

Evaluación de la calidad del agua empleando parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y macroinvertebrados acuáticos en el Río Batán Cundinamarca entre julio y agosto de 2017

Water quality evaluation utilizing aquatic physicochemical, microbiological and macroinvertebrate parameters in the Río Batán Cundinamarca between July and August 2017

Jack Fran García-Perez¹, Nelson Enrique Arenas², Diego Andrés Abril², José Nicolás López¹, Daniela Pachón¹ y Vilma Moreno-Melo²

Cómo citar: García-Perez, J. F., Arenas-Suarez, N. E., Abril, D. A., López, J. N., Pachón, D., y Moreno-Melo, V. (2018). *Revista Ciencias Agropecuarias*, 4(1), 18 – 26. DOI: 10.36436/24223484.301

Resumen En el presente estudio, se determinó la calidad del agua del Río Batán localizado en el área rural del municipio de Fusagasugá, Cundinamarca. Se evaluaron nueve parámetros fisicoquímicos y microbiológicos contemplados en la resolución 2115 de 2007 para establecer el índice de calidad de agua (ICA NSF). Se definieron cuatro estaciones de muestreo en el río donde se recolectaron macroinvertebrados acuáticos para evaluar la calidad de agua según el método BMWP adaptado para Colombia. Los resultados obtenidos evidenciaron un ensamble de macroinvertebrados poco diferenciado taxonómicamente entre las estaciones y los periodos evaluados de julio y agosto de 2017, en donde las aguas del Río Batán presentan niveles medios a moderados de contaminación y por tanto su uso se debe restringir para el consumo humano o animal, y, alternativamente ser utilizado para regar cultivos.

Palabras clave: Calidad de agua, BMWP, macroinvertebrados acuáticos, Río Batán

Abstract In this study, the water quality was determined in the river Batán located in the rural area of Fusagasugá municipality at Cundinamarca. Nine physicochemical and microbiological parameters assessed in the 2115 from 2007 resolution were evaluated setting the Water Quality Index (NSF WQI). Therefore, four sampling stations were defined in the river in which aquatic macroinvertebrates were collected to evaluate the water quality according to the BMWP methodology adapted for Colombia. The results obtained showed an assemblage of macroinvertebrates with few taxonomically differentiated between the sampling stations and the evaluated periods of July and August of 2017, where the waters of the river Batán present medium to moderate levels of contamination and therefore its use must be restricted for human or animal consumption and alternatively it could be used to irrigate crops.

Key words: Water quality, BMWP, aquatic macroinvertebrates, Batán river.

Introducción

Las actividades agropecuarias requieren del uso directo del agua que pueden ser abastecidas por diferentes fuentes como ríos, lagos, nacimientos, lluvias, otros disponibles en el entorno natural. En la actualidad la disponibilidad del recurso hídrico se encuentra influenciada por diversas actividades antrópicas que se han exacerbado recientemente en fenómenos naturales como el cambio climático y el efecto invernadero (1, 2). Así, de la forma cómo se use y aproveche el agua, dependerá la intensidad, calidad y duración de la actividad agropecuaria, fundamental para la economía, la alimentación, el desarrollo regional y otras actividades socioculturales (3-5).

El agua como recurso natural se puede considerar como el hábitat de las comunidades acuáticas que a su vez actúan como testigos del nivel de deterioro ambiental de las corrientes superficiales (6). La contaminación por el vertimiento de desechos en los cuerpos de agua aumenta

notoriamente la concentración de sustancias disueltas y partículas en suspensión, hasta el punto de alterar la fauna de macroinvertebrados, de manera que se desarrollan las especies más tolerantes y se afectan las más susceptibles (7). Debido a dicha perturbación ambiental, los organismos con exigencias concretas permiten reconocer características específicas del ambiente acuático y reciben el nombre de especies indicadoras (6,7). De tal manera, que cuando se integran los análisis del agua con el análisis de biodiversidad de macroinvertebrados se puede inferir no sólo la calidad del agua, sino el estado de "salud" del sistema, ya que estos organismos reflejan condiciones ambientales no detectables mediante los análisis fisicoquímicos, limitados a ser puntuales en el tiempo y en un sitio determinado (8). Debido a la magnitud de la problemática de contaminación de gran parte de los sistemas fluviales de Colombia y en la región de Sumapaz, se han realizado estudios que en su mayoría se enfocan hacia el impacto ambiental y la evaluación de la calidad del agua (9-11). Por lo anterior, es necesario establecer programas cuyo fin

¹ Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca. Girardot, Cundinamarca. Grupo Udecino de Investigación Ambiental - GUIA

² Programa de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca. Fusagasugá, Cundinamarca.

*Autor de correspondencia

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca, Seccional Girardot, Carrera 19 # 241129, Girardot, Cundinamarca, Email: jackdroun@gmail.com

sea mejorar la calidad del agua en las fuentes hídricas y establecer el grado de contaminación ambiental.

Las cuencas hidrográficas de la región de Sumapaz se caracterizan por ser sistemas que albergan una gran diversidad que incluye el páramo y revisten gran importancia para resguardo de especies (12). En este ecosistema, la cuenca hidrográfica no sólo se forma de los ríos Sumapaz y Cuja, que abastecen de agua a 10 municipios de Cundinamarca y Tolima, entre ellos Melgar y Carmen de Apicalá. También nacen caudales como el Meta, el Ariari y el Guayabero (afuentes del río Orinoco), unas 20 lagunas y la cuenca del río Tunjuelo, de la que toman el agua dos millones de personas de cinco localidades de Bogotá (13). El área del Parque Nacional Sumapaz cubre 223.000 hectáreas que comprenden terrenos de Colombia (Huila) y de Cubarral, Acacias y La Uribe (Meta) (14). Según la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) e integrantes del Sindicato de Trabajadores Agrarios del Sumapaz, cerca de 20 mil hectáreas de terrenos del páramo han sido arrasadas por la agricultura y están en riesgo. Las autoridades ambientales han comprobado la destrucción de hasta mil hectáreas en una temporada de dos o tres meses (15), y dentro de las principales actividades se incluyen la tala de frailejones (que crecen un centímetro al año), la construcción de zanjas para el arado, el uso de fertilizantes que contaminan las fuentes de agua y las quemadas para favorecer la cosecha de arveja o habas (5, 16). Ante la perturbación de los recursos naturales, es necesario conocer su estado y los beneficios como servicios ecosistémicos a los productores agropecuarios de la región de Sumapaz. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar la calidad del agua en el Río Batán, perteneciente a la cuenca del Río Sumapaz empleando parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y macroinvertebrados como bioindicadores ambientales.

Material y métodos

Área de estudio

En la vereda de Guavio bajo y el Centro de Agroestudios Ambientales de la Universidad de Cundinamarca que se encuentran ubicados en el municipio de Fusagasugá, los habitantes de dicha área se proveen del agua del Río Batán que nace en el municipio de Pasca (Cundinamarca), donde existe una fuerte presencia agrícola y ganadera que impacta este recurso hídrico (17). Por tal motivo, la calidad del agua de este río podría representar un posible riesgo para las comunidades río abajo.

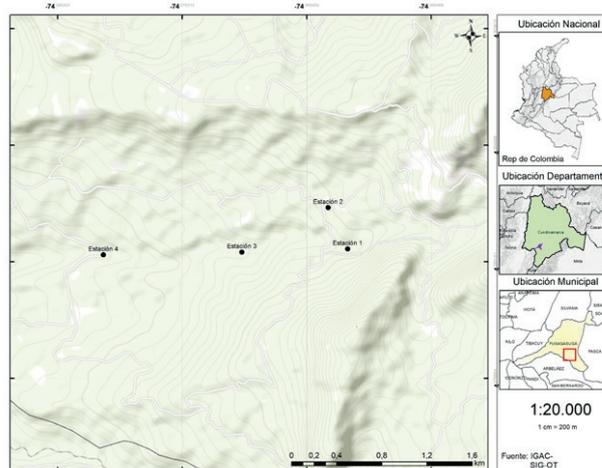
El Río Batán hace parte de la cuenca hidrográfica del Río Sumapaz, que se encuentra ubicado en la parte nororiental de la cuenca. La cuenca del Sumapaz comprende los municipios de Fusagasugá, Pasca, Silvana, Granada, Tibacuy, Arbeláez, Pandi, San Bernardo, Cabrera, Venecia, Granada, Nilo y parte de Ricaurte (17). En la Subcuenca del Río Batán, el 97% de las veredas poseen acueducto, pero a su vez también utilizan agua de nacimientos y tan solo el 3.3 toman directamente agua de río o quebrada con regular calidad. El Río Batán tiene un área de 6264 Ha, con un población de 2280 habitantes en 5 veredas y agrupadas en

401 familias. Sus afluentes más importantes son la Quebrada El Roble y la Quebrada El Suchín, que en conjunto con el Río Rute, forman el Río Negro (18).

Según el POT del Municipio de Fusagasugá, los ríos Barro Blanco, Batán, Cuja, Chocho y Guavio y sus afluentes aportantes han sido parte fundamental de la formación del relieve, no obstante sus alrededores presentan una escasa cobertura vegetal, con suelos imperfectamente a moderadamente bien drenados, afectados por erosión laminar, debido a la falta de control de las aguas en las tierras de posiciones superiores y a la ausencia de una cobertura vegetal bien establecida (19). Los bosques pertenecen a una clasificación bioclimática que va desde Bosque húmedo subtropical (bh-ST): Cobertura vegetal: caña brava, dormidera, carboneros, sauces, chágualo, cedros, cedrillo, nogal cafetero, hasta Bosque muy húmedo subtropical (bmh-ST): Cobertura vegetal: balsa, guamo, caucho, guadua, drago, pategallina, amarillos, pate vaca (19, 20).

En el Río Batán se delimitaron 4 estaciones de estudio (Figura 1) evaluadas en los meses de julio y agosto de 2017 y su localización corresponde a: estación 1 en la bocatoma (N 4° 17' 10,3"; O 74° 21' 43,7" y 1.770 m.s.n.m.), estación 2 en el puente Guavio Alto (N 4° 17' 22,2"; O 74° 21' 49,3" y 1.737 m.s.n.m.), estación 3 entre puentes del sector (N 4° 17' 9,4"; O 74° 22' 14,0" y 1.654 m.s.n.m.) y la estación 4 en el puente Guavio Bajo (N 4° 17' 8,6"; O 74° 22' 53,7" y 1.538 m.s.n.m.). Todas las estaciones se categorizan en la zona de vida de bosque húmedo subtropical y en cada estación se tomaron muestras de agua siguiendo el protocolo de monitoreo y seguimiento del agua para Colombia (21).

Figura 1. Estaciones de estudio localizadas en el Río Batán



Parámetros fisicoquímicos del agua

En cada estación se tomaron muestras in situ de variables físicas como la temperatura del agua (termómetro) y pH (potenciómetro). Se tomaron también muestras de agua las cuales fueron transportadas en frascos estériles con capacidad de 1 L y refrigerados a 4 °C. Se determinaron las siguientes variables químicas y microbiológicas: bicar-

bonatos (mg CaCO₂/L), oxígeno disuelto (mg/L), turbidez (UNT), sólidos suspendidos (mg/L), Demanda Biológica de Oxígeno (mg/L), sólidos totales (mg/L), nitratos (mg NO₃/L), cloruros (mg Cl⁻/L), sulfatos (mg SO₄/L), fosfatos (mg PO₄/L), recuento de coliformes fecales y totales y recuento de heterótrofos (UFC/100 mL), en el laboratorio de aguas Laserex de la Universidad del Tolima. Con los parámetros fisicoquímicos se determinó el Índice de Calidad del Agua (ICA NSF) (22), en los periodos de julio y agosto de 2017. Los resultados son presentados como medias, porcentajes e intervalos de las variables obtenidas en campo y resultados de laboratorio. Los parámetros para definir la calidad y potabilidad del agua se definieron según la resolución 2115 del 2007 del Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Tabla 1).

Tabla 1. Características fisicoquímicas y microbiológicas que tienen implicaciones sobre la salud humana evaluadas en el río Batán. UNT: unidad nefelométrica de turbidez, UFC: unidades formadoras de colonias, vis: espectro visible, UV: espectro ultravioleta, Nd: No definido

Elementos, compuestos y/o mezclas de químicos	Unidades	Método analítico	Valor máximo o rango aceptable
pH	0-14	Potenciométrico/pHmétrico	Entre 6,5 y 9,0.
Temperatura	°C	Termométrico	Nd
Bicarbonatos	mg Ca-CO ₂ /L	Electrodo sensitivo/Neutralización	Entre 20 y 200 mg
Oxígeno disuelto	mg/L	Potenciométrico/oxímetro	Entre 4-5 mg
Saturación de oxígeno	%	Potenciométrico/oxímetro	>70 %
Turbidez	UNT	Espectrofotométrico/UV-vis	15
Sólidos suspendidos	mg/L	Espectrofotométrico/UV-vis	5,0 mg/L
DBO	mg/L	Winkler 5 días	Nd
Sólidos totales	mg/L	Gravimétrico/Evaporación	<500 mg/L
Nitratos	mg NO ₃ /L	Espectrofotométrico/UV	10 mg/L
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	Espectrofotométrico/vis	250 mg/L
Sulfatos	mg SO ₄ /L	Espectrofotométrico/vis	250 mg/L
Fosfatos	mg PO ₄ /L	Espectrofotométrico/vis	0,5 mg/L
Recuento coli fecal	UFC/100 mL	Filtración por membrana	0 UFC/100 mL
Recuento coli total	UFC/100 mL	Filtración por membrana	<2 UFC/100 mL
Recuento heterótrofos	UFC/100 mL	Nd	0 UFC/100 mL

Colecta e identificación de macroinvertebrados

Los muestreos fueron realizados según el método BMWP para Colombia - BMWP/Col (23, 24). Las capturas de individuos se realizaron de manera selectiva y específica para este grupo de invertebrados acuáticos, empleado las técnicas de red surber, red de patada y red de mano tipo D-net (0.5 m.m de luz) tanto para las especies de superficie (neuston) como para las de la masa de agua (necton).

Todos los ejemplares fueron preservados en alcohol al 70%, en frascos previamente rotulados y con un esfuerzo de captura 1 hora por estación, de este modo para cada técnica de colecta se empleó un esfuerzo de muestreo de 1 persona/ red. El material recolectado fue determinado en el Laboratorio de Aguas de la Universidad de Cundinamarca hasta el nivel de familia y a partir de la matriz de taxones (familias) por estación se determinó la respectiva clase de calidad de agua (25). Con los datos de las abundancias se desarrollaron los índices ecológicos de diversidad, dominancia, riqueza y equidad, empleando el software Past Program versión 1.90 (26). Disponible en: <https://folk.uio.no/ohammer/past/>. Se estableció en cada estación por mes evaluado el índice de calidad de agua (ICA NSF) de acuerdo a 9 parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Los análisis se realizaron con la herramienta del Centro de investigación de cuencas hídricas (Disponible en: <https://www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters>).

Resultados y discusión

El agua es un recurso vital para el desarrollo de las actividades agrícolas depende del abastecimiento permanente especialmente para actividades como el riego de cultivos. Tradicionalmente, un sistema de riego busca la potabilización del agua y su reutilización para proveer el riego en las extensiones cultivadas y de esta forma optimizar su uso correspondiente. Los cambios políticos y económicos del país hacia el capitalismo ejercen una presión sobre el sector agrícola que por lo general implica el incremento en la producción (27).

La evaluación del Río Batán relacionada con la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua en conjunto con la diversidad de macroinvertebrados, se realizó espacialmente en 4 estaciones de muestreo entre los meses de julio y agosto de 2017 y denominados así: Bocatoma, Puente Guavio Bajo, Entre Puentes y Puente Guavio Bajo (Tabla 2).

Entre los parámetros físicos evaluados la temperatura del agua no mostro variación y se encontró en un valor máximo entre 24,3 °C para julio y 22,9 °C para agosto. En cuanto al pH este fue básicamente neutro, con un valor máximo de 7,8 en julio y 7,5 en agosto (Tabla 3).

Estos rangos de pH se encuentran según la resolución 2115 del 2007 dentro del rango para agua potable que debe estar entre 6,5 y 9. Es importante considerar que los valores estables de pH representan un factor importante para el crecimiento de flora bacteriana como es el caso de coliformes cuya temperatura óptima a nivel ambiental esta entre los 15 y 35 °C. La norma técnica también contempla otros parámetros como fosfatos, nitratos y cloruros para considerar su potabilidad (Tabla 1). Respecto a los fosfatos no se deben encontrar valores superiores a 0,5 mg/L; no obstante en el agua del Río Batán en todos los puntos del primer y segundo muestreo este indicó valores inferiores o iguales 0,2 mg/L de fosfatos, excepto en el primer muestreo en la estación "Entre puentes".

Altos niveles de fosfatos en el agua sugieren un alto grado de eutrofización que posiblemente es influenciado por la descarga de aguas de uso doméstico (28, 29). En el caso de los nitratos, en todos los puntos de muestreo se evidencian valores por debajo de los 10 mg/L que es el límite máximo aceptable para agua potable según la normatividad colombiana. Los cloruros que se encuentran con frecuencia en altas concentraciones en diferentes fuentes de agua, en el caso del Río Batán se encontraron en rangos entre 3,0 y 4,9 mg/L en el primer muestreo y 3,5 y 5,2 mg/L en el segundo muestreo lo cual indica una calidad aceptable en este aspecto.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de agua proveniente del Río Batán tomadas en julio 2017

Parámetro	Unidades	Bocato- ma	Puente Guavio Alto	Entre Puentes	Puente Guavio Bajo
pH	0-14	7,8	7,0	7,6	7,5
Temperatura	°C	24,3	24,3	24,2	24,2
HCO ₃	CaCO ₂ /L	22,3	26,5	24,5	24,8
Oxígeno di- suelto	mg/L	4,2	4,0	4,1	4,2
Saturación de oxígeno	%	57,8	55,9	56,4	58,5
Turbidez	UNF	7,7	8,9	9,2	1,8
Solidos suspen- didos	mg/L	34	31	32	26
DBO	mg/L	1,2	1,8	0,6	1,5
Solidos totales	mg/L	210	100	88	76
Nitratos	mg NO ₃ /L	0,8	0,5	0,5	0,0
Cloruros	mgCl-/L	3,0	4,6	4,9	4,7
Sulfatos	mg- SO ₄ -2/L	11,2	11,5	10,3	10,5
Fosfatos	mgPO ₄ - 3/L	0,3	0,3	0,6	0,4
Recuento de coliformes fecales	UFC/100 mL	500	30	10	100
Recuento de coliformes totales	UFC/100 mL	91.000	60.000	10.000	10.000
Recuento de heterótrofos	UFC/100 mL	200.000	190.000	17.000	20.000

La concentración de oxígeno disuelto encontrada en el Río Batán estuvo con rangos entre 4,0-4,2 mg/L para el primer muestreo y 4,6-5,6 mg/L en el segundo muestreo. Lo cual es consistente con los niveles de saturación de oxígeno (<70 %) durante los muestreos y a la vez representa un factor limitante para la presencia de las especies. La DBO es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser degradada u oxidada y el análisis de estos valores permite considerar que el río es una fuente hídrica moderadamente contaminada (Tablas 2 y 3).

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de agua proveniente del río Batán tomadas en agosto 2017. Con relación a los parámetros microbiológicos se detec-

Parámetro	Unidades	Bocato- ma	Puente Guavio Alto	Entre Puentes	Puente Guavio Bajo
pH	0-14	7,4	7,4	7,3	7,5
Temperatura	°C	22,3	22,3	22,5	22,9
HCO ₃	CaCO ₂ /L	21	22,6	22	23,6
Oxígeno disuelto	mg/L	4,9	5,2	5,6	4,5
Saturación de oxígeno	%	64,5	68,6	74	60,9
Turbidez	UNF	3,6	4,5	5,8	4,7
Solidos sus- pendidos	mg/L	25	26	27	25
DBO	mg/L	3,1	5,2	3,7	2,8
Solidos totales	mg/L	64	62	68	76
Nitratos	mg NO ₃ /L	0,9	1,0	0,2	2,1
Cloruros	mgCl-/L	3,5	4,6	3,7	5,2
Sulfatos	mg- SO ₄ -2/L	11,8	23,8	31,3	23,3
Fosfatos	mgPO ₄ - 3/L	0,4	0,4	0,5	0,4
Recuento de coliformes fecales	UFC/100 mL	0	0	1	2
Recuento de coliformes totales	UFC/100 mL	300.000	500.000	900.000	900.000
Recuento de heterótrofos	UFC/100 mL	700.000	900.000	1'000.000	500.000

tó una alta presencia de coliformes totales especialmente el segundo muestreo cuyo rango estuvo entre 300.000 y 900.000 UFC/100mL. Los anteriores hallazgos podrían ser debido al alto contenido de materia orgánica procedente de sistemas productivos agropecuarios o biomasa degradada presente en la zona. Adicionalmente, la calidad del agua del Río Batán solo podría usarse eventualmente para riego y no para abastecimiento humano o animal dado que la presencia de este grupo de bacterias está relacionada con la descarga de aguas residuales a los cuerpos de agua (9, 10, 29). En este sentido la principal fuente de contaminación de los ríos son las aguas residuales de los pueblos y ciudades que no reciben un tratamiento antes de ser vertidas a estos (30). La carga contaminante de materia orgánica producto de las aguas residuales tanto urbana como vertimientos del sector rural sin ningún pretratamiento generan contaminación microbiológica al agua (31). Bajo el contexto expresado, resulta preciso que las entidades territoriales adelanten acciones de conservación y protección, debido a que este río representa un afluente que recibe considerables descargas en el departamento de Cundinamarca (32).

Con relación a los macroinvertebrados acuáticos se recolectaron 595 individuos en el muestreo de julio representados 8 órdenes y 15 familias (Tabla 4). La familia Baetidae fue la más abundante en las diferentes estaciones durante el primer muestreo, este grupo suele vivir en aguas rápidas, debajo de troncos, rocas, hojas, y adheridos a vegetación sumergida. La familia Baetidae presenta una puntuación de 7 según el índice BMWP/Col por lo cual son

indicadores de una calidad media de agua o aguas ligeramente contaminadas. En el caso de la familia Simuliidae también fueron representativos en la comunidad de este río, dentro de sus estadios las pupas viven en corrientes fuertemente adheridas al sustrato y al presentar un valor BMWP/Col de 8, la presencia de esta familia indica que son organismos poco tolerantes a la contaminación orgánica (24, 33).

Tabla 4. Abundancia de órdenes y familias de macroinvertebrados acuáticos para las estaciones de muestreo en

Orden	Familias	Estaciones			
		Boca-toma	Puente Guavio Alto	Entre Puentes	Puente Guavio Bajo
Ephemeroptera	Baetidae	46	127	66	5
Diptera	Blephariceridae	0	0	2	1
Odonata	Calopterygidae	1	0	0	0
Diptera	Chironomidae	2	0	5	0
Megaloptera	Corydalidae	0	2	1	0
Coleoptera	Elmidae	2	0	2	0
Trichoptera	Helicopsychidae	4	5	20	38
Trichoptera	Hydrobiosidae	0	0	0	6
Trichoptera	Hydropsychidae	12	9	1	2
Ephemeroptera	Leptohyphidae	3	3	2	26
Odonata	Libellulidae	0	0	0	1
Mesogastropoda	Physidae	0	0	0	1
Platyhelminthes	Planariidae	1	0	12	0
Trichoptera	Polycentropodidae	1	0	0	0
Odonata	Ninfa	0	1	0	0
Diptera	Simuliidae	6	41	75	63
Total		78	188	186	143

el Río Batán para julio de 2017

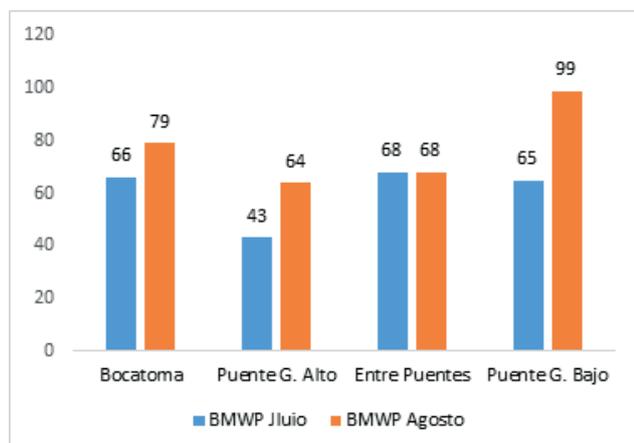
En el muestreo de agosto se recolectaron 1474 individuos distribuidos en 7 órdenes, 20 familias (Tabla 5). En este periodo de agosto fue abundante Helicopsychidae, este grupo se establece en aguas de poca corriente y en orillas de lagos adheridos a rocas y presentan un puntaje BMWP/Col de 8, por lo cual son indicadores de buena calidad del agua al ser sensibles a la contaminación orgánica. Otra familia representativa fue Blepharoceridae, estos viven preferencialmente en aguas lóxicas, sobre rocas y cascadas y su puntaje según el BMWP/Col es de 10 lo cual son indicadores de buena calidad del agua y altamente sensibles a cambios que puedan presentarse en la misma (24).

Tabla 5. Abundancia de órdenes y familias de macroinvertebrados acuáticos para las cuatro estaciones de estudio en el río Batán para agosto de 2017

Orden	Familias	Estaciones			
		Boca-toma	Puente Guavio Alto	Entre Puentes	Puente Guavio Bajo
Glossiphoniiformes	Annelida	2	0	0	0
Ephemeroptera	Baetidae	9	21	0	44
Diptera	Blephariceridae	13	35	32	4
Diptera	Chironomidae	1	5	0	11
Megaloptera	Corydalidae	7	1	0	0
Tricladida	Dugesidae	2	0	0	0
Coleoptera	Dytiscidae	0	0	21	0
Coleoptera	Elmidae	0	0	4	4
Coleoptera	Gyrinidae	0	0	1	0
Trichoptera	Helicopsychidae	47	44	132	142
Trichoptera	Hydrobiosidae	0	0	0	2
Trichoptera	Hydropsychidae	10	23	0	1
Ephemeroptera	Leptohyphidae	16	116	81	27
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	21	10	48	39
Odonata	Libellulidae	0	0	0	1
Diptera	Muscidae	0	0	1	0
Mesogastropoda	Physidae	0	0	0	2
Trichoptera	Polycentropodidae	8	4	0	7
Coleoptera	Psephenidae	0	0	0	1
Odonata	Ninfa	0	10	0	0
Diptera	Simuliidae	15	360	56	33
Total		151	629	376	318

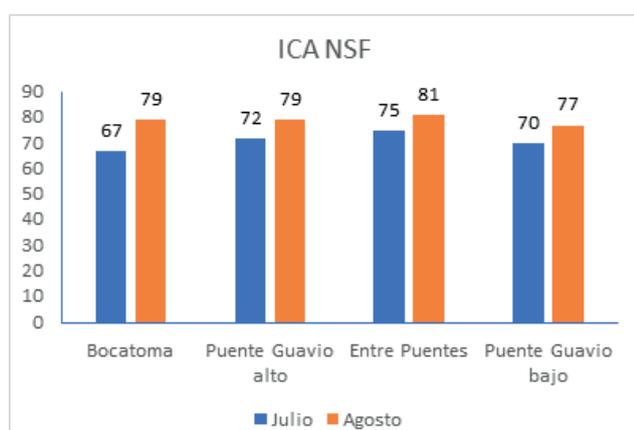
Los resultados obtenidos a partir del BMWP/Col en el Río Batán, establecen en el mes de julio valores entre 43 y 68, indicando para el valor más bajo aguas moderadamente contaminadas, clase III con calidad dudosa y los valores superiores a 60, constituyen las estaciones con aguas ligeramente contaminadas, clase II con calidad aceptable. En el mes de agosto, se registraron valores desde 64 a 99 indicando que todas las estaciones presentan aguas ligeramente contaminadas, clase II cuya calidad es aceptable (Figura 2).

Figura 2. Valores BMWP` Col para los meses julio y agosto 2017



Al relacionar los resultados del ICA NSF (Figura 3) y el método BMWP/Col se evidencia en general una buena calidad del agua, tanto en lo registrado por el ICA como por el método BMWP/Col, y esto es debido probablemente a la leve eutrofización que indican los niveles de fosfatos determinados en el agua. Los fosfatos en un cuerpo de agua permiten la formación de biomasa, la cual requiere un aumento de la demanda biológica de oxígeno para su oxidación y para los procesos de eutrofización, además es un componente limitante para el desarrollo de las comunidades (33). En este estudio los valores del ICA oscilan entre 67 a 81 indicando una calidad del agua media a buena. Este tipo de calidad de agua también ha sido registrada en otra fuente hídrica de clima frío como es la quebrada la Lejía principal afluente del municipio de Arbeláez Cundinamarca en los tramos Nacedero-Cerro Pan de Azúcar (2242 msnm) y Sector Tenerife (1561 msnm), registrando valores ICA de 60 y 61 para estos dos tramos (34).

Figura 3. Valores ICA NSF para los meses julio y agosto 2017



Con relación al componente biológico, se registró una baja riqueza (1,14-2,25 valor mínimo y máximo para julio y agosto) y una baja diversidad (0,98 - 2,11 respectivamente). Por lo tanto, al realizar una prueba de bondad de ajuste (t) (0,05) para el índice de diversidad (35), se determinó que la estación de Puente Guavio Alto presen-

ta diferencias estadísticas significativas con relación a la diversidad (Puente Guavio Alto vs Entre Puentes: $t= 4.4$, $p= 0,000014$ y Puente Guavio Alto vs Puente Guavio Bajo: $t= 4,1$, $p= 0,00005$) (Figura 4). La menor diversidad de macroinvertebrados acuáticos se podría asociar a una disminución del bosque de galería siendo intervenido por cultivos de café; lo cual tiene probablemente implicaciones en el ingreso de material alóctono proveniente de este tipo de cobertura. Además, la vegetación asociada a los cuerpos acuáticos podría ser funcional al generar el ingreso de materia orgánica transformada en detritus, componente que representa un sustrato para el refugio y alimentación de mucho macroinvertebrados (23).

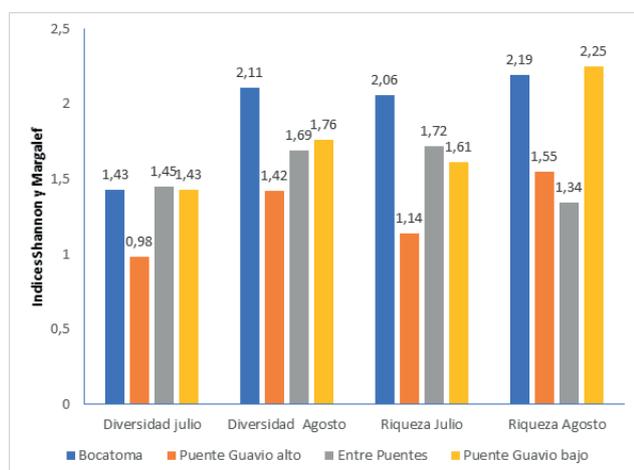
El bosque ribereño resulta vital para el establecimiento de microhábitat disponibles y la heterogeneidad de los sustratos del lecho del río y bajo este contexto descrito se puede esperar una mayor abundancia de organismos en aquellos tramos con mayor heterogeneidad del sustrato y, por el contrario, allí donde el sustrato sea uniforme o exista una mayor homogeneidad del lecho del río, la abundancia esperada será menor (36-38). La mayor diversidad de sustratos en las quebradas con bosque ribereño garantiza una mayor oferta de hábitats para los organismos que habitan en ellas (39, 40). Esta disminución de la diversidad por pérdida de coberturas es reportada en otros cuerpos de aguas de países como honduras (41), Chile (42), y en Colombia (11,43-46).

En términos generales existe una comunidad poco diferenciada taxonómicamente entre las estaciones y los periodos evaluados, con familias ampliamente registradas entre valores de contaminación moderados a ligeros del agua, siendo su calidad influenciada en gran parte por la DBO y la contaminación microbiología registrada en este río. En el Estudio Nacional del Agua del año 2010, se estableció que los vertimientos de materia orgánica biodegradable (expresados en DBO), al ser degradados por los organismos aerobios generan una reducción del oxígeno disponible en los sistemas hídricos superficiales, lo cual puede afectar el desarrollo de especies de peces que sirven como fuente de alimento. Un incremento de la DBO conlleva mayor carga bacteriana (patógenos), que produce efectos adversos en la salud de la población por consumo directo del agua o indirecto a través del consumo de alimentos cuyo riego agrícola se ha realizado con agua contaminada (47).

La política nacional sobre biodiversidad y manejo de áreas naturales (y dentro de ellos los ecosistemas acuáticos), se aprobó en noviembre de 1995 y busca establecer un marco general que oriente las estrategias tendientes a la conservación de la diversidad biológica en Colombia. Esta política se fundamenta en tres ejes principales de acción: la conservación, el conocimiento y la utilización sostenible de biodiversidad la estrategia global para la Biodiversidad y plantea que el desarrollo de estudios biológicos y ecológicos. Además, al Ministerio del medio ambiente le corresponde regular y controlar las condiciones de conservación y manejo del recurso hídrico, apoyados en esta política se hace imperativo y necesario realizar este tipo de investigaciones encaminadas a establecer un

conocimiento más detallado del flujo de nutrientes (biomasa, materia orgánica) y su influencia en los procesos ecológicos (48). De igual manera, es importante destacar que con base al estudio realizado se puede definir un uso alternativo del agua del río Batán; de modo tal, que los análisis indican que el agua no es potable y dentro del rango ICA, se hace indispensable el tratamiento de potabilización siendo utilizable en la mayoría de los cultivos (49) además, se descarta su uso en riego como incluso se realiza con aguas residuales para incrementar la producción agrícola (50, 51).

Figura 4. Comparación de índices de riqueza y diversidad entre las cuatro estaciones de muestreo en el río Batán comparando julio y agosto (Fusagasugá, Cundinamarca)



Conclusión

Los análisis BMWP`Col e ICA indican que el Río Batán tiene agua con una calidad desde moderadamente contaminada a ligeramente contaminada. Los resultados de este estudio además de evaluar la calidad del agua de la subcuenca del Río Batán contribuyen al conocimiento de esta fuente hídrica y además brinda elementos de juicio a las autoridades competentes para tomar decisiones para su respectiva conservación y restauración.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dirección de Investigación de la Universidad de Cundinamarca y Ministerio de Educación Nacional (CREE) por la financiación del proyecto titulado: "Programa: Plan estratégico para el manejo integral del agua-caso subcuenca del río batan y distrito de riego granja la esperanza y comunidad". Además, se agradece la participación activa de la comunidad de Guavio Bajo en el mencionado proyecto.

Referencias

1. Trenberth KE, Hoar TJ. El Niño and climate change. *Geophysical Research Letters*. 1997;24(23):3057-60.
2. Yeh S-W, Kug J-S, Dewitte B, Kwon M-H, Kirtman BP, Jin F-F. El Niño in a changing climate. *Nature*. 2009;461(7263):511.

3. Turner RK, Georgiou S, Clark R, Brouwer R, Burke JJ. Economic valuation of water resources in agriculture: From the sectoral to a functional perspective of natural resource management: Food & Agriculture Org.; 2004.
4. Karr JR. Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management. *Ecological applications*. 1991;1(1):66-84.
5. Lozano S, Ramírez JE. Diagnóstico ambiental de las fuentes hídricas superficiales en la vereda hato viejo municipio de Arbeláez, Cundinamarca. *Revista Ciencias Agropecuarias*. 2017;3(1):3-7.
6. Bennett C, Owen R, Birk S, Buffagni A, Erba S, Mengin N, et al. Bringing European river quality into line: an exercise to intercalibrate macro-invertebrate classification methods. *Hydrobiologia*. 2011;667(1):31-48.
7. Alba-Tercedor J, Sánchez-Ortega A. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnetica*. 1988;4(5):1-56.
8. Campbell IC. Biological monitoring and assessment using invertebrates. *Environmental monitoring handbook* Burden FR, McKelvie I, Föstner U, Guenther A. 2002:5.0-5.1.
9. Urrego AP, Ramírez-R JJ. Cambios diurnos de variables físicas y químicas en la zona de ritral del río Medellín, Colombia. *Caldasía*. 2000:127-41.
10. Arenas NE, Abril DA, Moreno V. Evaluación de la calidad del agua para uso agropecuario en predios ganaderos localizados en la región del Sumapaz (Cundinamarca, Colombia). *Archivos de Medicina (Manizales)*. 2017;17(2):319-25.
11. García-Pérez JF, Baquero SM, Medina G, Sarmiento C. Estudio de la calidad del agua en tramos del río Paguety empleando macroinvertebrados acuáticos. *Revista Ciencias Agropecuarias*. 2015; 1(1):1-9.
12. Cano A, Díaz F. Riquezas Naturales Nacionales. Parques, Áreas, Santuarios y reservas. *Revista la Tadeo*. 2002; 67: 167-182
13. Domínguez C. (s.f.). LA GRAN CUENCA DEL ORINOCO. Recuperado de: http://bdigital.unal.edu.co/7322/1/LA_GRAN_CUENCA_DEL_ORINOCO.pdf
14. MADS. 2017. INFORMACION PARA GUARDAPARQUES VOLUNTARIOS PARQUE NACIONAL NATURAL SUMAPAZ 2017. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Parques Nacionales Naturales de Colombia Dirección Territorial Orinoquia. Recuperado de <https://storage.googleapis.com/pnn-web/uploads/2014/01/Descripci%C3%B3n-PNN-Sumapaz.pdf>
15. Silva Herrera J. (05 de junio 2008I. Páramo de Sumapaz, afectado por sobrepastoreo, talas de frailejón y cultivos de papa. *Periodico el Tiempo*. Recuperado de <https://>

16. Rey C, Franco L, Castano C. Estado y Gestión de los Páramos de Colombia-Informe Nacional. Memorias Congreso Mundial de Páramos Paipa (Colombia): MMA, CAR, IDEAM, Colombia; 2002.
17. CAR. Delimitación y localización de la cuenca Sumapaz y subcuenca río alto Sumapaz. En: CAR. Diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del río Sumapaz. Plan de Manejo y Ordenamiento de la Cuenca (POMCA) del río Sumapaz. Informe POMCA-002 UT. Bogotá DC: ed. CAR; 2016.
18. Alcaldía Municipal de Pacho. Plan Básico de Ordenamiento territorial para el municipio de Pacho. Documento Técnico. Gobierno Municipal de Pacho, Cundinamarca. 2000.
19. POT Fusagasugá. 2001. Acuerdo No 029 de 2001, Base Ideológica, Políticas Generales, Objetivos Estratégicos, Geografía y Caracterización, Geomorfología, Desarrollo Local, Desarrollo Socioeconómico, Desarrollo Regional, Usos del Suelo, Clasificación del Suelo, Zonificación, Urbanismos, Servicios Públicos, Sistema Vial y Transporte, Patrimonio Cultural, espacio Público, Equipamientos, obras Publicas e Infraestructura, Ocupación y Manejo. Recuperado de http://cdim.esap.edu.co/BancoConocimiento/F/fusagasuga_-_cundinamarca_-_pot_-_acuerdo_029_de_2001/fusagasuga_-_cundinamarca_-_pot_-_acuerdo_029_de_2001.asp.
20. Holdridge, L. Ecología Basada en Zonas de Vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. IICA. San José de Costa Rica. 1996. 225
21. IDEAM. Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá, D.C.162.
22. Dede O., O., Telci, I. & Aral, M. The Use of Water Quality Index Models for the Evaluation of Surface Water Quality: A Case Study for Kirmir Basin, Ankara, Turkey;. Water Quality, Exposure and Health: 2013; 5(1): 45-56.
23. Roldán-Pérez G. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 2016;40(155):254-74.
24. Roldán-Pérez G. Desarrollo de la limnología en Colombia: cuatro décadas de avances progresivos. Actualidades Biológicas. 2009;31(91):227-37.
25. Roldán-Pérez G. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua. Contrato Interadministrativo No. 206 de 2012. CAR. Bogotá. D.C. 2012. 148.
26. Hammer O, D.A.T. Harper, P.D. Ryan. PAST. Paleontological Statistics Software pack age for education and data analysis. Palaeontologia Electronica. 2001. 4(1): 9
27. Soto Mora C. La agricultura comercial de los distritos de riego en México y su impacto en el desarrollo agrícola. Investigaciones geográficas. 2003 (50):173-95.
28. Vásquez C, Ariza A, Pinilla G. Descripción del estado trófico de diez humedales del altiplano cundiboyacense. Universitas Scientiarum. 2006;11(2):61-75.
29. De Navia SL, Torres SM. Calidad sanitaria del agua del Parque Natural Chicaque. Nova. 2013;11(20):45-51.
30. Xu M, Wang Z, Duan X, Pan B. Effects of pollution on macroinvertebrates and wáter quality bio-assessment. Hydrobiologia. 2011;729,247-259.
31. Miranda RD, Ramírez W, Castilla A. Microbiological of the quality of water of the algodonal river in the section between the municipalities of Ábrego and Ocaña, North of Santander. Revista Ingenio UFPSO. 2016;11:189-200.
32. Estupiñán-Torres SM, Avila-De Navia SL. Calidad físico-química y microbiológica del agua del municipio de Bojacá, Cundinamarca. Revista NOVA. 2016;8(14):206-12.
33. Roldán G. Bioindicacion de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Colombia. Primera edición, Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 2003.
34. Pinzón-Rodríguez LP, Reyes Baquero C. Estudio de los componentes socioeconómicos y la calidad del agua de la quebrada La Lejía (Arbeláez, Cundinamarca, 2018). Trabajo de pregrado, Programa Ingeniería Ambiental. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca. Girardot. 115p.
35. Magurran AE. Diversidad ecológica y su medición. Vendra, Córcega. Princeton, Nueva Jersey, EEUU, 1988.
36. Segnini S. El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. Ecotropico. 2003;16(2):45-63.
37. Arango MC, Álvarez LF, Arango GA, Torres OE, Monsalve A. 2008. Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia. Revista EIA. 9:121-141.
38. Mosquera-Murillo Z., Mosquera-Mosquera MM. Diversidad de la entomofauna acuática y calidad de agua en quebradas del río San Juan. Chocó, Colombia. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica. 2017; 20(1):149-61.
39. Sovell L, Vondracek A, Frost K, Mumford G. Impacts of rotational grazing and riparian buffers on physicochemical and biological characteristics of southeastern Minnesota, USA, streams. Environmental Management 2000; 26(6):629-641.
40. Chará J. Manual de evaluación biológica de ambientes acuáticos en microcuencas ganaderas. 2 ed. 2004. Santiago de Cali, CO, Fundación CIPAV. 72 p.
41. Arcos I. Efecto del ancho los ecosistemas riparios en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras: Tesis: Programa de Educación para el Desarrollo y la Conser-

vación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica, 2005.

42. Guevara-Cardona G, Jara C, Mercado M, Elliott S. Comparación del macrozoobentos presente en arroyos con diferente tipo de vegetación ribereña en la reserva costera valdiviana, sur de Chile. Asociación Colombiana de Limnología "Neolimnos". 2006;1:98-105.

43. Meza AM, Rubio J. Composición y estructura trófica de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. Tesis: Programa de Biología, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia, 2010.

44. Chará JG, Pedraza L, Giraldo D, Hincapié. Efecto de los corredores ribereños sobre el estado de quebradas en la zona ganadera del río La Vieja, Colombia. Agroforestería en la Américas. 2007;45:72-8.

45. González SM, Ramírez P, Meza AM, Días LG. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales. Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural. 2012;16(2):135-48.

46. Montoya Y, Acosta Y, Zuluaga E. Evolución de la calidad del agua en el río Negro y sus principales tributarios empleando como indicadores los índices ICA, el BMWP/COL y el ASPT. Caldasia. 2011; 33(1)193-210.

47. IDEAM. Estudio Nacional del Agua. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C., 2010.

48. Forero-Céspedes AM, Reinoso-Flórez G, Gutiérrez C. Evaluación de la calidad del agua del río Opia (Tolima, Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. Caldasia. 2013;35(2):371-87.

49. Dinius SH. Design of a Water Quality Index. W.R. Bulletin, 1987; 23,(5): 833-43.

50. Botero L, Zambrano J, Oliveros C, León D, Sarcos M, Martínez M. Calidad microbiológica del agua de un sistema de lagunas de estabilización a ser empleada en irrigación. Revista de la Facultad de Agronomía. 2002;19(4):312-23.

51. Veliz LE, Llanes-Ocaña JG, Fernández AL, Bataller VM. Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. Valoración crítica. Revista CENIC Ciencias Biológicas. 2009; 40(1):35-44.