metodología cualitativa y cuantitativa. Para la ejecución cualitativa se utilizó una red triangular con el fin de capturar los organismos presentes en la vegetación de ribera, además se realizó una recolección manual de las comunidades adheridas al sustrato rocoso. Para el muestreo cuantitativo se tomaron dos réplicas en cada sitio empleando una red Surber en contracorriente (Aguirre & Caicedo, 2013). Los organismos recolectados en ambos tipos de muestreos se depositaron en recipientes plásticos fijados con alcohol al 70%, cada recipiente debidamente rotulado con fecha, estación y tipo de muestreo, se transportó al Laboratorio de Hidrobiología Sanitaria de la Universidad de Antioquia para su determinación y conteo (Aguirre & Caicedo, 2013).

La caracterización y conteo de los organismos capturados con ambos métodos (cualitativo y cuantitativo) se realizó de la siguiente manera: se depositó cada muestra en una caja de Petri y con la ayuda de un estereomicroscopio Karl Zeiss, se agruparon los organismos similares con base en sus afinidades morfológicas, teniendo como base las claves taxonómicas referenciadas por Roldán (1988; 2003); McCafferty (1981), Domínguez y Fernández (2001), Posada y Roldán (2003), y Domínguez y Fernández (2009). La información obtenida de la caracterización de los macroinvertebrados acuáticos recolectados en campo, se sintetizó en una tabla definiendo para cada organismo el orden, familia, género y toda la información necesaria para la aplicación y análisis de los índices BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party), ASPT (Average Score per Taxon) y el EPT (efemerópteros, plecópteros, tricópteros), logrando así una aproximación del estado de saprobiedad del río San Juan en los tramos objeto de estudio.

Para cumplir con uno de los objetivos propuestos en esta investigación, al índice BMWP/Col se le hicieron algunas modificaciones y se compararon los puntajes resultantes de ambas versiones.

Modificaciones realizadas al índice BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party)

En la versión del índice BMWP/Col modificado para el río San Juan, se excluyó de los resultados a *Leptonema* sp., perteneciente a la familia Hydropsychidae, debido a que *Leptonema* sp. se considera un género que habita ambientes con amplios rangos de saprobiedad (Guevara, 2004) una apreciación similar a la anotada para *Leptonema* sp., también se aplicó para descartar a *Simulium* (Diptera) de la familia Simuliidae. La presencia de estos taxa están más relacionados con el tipo y abundancia del sustrato en el cual se encuentran, ya que un sustrato rocoso le permite a *Simulium* sp. adherirse fuertemente a este, y a *Leptonema* sp. construir redes, y de esta manera ambos organismos evitan ser arrastrados por las fuertes corrientes y además les permite filtrar la materia orgánica suspendida que transportan las corrientes sometidas a esta condición hidráulica (Margalef, 1983; Domínguez & Fernández 2009; Ruiz, 2012).

De la familia Hydropsychidae se incluyó en la estructura del índice BMWP/Col modificado para el río San Juan (tabla 2) a los géneros *Smicridea* sp. y *Metrichia* sp., con un puntaje de nueve en contraste con el de siete determinado en el BMWP/Col adaptado para Antioquia por Roldán (2003). La presencia de estos taxa se relaciona con ambientes donde predomina una muy baja contaminación orgánica (Guerrero *et al.*, 2003; Caicedo *et al.*, 2004, Valverde *et al.*, 2009; Springer, 2010).

A los anélidos de la clase Oligochaeta se les asignó un puntaje de uno, ya que según Gaviria (1993) los oligoquetos alcanzan altas poblaciones en ambientes muy deteriorados. Por su lado, la familia Chironomidae se representó con un puntaje de cuatro en la versión del índice modificado para el estudio realizado en el río San Juan, en contraste con el valor de dos estipulado en el BMWP/Col. Lo anterior, teniendo en cuenta que no todos los taxa de macroinvertebrados pertenecientes a la familia Chironomidae se pueden asociar con deterioro ambiental.

Según Subodh *et al.* (2005), los dípteros de la familia Chironomidae pueden subsistir en ambientes con amplios rangos de concentraciones de oxígeno, temperatura, pH, conductividad eléctrica y velocidad de la corriente. Sin embargo, algunas referencias bibliográficas (Scheibler *et al.*, 2008; Milán *et al.*, 2011) re-

lacionan al género *Chironomus* sp. de la familia Chironomidae con presencia de materia orgánica en descomposición, razón por lo cual se incluyó este género con un valor de dos en la versión del índice BMWP/Col modificado para el río San Juan (tabla 2).

De igual manera, en la tabla 2 se incluyen dos órdenes de anélidos: oligochaeta e hirudinea, donde se asume que todos los organismos pertenecientes a estos órdenes de macroinvertebrados se relacionan con aguas muy contaminadas y por lo tanto, se les asigna valores bajos de uno y dos respectivamente en la versión modificada y adaptada para el río San Juan.

A los representantes de la familia Physidae se les concede un valor de dos, en comparación con el nivel de tres que se exhibe en el BMWP/Col de Roldán (2003).

Otras de las modificaciones tienen que ver con la familia Elmidae (Coleóptera) a la cual se le asignó un punto más en la versión modificada en comparación con el valor establecido en el BMWP/Col. Para Puig (1981), la presencia y distribución de los Elmidae se encuentra asociada a zonas con bajo grado de alteración antrópica.

La familia Baetidae se representó en la tabla 2 con un punto menos que el estipulado en el BMWP/Col. Las características ecofisiológicas de Baetodes y Camelobaetidium, dos de los tres taxa de Baetidae identificados en este estudio, fueron determinantes para la toma de esta decisión. En la tabla 2 se presenta el total de familias de macroinvertebrados acuáticos determinadas en esta investigación y los puntajes asignados a cada una de ellas.

Tabla 2. Índice biótico BMWP/Col modificado y adaptado para el río San Juan

FAMILIA	PUNTAJE
Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactilidae, Gomphidae, Perlidae	10
Ampullariidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Hydropsychidae (<i>Smicridea</i> sp., <i>Metrichia</i> sp.), Tricorythidae, Leptohyphidae, Elmidae	9
Leptoceridae, Veliidae, Glossosomatidae, Hydroptilidae	8
Calopterygidae, Planariidae (Dugesidae)	7
Corydalidae, Staphylinidae, Libellulidae, Baetidae, Helicopsychidae	6
Pyralidae	5
Stratiomyidae, Empididae, Dolichopodidae, Chironomidae	4
Psychodidae, Ceratopogonidae, Hydrophilidae, Tipuliidae.	3
Hirudinea (clase), Physidae, Chironomidae (<i>Chironomus</i> sp.)	2
Oligochaeta (clase)	1

Adicionalmente a los cambios realizados en los valores otorgados a las familias, se propuso una nueva escala de valores (tabla 3) en comparación con las establecidas en el BMWP/Col de Roldán (2003). Para la

elaboración de esta tabla se le asignó a cada clase, valores más equitativos con rangos de 24 puntos entre cada una de estas.

Tabla 3. Calidad, escala de valores, color y significado ambiental para BMWP/Col modificado y adaptado para el río San Juan

Clase	Calidad	Valor	Significado	Color
I	"Buena"	>150, 103-120	Aguas muy limpias a limpias	Azul
II	"Aceptable"	79-103	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	"Dudosa"	50-78	Aguas contaminadas	Amarillo
IV	"Crítica"	25-49	Aguas muy contaminadas	Anaranjado
V	"Muy crítica"	<24	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

La mayoría de representantes del orden Ephemeroptera durante su estado de ninfa viven en aguas corrientes limpias con altas concentraciones de oxígeno disuelto (Roldán 1988). Los plecópteros al igual que los tricópteros habitan en corrientes de buena calidad (Roldán, 1988; Springer 2010). Dado que dentro de los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera existen algunos organismos que pueden tolerar cierto grado de contaminación, se aplicó en esta investigación una versión modificada y adaptada para el río San Juan. Para tener una información lo más precisa posible sobre este particular, se revisó cierta información secundaria (Roldán, 1988; Fernández *et al.*, 2002; Álvarez *et al.*, 2005; Álvarez *et al.*, 2007; Ramírez *et al.*, 2011, González, 2008; y González *et al.*, 2013).

Modificaciones realizadas al índice EPT

Se excluyó a los representantes capturados de la familia Baetidae (Ephemeroptera). De igual manera, no se tuvo en cuenta al tricóptero *Helicopsyche* perteneciente a la familia Helicopsychidae, dado que es un género que se encuentra asociado a corrientes con cierto nivel de contaminación orgánica (Caicedo *et al.*, 2004). Adicionalmente, este es un tricóptero que resiste presiones ocasionadas por la pendiente y la velocidad de la corriente, por lo cual se le facilita la ubicación en casi cualquier sitio a lo largo del cauce (Posada & Roldán, 2003).

Los organismos pertenecientes a los coleópteros se caracterizan por habitar corrientes con altos niveles de oxígeno disuelto (Domínguez & Fernández, 2001). Siguiendo con esta condición atribuida a los coleópteros, se incluyó a la familia Elmidae como parte del índice EPT según versión adaptada y modificada para el río San Juan.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

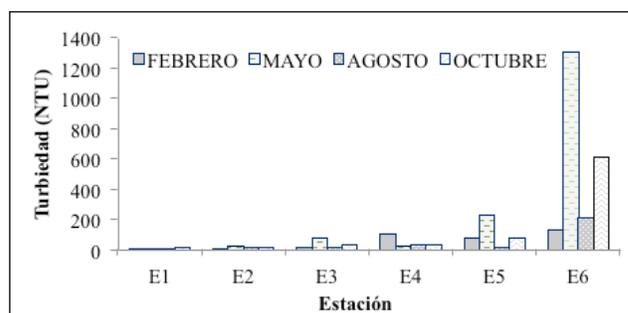
Variables fisicoquímicas

En la figura 1A se observa un aumento en los valores de turbiedad a medida que se recorren las estaciones. Los menores puntajes se registraron en la primera fecha de muestreo realizada en el mes de febrero con 5,68 UNT en E1 y los mayores fueron alcanzados en E6 en el mes de mayo con 1306 UNT. El valor tan elevado obtenido en la última estación puede deberse a la gran cantidad de sólidos con los que llega el río Bolívar a su desembocadura en el río San Juan aguas abajo de

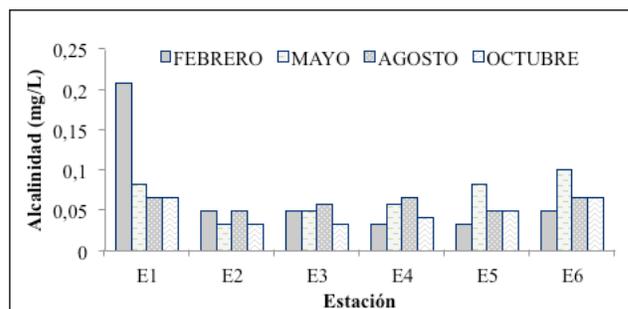
la estación 5 y a la intensidad de las precipitaciones, lo cual conlleva a un aumento en el caudal y en la velocidad de la corriente generando mayor arrastre de sólidos (Bustamante *et al.* 2014).

En la figura 1B se observan los rangos de valores para la alcalinidad, los cuales estuvieron entre 0,0332 y 0,2075 mg/l, encontrándose las menores concentraciones de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos en los meses de mayo y octubre, esto causado posiblemente por las fuertes precipitaciones presentadas en dichas épocas lo cual generó la dilución de las especies iónicas (C. de Esparza, 1987).

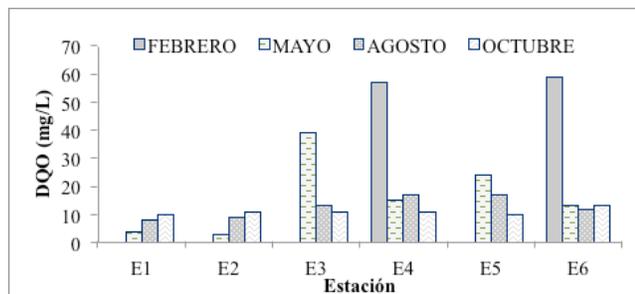
En este caso (figura 1C) todos los valores presentados estuvieron por debajo de 60 mg/l indicando aguas de calidad aceptable (RAS 2000). Sin embargo, dichas concentraciones se deben en gran medida al vertimiento de los residuos sólidos y líquidos (lixiviados) generados por materia orgánica proveniente de subproductos de la agroindustria del café, siendo esta la principal actividad económica de la zona (Olmos, 2015).



1A. Turbiedad



1B. Alcalinidad



1C. Demanda química de oxígeno

Figura 1. Variación espaciotemporal de la turbiedad en el río San Juan

El análisis de componente de varianza (tabla 4), muestra que el factor muestreo tuvo un mayor porcentaje de incidencia en la variable redox con 92,37%, con-

tinuado por la dureza total con 90,62%, seguido por el pH cuyo aporte equivale al 80,77%, y finalmente la conductividad con 52,25%, todos ellos con altos porcentajes. El factor estación presentó su mayor efecto sobre las variables DQO (99,73%), turbidez (99,48%), nitrógeno amoniacal (97,68%), alcalinidad (97,41%), ortofosfatos (84,94%), temperatura del agua (83,75%), nitrógeno total (81,55%), saturación de oxígeno (81,2%), fósforo total (76,3%), nitratos (64,5%) y finalmente el oxígeno (60,89%). Por su lado el factor réplica no presentó altos porcentajes en el análisis de componentes, dado que los valores más elevados los presentaron las variables oxígeno y saturación de oxígeno con 19,91% y 11,25% respectivamente, los demás estuvieron por debajo del 10%.

Tabla 4. Análisis de componentes de varianza para el río San Juan

Variable	Componente		
	Muestreo (%)	Estación (%)	Réplica (%)
Temperatura del agua	7,78	83,75	8,47
Oxígeno	19,2	60,89	19,91
Saturación de oxígeno	7,55	81,2	11,25
Conductividad	52,25	41,8	5,96
pH	80,77	14,04	5,19
Redox	92,37	6,8	0,83
Turbidez	0,00	99,48	0,52
Alcalinidad	0,00	97,41	2,59
Nitratos	34,51	64,5	0,99
Nitrógeno amoniacal	1,39	97,68	0,93
Nitrógeno total	18,23	81,55	0,22
Fósforo total	23,36	76,3	0,34
Ortofosfatos	6,98	84,94	8,08
Dureza total	90,62	6,67	2,71
DQO	0,00	99,73	0,27

Las variables redox, dureza, conductividad y pH, se vieron afectadas principalmente por el factor muestreo, debido principalmente al contraste que hay en la química del agua entre la época seca y la época de mayor pluviosidad. Los muestreos de febrero y agosto fueron realizados en época seca, mientras que los de mayo y octubre se realizaron en época de lluvias, lo que posiblemente provocó el arrastre masivo de sólidos y desechos generados por la agroindustria del

café y el arrastre del suelo debido a las altas pendientes de la zona. Por su parte el factor estación influyó sobre la mayoría de las variables, debido a que las estaciones ubicadas aguas abajo reciben sólidos suspendidos y disueltos provenientes de los afluentes entre los que se destacan los ríos Tapartó y Bolívar, este último podría estar impactando de manera significativa la parte baja del río San Juan.

Macroinvertebrados acuáticos BMWP (Biological Monitoring Working Party)

Las familias Baetidae, Leptophlebiidae y Leptohyphidae pertenecientes al orden Ephemeroptera, Hydropsychidae (Tricóptera) y Chironomidae del orden Diptera, fueron las que registraron una mayor distribución espaciotemporal.

La familia Baetidae representada principalmente por los géneros Baetodes y Camelobaetidius, fue encontrada en todas las estaciones y períodos de muestreo. Esta es una de las familias de mayor distribución y diversidad en Suramérica, con una importancia destacada en el departamento de Antioquia (Zúñiga *et al.*, 2004).

De la familia Leptophlebiidae sobresale Thraulodes. Según Raimundi (2010), la distribución de esta familia en las aguas naturales se puede considerar limitada por su alta sensibilidad a las alteraciones ambientales. Esta sensibilidad a la contaminación se sustenta en los nueve puntos registrados en la tabla de valores BMWP/Col.

La captura de los organismos del género *Leptohyphes* de la familia Leptohyphidae se presentó en febrero y mayo en E1, E3 y E4, y en agosto y octubre en todas las estaciones. Un valor de siete en el índice biótico BMWP/Col se puede asociar con características de calidad similares a las señaladas para Baetidae.

De la familia Hydropsychidae se capturaron *Smicridea* sp., *Leptonema* sp. y *Metrichia* sp. Domínguez & Fernández (2009) señalan que los taxa pertenecientes a esta familia se pueden encontrar en todo tipo de corrientes con altos niveles de oxígeno. Utilizan las piedras, troncos y hojarasca para construir refugios. Esta familia se representa con siete puntos en la escala de valores otorgados por el índice BMWP/Col (Roldán, 2003).

La familia Chironomidae hace parte de uno de los grupos de dípteros con mayor diversidad y abundancia, condiciones importantes para conocer el funcionamiento de un reoambiente (Porinchi & McDonald, 2003). A estos organismos se les atribuye un puntaje tan bajo como dos en el BMWP/Col.

En el muestreo de febrero, los valores más altos del índice BMWP se obtuvieron en E1 y E2 con 85 y 84

puntos respectivamente (figura 2), indicando calidad aceptable o aguas ligeramente contaminadas. Las estaciones E3 y E4 registraron un valor de 47 (calidad dudosa). Por su parte en E5 y E6 se encontraron los puntajes más bajos, oscilando dentro de un rango de 10 a 15 puntos, rango numérico que se relaciona con una calidad crítica y aguas fuertemente contaminadas. En la campaña realizada en mayo, los niveles del índice alcanzaron un máximo de 50 puntos en E1, seguido por E2 con 32 y finalmente E4 con 17, notándose una disminución de la calidad del agua del río a medida que recorren las estaciones, al variar de dudosa a crítica. Cabe mencionar que en E3, E5 y E6 no se capturaron organismos en ese mes. El máximo valor alcanzado por el índice durante esta investigación fue registrado en el mes de agosto, con 90 puntos en E1, le siguen E6, E4 y E3, con puntajes de 81, 66 y 62 respectivamente, resultados que se asocian con condiciones aceptables. Para la última campaña de muestreo realizada en el mes de octubre, se reportaron, según los resultados del índice BMWP/Col, buenas condiciones ambientales en las primeras cuatro estaciones establecidas en el río San Juan, donde los puntajes oscilaron dentro de un rango comprendido entre 61 y 79, rango que representa aguas ligeramente contaminadas y de calidad aceptable.

En el muestreo de agosto se presentó la mayor diferencias en los puntajes entre una y otra versión del índice, registrando un número mayor en el BMWP/Col modificado para el río San Juan en cinco de las seis estaciones establecidas en este estudio, siendo en E1 y E3 donde más variación se presentó.

En la figura 2 se presenta una comparación de los resultados obtenidos durante la investigación realizada en el año 2014 mediante la aplicación del índice BMWP/Col modificado y sin modificar, observándose que para los meses de febrero, mayo y agosto los valores alcanzados por el BMWP/Col modificado son más altos en la mayoría de las estaciones analizadas, donde la estación uno fue la que alcanzó los máximos puntajes, con valores de 95 y 99 en febrero y agosto. Situación contraria se vivió en el mes de octubre donde predominaron los resultados del índice sin modificar en cuatro estaciones, solo en E2 sobresalió la columna con 86 puntos.

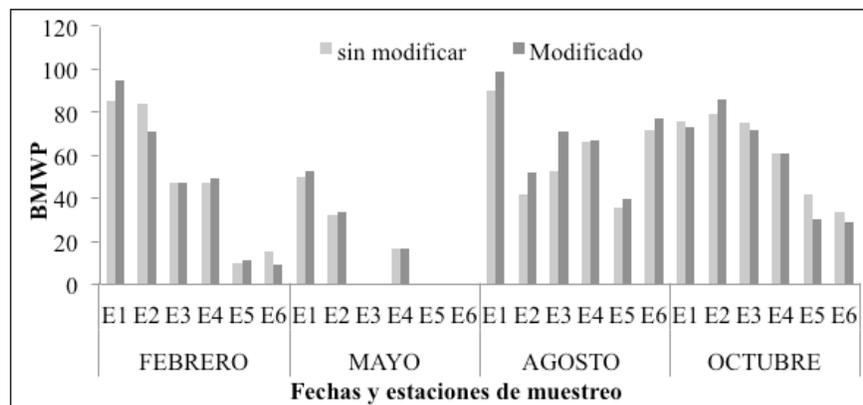


Figura 2. Comparación de los resultados del índice BMWP modificado y sin modificar

Índice ASPT (Average Score per Taxon)

Los valores más altos del índice ASPT en febrero se alcanzaron en E2 (6,0) y E6 (7,5) en la versión donde no se modificó el BMWP/Col. Por su parte, E1 y E2 con 4,52 y 5,07 respectivamente fueron las más importantes, asociados con una calidad del agua moderadamente alta.

En contraste con los resultados reportados en febrero, en el muestreo de mayo se calcularon niveles altos (buena calidad) en E1, E2 y E4 en las dos versiones estudiadas del índice biótico BMWP. De todos estos sitios sobresale E2 con puntajes de 8,0 y 8,5, y E1 con 7,14 y 7,57 tal y como se muestra en la tabla 5, en donde también se observa que los mayores puntajes en E1 y E2 corresponden al índice ASPT al cual se le modificó el BMWP/Col. E4 registró 5,67 en ambos casos.

La no captura de organismos en mayo en E3, E5 y E6 se representa con un valor de cero y se ilustra con la palabra rojo. Esta situación es un condicionante en el análisis de resultados en el sentido que el rojo es un color que representa aguas muy contaminadas. Condición similar a esta también tiene su aplicación en los resultados derivados del índice BMWP/Col en el proceso del análisis espacio-temporal de calidad del agua en el trayecto objeto de estudiado en el río San Juan.

El muestreo de agosto se destaca por presentar tan solo tres niveles que se asocian con ambientes muy contaminados (25%) incluyendo los 12 casos. Al comparar cada una de las estaciones correspondientes

entre sí, el cálculo y la aplicación del índice biótico ASPT donde se modificó el BMWP/Col para las aguas del río San Juan registró los valores más altos en todos los sitios de muestreo, donde E5 con 6,67, E2 con 6,5 y E1 con 6,19 sobresalen de las demás estaciones por reflejar aguas de buena calidad o de una alta condición ambiental (tabla 5).

Por su parte, en el muestreo realizado en octubre no se muestra esa tendencia espacial registrada en agosto, ni tampoco en el muestreo efectuado en febrero. En la campaña de octubre los valores más altos se presentaron en E1 con 6,33 y E5 con 6,0 en la versión donde no se modificó el BMWP/Col, y en los resultados del índice ASPT modificado y adaptada para el río San Juan sobresalen E1 y E2 con 6,08 y 5,38 respectivamente.

De acuerdo con los resultados arrojados en ambas versiones del índice biótico ASPT aplicado en este estudio, se puede enfatizar que las estaciones de mejor calidad corresponden a E1 y E2.

Valores relativamente altos del índice ASPT en E5 estimados en agosto y en octubre, podría ser un indicativo que aproxime a suponer que ASPT es un índice que no depende del tamaño de la muestra, lo anterior al comparar los resultados obtenidos en este mismo sitio aplicando el índice biótico BMWP/Col. Vergara (2009) considera que los resultados derivados del índice ASPT no dependen de la riqueza de los macroinvertebrados acuáticos determinados en una muestra en particular.

Tabla 5. Resultados del índice ASPT, según los resultados obtenidos por el índice BMWP propuesto por Roldán (2003) y modificado para el río San Juan

Fechas de muestreo	Estación	ASPT SIN MODIFICAR					ASPT MODIFICADO				
		Valor BMWP	Total Taxa	Valor ASPT	Clase	Color	Valor BMWP	Total Taxa	Valor ASPT	Clase	Color
FEBRERO	E1	85	21	4,05	5	R	95	21	4,52	4	N
	E2	84	14	6,00	3	M	71	14	5,07	4	N
	E3	47	12	3,92	5	R	47	12	3,92	5	R
	E4	47	11	4,27	5	R	49	11	4,45	5	R
	E5	10	3	3,33	5	R	11	3	3,67	5	R
	E6	15	2	7,50	1	A	9	2	4,50	4	N
MAYO	E1	50	7	7,14	1	A	53	7	7,57	1	A
	E2	32	4	8,00	1	A	34	4	8,50	1	A
	E3	0	0	0,00	5	R	0	0	0,00	5	R
	E4	17	3	5,67	3	M	17	3	5,67	3	M
	E5	0	0	0,00	5	R	0	0	0,00	5	R
	E6	0	0	0,00	5	R	0	0	0,00	5	R
AGOSTO	E1	90	16	5,63	3	M	99	16	6,19	2	V
	E2	42	8	5,25	4	N	52	8	6,50	2	V
	E3	53	15	3,53	5	R	71	15	4,73	4	N
	E4	66	15	4,40	5	R	67	15	4,47	5	R
	E5	36	6	6,00	3	M	40	6	6,67	2	V
	E6	72	14	5,14	4	N	77	14	5,50	3	M
OCTUBRE	E1	76	12	6,33	2	V	73	12	6,08	3	M
	E2	79	16	4,94	4	N	86	16	5,38	3	M
	E3	75	15	5,00	4	N	72	15	4,80	4	N
	E4	61	15	4,07	5	R	61	15	4,07	5	R
	E5	42	7	6,00	3	M	30	7	4,29	5	R
	E6	34	7	4,86	4	N	29	7	4,14	5	R

Azul (A), verde (V), amarillo (M), anaranjado (N), rojo (R).

Índice EPT (Efemerópteros, Plecópteros, Tricópteros)

Es de resaltar que la familia Elmidae del orden Coleoptera tan solo se encontró en E1, sitio donde predominan las mejores condiciones ambientales, esta consideración es atribuible a las características eco-fisiológicas de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y a las observaciones percibidas en campo durante los momentos de muestreo, en E1.

Las modificaciones al índice propuesto por Carrera & Fierro (2001) en especial con la exclusión de los efemerópteros de la familia Baetidae, se hace notoria en el muestreo de octubre y parte de agosto y febrero, en el sentido de que en estos meses y en especial en octubre, se calcularon los porcentajes espaciales más bajos, como por ejemplo, 7,7% en E3 y 8,3% en E6. Para recalcar lo anterior, es de considerar que en la versión modificada del índice EPT se excluyeron 107 individuos de la familia Baetidae.

Con base en la información representada en la figura 3 se podría inferir que en ambas aplicaciones del índice biótico EPT, los resultados muestran diferencias apreciables al comparar entre una y otra versión en el trayecto comprendido entre E3 y E6, no así en las es-

taciones E1 y E2. Los bajos porcentajes registrados en E5 podrían estar indicando que este es un índice que depende del tamaño de la muestra, tal y como también se infirió en el caso del análisis del índice BMWP/Col enfocado hacia esta estación.

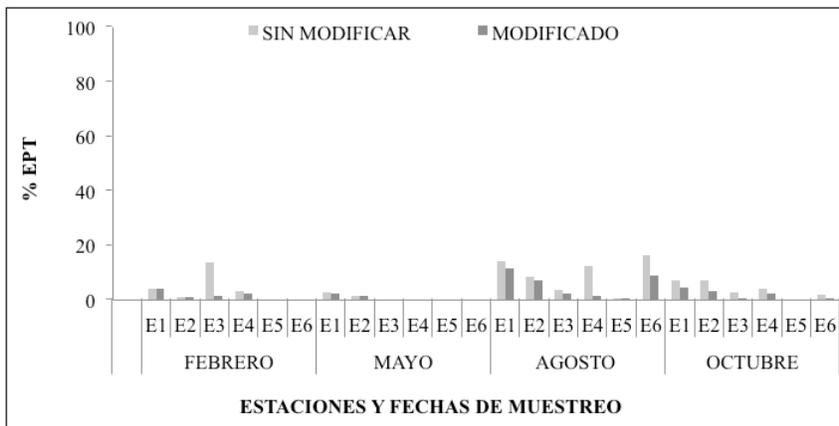


Figura 3. Porcentaje del índice EPT modificado

Las estaciones E3, E4, E5 y E6 muestran un descenso en la calidad de sus aguas, con respecto a E1 y E2, esto debido al paso por el casco urbano del municipio, en cuyo tramo el cauce recibe aportes de agentes contaminantes tales como los vertimientos de aguas residuales de tipo doméstico, escorrentía que lleva consigo altas concentraciones de materia orgánica bovina, extracción de material del río como lo son las arenas (agregados), cuyos movimientos de tierra generan una agitación de los contaminantes ya asentados en el fondo, generando un aumento en variables como la turbiedad y posiblemente la DQO.

Mapa de calidad

La figura 4 permite una visualización integral de las coberturas y usos del suelo en la cuenca del río San Juan en combinación con el espectro biótico de calidad analizado a partir de los insectos acuáticos; en términos generales la zona se encuentra influenciada por la presencia de bosques, pastos, rastrojos, ganadería, cultivos nativos y de café y en referencia a la calidad se observan resultados diferenciales en cuanto a la ubicación de los sitios.

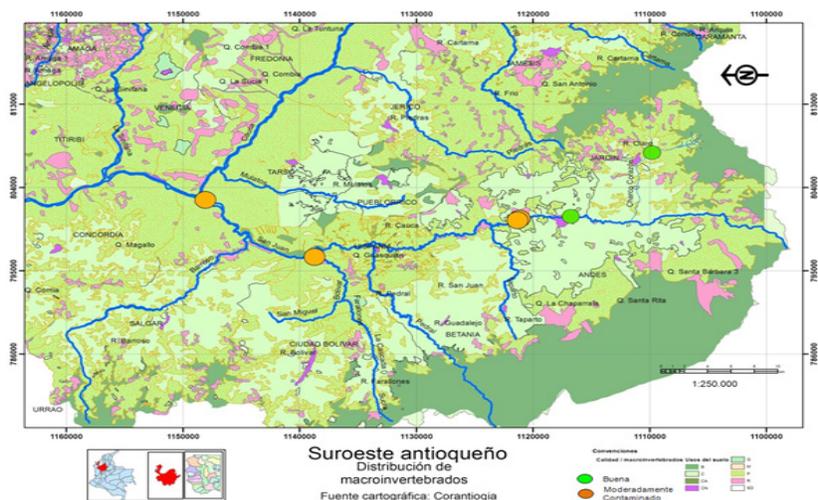


Figura 4. Mapa de calidad y usos del suelo del río San Juan

La calidad generada a partir del análisis de los macroinvertebrados en cada estación, sitúa a las estaciones uno y dos con condiciones de buena calidad y coberturas de las cuencas aferentes asociadas a bosques, pastos, rastrojos y en un menor porcentaje ganadería, notándose la poca influencia de actividades de origen antrópico y por ende las características del cauce se conservan similares en ambos puntos de muestreo.

Las estaciones tres y cuatro cercanas entre sí y visualizadas en el mapa parcialmente como un punto, se ven rodeadas por rastrojos y cultivos naturales. Adicionalmente, en esta zona el río arrastra las descargas de aguas residuales de algunas cabeceras municipales, influenciando la disminución en la calidad del agua a causa de los vertimientos de aguas residuales domésticas y escorrentía proveniente de cuencas intervenidas por el hombre.

Por su parte, los usos del suelo de las estaciones cinco y seis están representados por pastos, bosques y cultivos nativos, dichos usos son prestos para la ganadería, cuya actividad cambia las características del agua, aumentando las concentraciones de cargas contaminantes debido al arrastre por escorrentía de los desechos del sector agropecuario. Estos resultados coinciden con las tendencias fisicoquímicas analizadas, las cuales sugieren que las estaciones E3, E4, E5 y E6 muestran un descenso en la calidad de sus aguas, con respecto a E1 y E2; como se ha mencionado anteriormente esta situación responde al paso por el casco urbano del municipio, es decir recepción de vertimientos residuales, agrícolas y pecuarios.

CONCLUSIONES

1. Las seis estaciones estudiadas presentaron porcentajes de saturación de oxígeno disuelto por encima del 90%, siendo el muestreo de agosto el más sobresaliente, alcanzando valores superiores al 100%. El pH se mantuvo por debajo de nueve, encontrándose dentro del rango establecido por el RAS 2000. La conductividad eléctrica registró sus mayores niveles en mayo, las fuertes precipitaciones presentadas en la zona generan arrastre de sólidos y de sustancias iónicas disueltas retenidas en las laderas del cauce. La turbiedad, los nitratos, el nitrógeno amoniacal y el fósforo mostraron un comportamiento muy similar, con tendencia a aumentar a medida que se recorren las estaciones.

2. De los tres índices analizados, el ASPT modificado y adaptado al río San Juan es el que mejor se relaciona con las condiciones ambientales del río en el trayecto objeto de estudio, los resultados indican que dicho índice es independiente del tamaño de la muestra, favoreciendo su aplicación en cuerpos de aguas con grandes caudales y altas velocidades en la corriente, tal como lo es el río San Juan.

3. El mapa de calidad construido a partir de los resultados obtenidos con el índice ASPT modificado y adaptado para el río San Juan, ilustra dos escenarios de calidad, donde E1 y E2 presentan buenas condiciones ambientales. En las demás estaciones disminuye considerablemente la calidad del agua, debido a las actividades agropecuarias como cultivos de café y ganadería que se realizan en estos sectores del río y a su cercanía con el casco urbano lo cual incrementa el vertimiento de las aguas residuales.

4. El análisis estadístico indicó que las variables redox, dureza, conductividad y pH fueron afectadas por el factor muestreo, debido a la diferencia existente entre los componentes que prevalecen en el agua en los períodos húmedos (mayor intensidad de lluvias) y los períodos secos. En cambio, las variables DQO, turbidez, nitrógeno amoniacal, alcalinidad, ortofosfatos, temperatura del agua, nitrógeno total, saturación de oxígeno, fósforo total, nitratos y el oxígeno fueron afectadas por el factor estación debido al cambio altitudinal, lo que provoca altas pendientes, ocasionando el arrastre de sólidos y sustancias disueltas, generando un cambio en las características fisicoquímicas en cada estación.

5. Según las caracterizaciones contempladas en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000, las aguas del río San Juan no son aptas para consumo humano sin realizar previamente un tratamiento de potabilización cuya eficiencia garantice las características exigidas por el Decreto 475 del 10 de marzo de 1998. Sin embargo, según las variables que fueron analizadas en esa investigación, dichas aguas sí pueden ser usadas para fines recreativos, siempre y cuando no se requiera para esto un contacto directo.

AGRADECIMIENTOS

Al grupo de investigación GeoLimna de la Escuela Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, a los grupos de investigación Salud y Ambiente (GISA) de la Facultad Nacional de Salud Pública y al Laboratorio de Ciencias de la Tierra seccional Suroeste de la Universidad de Antioquia quienes apoyaron decididamente este proyecto como trabajo de grado de la primera autora. Al Comité de Desarrollo de la Investigación CODI convocatoria regionalización 2013, que financió los estudios en el río San Juan. Agradecimientos especiales a Corantioquia por brindar la información cartográfica del municipio de Andes.

REFERENCIAS

- Aguirre, N., & Caicedo, O. (2013). *Métodos de campo y de laboratorio para hidrobiología sanitaria*. Medellín: Reimpresos Universidad de Antioquia.
- Álvarez Arango, L. F. (2005). *Metodología para la evaluación de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de los recursos hidrobiológicos*. Medellín: Instituto Alexander Von Humboldt.
- Álvarez, S., & Pérez L. (2007). Evaluación de la calidad mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del Yeguaré, Honduras. Trabajo de grado.
- Arango, M., Arango, R., Hernández, E., Restrepo, B., Rosero, L., & Pulgarín, M. (2004). *Estudio de la quebrada Espíritu Santo, desde el enfoque del río continuo Envigado - El Retiro, Antioquia, Colombia*. Rionegro: Universidad Católica de Oriente.
- Bustamante, C., Naranjo, J., & Ahumada, J. (2014). Determinación de la calidad ecológica del río Tuluá Valle del Cauca, *Mutis*, 4(2), 35-43.
- C. de Esparza, M. (1987). *Parámetros físico-químicos que influyen en la calidad y en el tratamiento del agua*. Lima: CEPIS.
- Caicedo, O., Palacio, J. & Aguirre N. (2004). Macroinvertebrados acuáticos. En Aguirre, N., Palacio, J. & Wills, A. (eds.). *Caracterización de los principales aspectos fisicobióticos de la microcuenca de la quebrada La Vega, municipio de San Roque, Antioquia*. 1ª ed. Medellín: Universidad de Antioquia; 2004. Pp. 84-98.
- Carrera, C., & Fierro, K. (2001). *Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Quito: EcoCiencia.
- Chesters, R. (1980). *Biological Monitoring Working Party. The 1978 National testing exercise*. Technical memorandum. Dept of the Environmental, Water data unit.
- Domínguez, E., & Fernández, H. (2001). *Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos*. Tucumán, Argentina: Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Naturales. Instituto M. Lillo.
- Domínguez, E., & Fernández, H. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Tucumán, Argentina: Fundación Miguel Lillo.
- Fernández, H., Romero, F., Vece, M., Manzo, V., Nieto, C., & Orce, M. (2002). Evaluación de tres índices bióticos en un río subtropical de montaña (Tucumán - Argentina). *Limnetica* 21(1-2), 1-13.
- Gaviria, E. (1993). Claves para las especies colombianas de las familias Naididae y Tubificidae (Oligochaeta, Annelida). *Caldasia*, 17(2), 237-248.
- Gobernación de Antioquia. (2009). *Perfil de la subregión del suroeste*. Departamento Administrativo de Planeación.
- González, V., Caicedo, O., & Aguirre, N. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NFS, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. *Revista Gestión y Ambiente*, 16(1), 97-108.
- González, V. (2008). Evaluación de la calidad del agua de la quebrada La Ayurá mediante la aplicación de índices de calidad -ICA e índices bióticos. Trabajo de grado para optar al título de ingeniera sanitaria. Universidad de Antioquia.
- Guerrero, F., Manjarrés, A., & Núñez, N. (2003). *Los macroinvertebrados bentónicos de Pozo Azul (Cuenca del río Gaira, Colombia) y su relación*

- con la calidad del agua*. Santa Marta, Magdalena, Colombia: Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Magdalena.
- Guevara, G. (2004). *Análisis faunístico del orden Trichoptera en su estado larval en la cuenca del río Coello, departamento del Tolima*. Trabajo de grado (Maestría). Ibagué: Universidad del Tolima, Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Biología.
- Ladrera, R., Rieradevall, M., & Prat, N. (2013). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: una herramienta didáctica. *Ikastorratza. Revista de didáctica*, 11, 1-18
- Margalef, R. (1983). *Limnología*. Barcelona: Omega, S. A., Universidad de Barcelona, España.
- McCafferty, W. P. (1981). *Aquatic Entomology*. Boston, Massachusetts: Science Books International.
- Milán, W., Aguirre, N., & Caicedo, O. (2011). Quebrada La Popala: un análisis de calidad del agua desde algunas variables fisicoquímicas, microbiológicas y los macroinvertebrados acuáticos. *Revista Gestión y Ambiente*, 14(1), 85-94.
- Municipio de Andes. (2000). *Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado Urbano de Andes*.
- ONU-DAES. (2015). Decenio internacional para la acción "El agua fuente de vida".
- Olmos, C., Molina, R., Vélez, F., & Aguirre, N. (2015). Efecto de la descarga de materia orgánica proveniente de subproductos de la agroindustria del café sobre el oxígeno disuelto del río Tapartó en el suroeste antioqueño. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero ambiental. Medellín: Universidad de Antioquia. Grupo Geolimna.
- Posada, J., & Roldán, G. (2003). Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el noroccidente de Colombia. *Caldasia*, 21(1), 169-192.
- Porinchu, D., & MacDonald, G. (2003). The use and application of freshwater midges (Chironomidae: Insecta: Diptera) in geographical research. *Progress in Physical Geography*, 27(3), 378-422.
- Puig, M. (1981). Distribución y ecología de las especies de *Elmidae* (Col.; Dryopoidea). Barcelona: Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona.
- Raimundi, E. (2010). Ecología de *Leptophlebiidae* bank, 1900 (Insecta: Ephemeroptera). Santa Catarina: No oeste de Santa Catarina, Universidades comunitária da região de chapecó. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.
- RAS. (2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Título A.
- Ramírez, D., Talero G., & López, R. (2011). Macroinvertebrados bentónicos y calidad del agua en un tramo del río Bogotá. Cajicá-Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 205-214.
- Resumen Ejecutivo del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado Urbano de Andes. (2000). Medellín: Sanear LTDA.
- Roldán, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. Fondo FEN Colombia. Colciencias. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia, Uso del método BMWP/Col*. Ciencia y tecnología. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Ruiz, I. (2012). *Biología y ecología de los simúlidos*. Zaragoza: Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza.
- Scheibler, E., Pozo V., & Paggi A. (2008). Distribución espaciotemporal de larvas de Chironomidae (Diptera) en un arroyo andino (Uspallata, Mendoza, Argentina). *Revista Soc. Entomol. Argentina*, 67(3-4), 45-58.
- Springer, M. (2010). Trichoptera. *Rev.Biol.Trop.*, 58(4), 151-158.
- Standard Methods. (2005). American Public Health Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- Subodh, S., Bajracharya, R., & Sitaula B. J. (2005). 49. MERZ. 2005. Water quality in the Central Himalaya. *Current Science*, 89(5), 774-786

Valverde, N., Aguirre, N., & Caicedo, O. (2009.) Análisis de calidad de agua de la quebrada La Ayurá con base en variables fisicoquímicas y macroinvertebrados acuáticos. *Revista Limpia*, 4(1), 44-60

Vergara, D. (2009). Entomofauna lítica bioindicadora de la calidad del agua. Tesis de maestría, Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Zapata, P. (2014). *Ecología general*. Córdoba, Argentina: Universidad Blas Pascal.

Zúñiga, M. C., Molineri, C., & Domínguez, E. (2004). Orden Ephemeroptera (Insecta) de Colombia. En: *Insectos de Colombia*. Fernández, F., Andrade, M. G., & Amat, G. (eds.). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, 17-42.