

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO FRAILE Y LA ACEQUIA CARISUCIO EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE FLORIDA (VALLE), MEDIANTE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS

DETERMINATION OF WATER QUALITY OF THE FRAILE RIVER AND THE CARISUCIO CREEK IN THE URBAN AREA OF THE MUNICIPALITY OF FLORIDA, VALLE, THROUGH PHYSICOCHEMICAL AND BIOLOGICAL PARAMETERS

Juan Felipe Ríos Marín¹
Astrid Lili Puerta Monsalve²

Recibido: 16-07-2018
Aceptado: 15-11-2018

Resumen

Este estudio se basó en la identificación de macroinvertebrados tolerantes o susceptibles a la contaminación y la medición de parámetros físicoquímicos en la cuenca baja del río Fraile y la acequia Carisucio del municipio de Florida Valle, con el objetivo de analizar la calidad del agua en el área urbana, a partir de muestreos realizados en tres puntos ubicados en cada uno de los cauces durante el periodo de junio a octubre de 2015. Como resultado de los análisis físicoquímicos, los cauces presentan un incremento en el índice de mineralización ICOMI, proveniente de las descargas de actividades porcícolas y avícolas, además de agua residual doméstica. En el caso del análisis biológico se evidenció que el 83% y el 72% de las familias de macroinvertebrados que se encuentran en la acequia Carisucio y el río Fraile respectivamente, son menos tolerantes a la contaminación y están asociadas a aguas ligeramente contaminadas. En síntesis, ambos cauces demuestran un alto detrimento en la calidad del agua, superando las condiciones permitidas por la normativa ambiental. El análisis encontrado servirá como herramienta para proponer estrategias de gestión del recurso hídrico que contribuyan a mejorar la calidad

- 1 Colombiano. Instructor Sennova, Centro de Diseño Tecnológico Industrial, Cali, Valle del Cauca, Colombia. Semillero de Investigación de Estudios Ambientales Locales, SEAL. Email: feliperios@misena.edu.co
- 2 Colombiana. Instructor Sennova, Centro de Diseño Tecnológico Industrial, Cali, Valle del Cauca, Colombia. Semillero de Investigación de Estudios Ambientales Locales, SEAL. Email: alpuertam@misena.edu.co



ambiental de los cauces en la parte baja de la cuenca.

Palabras clave: Calidad de Agua, Macro invertebrados Acuáticos, Parámetros físico químicos, Contaminación.

Abstract

This study was based on the identification of macroinvertebrates tolerant or susceptible to water contamination and the measurement of physicochemical parameters in the Fraile and Carisucio rivers of the municipality of Florida. In order to analyze the water quality conditions in the urban area, samples were taken at three points located in each of the riverbeds during a period from June to October 2015. The results of the Physical-chemical analysis, indicate an increase of the ICOMI mineralization index in the rivers, caused by the wastewater discharges from pig and poultry activities, in addition to domestic wastewater and detergents of all kinds. In the case of biological analysis, it was evident that 83% and 72% of the families of macroinvertebrates found in the Fraile and Carisucio rivers respectively, have lower tolerance to water pollution and are associated with slightly polluted waters. In short, both channels show a high detriment in water quality, exceeding the conditions allowed by environmental regulations. The results of this study will serve as a tool to propose water management strategies that contribute to improving the environmental quality of the Fraile river.

Keywords: Water Quality, aquatic Macroinvertebrates, Physical chemical parameters, Water Pollution.

Introducción

Los sistemas de agua dulce ya sean lénticos o lóticos son sensibles a modificaciones antrópi-

cas, causadas por problemas de contaminación como vertimientos, generación de residuos sólidos, utilización de agroquímicos, entre otros. Según Lozano (2007), citado por Montoya, Acosta & Zuluaga (2011) esto se ha evidenciado por la reducción o desaparición sustancial de algunas especies que conforman las comunidades bióticas. Es por esta razón que varios estudios como Fernández et al. 2002; Roldán, 2016; Rodríguez & Romero 2002, Ruiz 2002, Posada 2002, Peláez et al. 2006, Castellanos & Serrato-Hurtado 2006, Montoya & Ramírez 2006, Núñez-Avellaneda et al. 2006, Peláez-Rodríguez & García 2006; Montoya, Bedoya & Moreno, 2012 han demostrado que la calidad del agua es un factor determinante para el desarrollo de las comunidades acuáticas y, por ende, para la calidad ambiental de los ecosistemas.

Estas comunidades acuáticas se encuentran presentes en todos los ríos y son poblaciones que dependiendo de las actividades antrópicas que afecten la calidad del agua, se ven influenciadas y algunas demuestran ser tolerantes a la contaminación o por el contrario, son susceptibles a la materia orgánica, a los contaminantes persistentes o a los metales pesados (Rivera, Usme & Pinilla, 2013).

En este caso, hablar de la calidad del agua, es hablar de la calidad ambiental; ya que es el medio donde viven e interactúan los organismos. Una forma de evidenciarlo son los registros de presencia o ausencia de los organismos en los cuerpos de agua, los cuales permiten indicar el nivel de contaminación en el cual se encuentra determinado ecosistema. En la actualidad, la calidad ambiental se utiliza para analizar el grado de afectación que presenta un lugar o el grado de estrés ambiental al que está sometido por diferentes gradientes o variables; que en muchos casos son actividades productivas que someten una presión sobre el ecosistema evaluado.

Por lo anterior, se lleva a cabo la utilización de bioindicadores que permiten emplear actores

nativos como testigos biológicos del deterioro ambiental y evidenciar las condiciones y cambios ecológicos que estos ecosistemas han sufrido (Alba-Tercedor 1996; Prat & Muné, 1999 citado por Montoya, Acosta & Zuluaga, 2011). Un bioindicador es una especie (o grupo de especies) que poseen requerimientos particulares con relación a uno o a un conjunto de variables físicas o químicas, de esta forma, los cambios de presencia/ausencia, número, morfología o de conducta de esa especie en particular, indican que las variables físicas o químicas consideradas, se encuentran cerca de sus límites de tolerancia (Rosemberg y Resh, 1993). De esta manera, se establece que los organismos bentónicos, las macrófitas y los macroinvertebrados acuáticos son bioindicadores de la calidad ambiental de un ecosistema.

Particularmente, los macroinvertebrados acuáticos se han consolidado como los más utilizados para determinar la calidad del agua, por ser animales relativamente inmóviles asociados al lecho del río; lo que facilita su colecta e identificación. Algunos estudios lo demuestran (Zúñiga, 2009; Roldán, 2016; Zamora, 1999; Mosquera et al. 2004; Montoya-Moreno, 2007, 2008; Arango et al. 2008; Montoya-Moreno et al. 2010, 2011) y libros (Roldán et al. 2001; Roldán, 2003; Álvarez, 2005). Además, de acuerdo con Sánchez Herrera (2005) el análisis cualitativo de los taxones por la presencia-ausencia de cierto tipo de organismos indica las variaciones de las condiciones fisicoquímicas del ecosistema acuático. Por lo anterior, el objetivo del presente artículo es analizar los cambios físicos, químicos y biológicos del río Fraile y la acequia Carisucio en el municipio de Florida, Valle; permitiendo que este estudio se convierta en un factor determinante para llevar a cabo una adecuada toma de decisiones y una correcta Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH).

Materiales y métodos

El río Fraile y la acequia Carisucio son los cauces principales del municipio de Florida, estos se encuentran ubicados en el suroriente del departamento del Valle del Cauca, en la parte baja de la cuenca hidrográfica del río Fraile. Un área de estudio que presenta una amplia oferta ambiental y provee la oferta hídrica para las actividades productivas de la región. Además presenta diversidad social, por su población mayormente afrocolombiana, indígena y mestiza en menor proporción.

El río Fraile nace en la cordillera occidental en el páramo de Las Tinajas, tiene un caudal aproximado de 3882 l/s y es el principal proveedor para los distritos de riego de la zona plana, principalmente los ingenios azucareros, además de suplir la demanda de agua para los 86.000 habitantes de las poblaciones de Florida y Villa Gorgona, corregimiento de Candelaria (DANE, 2015).

Sin embargo, actualmente el recurso hídrico del municipio de Florida también se ve impactado por la actividad ganadera, pecuaria, agrícola, el uso recreativo y la minería en la zona alta. En la parte media de la cuenca, en el sector de Pedregal, se le realiza una derivación de 85,6 l/s cuya concesión es para uso agrícola y recibe el nombre de Acequia o Quebrada Carisucio (CVC, Asofrayle & Gaiacol, 2014). Esta derivación al igual que el río Fraile atraviesa el casco urbano del municipio sufriendo cambios en la calidad del recurso por descargas de aguas residuales (Figura 1).



Figura 1. Área de estudio y ubicación de los puntos de muestreo.

Fuente: Adaptado de (Alcaldía de Florida, Valle, 2015).

En la presente investigación se realizó la recolección de información en tres (3) puntos de muestreo en cada cuerpo de agua, distribuidos a lo largo de cada cauce a su paso por el casco urbano, con el fin de evaluar el grado de alteración y la calidad del agua a nivel físico-químico y biológico en que se encuentran los diferentes tramos o zonas de transición de los mismos, permitiendo plantear como hipótesis si existe una relación en la presencia o ausencia de familias de macroinvertebrados con respecto al grado de contaminación, deterioro o afectación en la calidad del agua.

Se realizaron cuatro muestreos en cada punto, en los cuales se evaluaron los parámetros físico-químicos según protocolo de métodos estándar para el examen de agua y agua residual (Standard methods for the examination of water and wastewater, 1989).

La recolección de macroinvertebrados se realizó aplicando el protocolo del programa de investigación en entomofauna acuática y bioindicación de calidad de agua de la Universidad del Valle, propuesto por Zúñiga, Cardona, Cantera, Carvajal & Castro (2009); y la interpretación de la calidad de agua se desarrolló a partir del monitoreo biológico con el método BMWP/COL (Biological Monitoring Working Party) adaptado para Colombia (Roldán, 2016) y el ASPT (Average Score per Taxon); por Forero et al, (2014).

Adicionalmente, se utilizó una metodología para determinar la calidad del agua, mediante los Índices de Calidad de Agua (ICA) e Índices de Contaminación (ICOs) que permiten clasificar o definir el grado de calidad del agua en términos de buena o muy mala calidad (Restrepo & Cardeñoso, 1999). Se realiza a través de la valoración de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos los cuales son convertidos en un sólo número, que generalmente se encuentra entre 0 (muy mala calidad) y 1 (excelente calidad) en el caso del ICA y entre 0 (muy bajo nivel de contaminación) y 1 (muy alto nivel contaminación) en el caso de los ICOs.

Estos índices en los últimos años han sido utilizados por los programas de vigilancia y control de la calidad del agua y son una herramienta importante para la administración del recurso hídrico; según las investigaciones realizadas por Rojas (1991), Behar, Zúñiga y Rojas (1997) y Ramírez y Viña (1998) en ríos de Colombia. En relación con ese último estudio, se definieron cuatro índices de contaminación mediante los cuales es posible concluir sobre aspectos como: mineralización, materia orgánica, sólidos suspendidos y nivel trófico; conocidos por sus siglas como: ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOTRO, respectivamente.

A partir de esta información, se definieron grupos de variables fisicoquímicas que denotaban una misma condición ambiental, para ser involucradas en los índices de contaminación (ICOS). Con respecto al Índice de Calidad del Agua (ICA) es el valor numérico que califica en una de cinco categorías (buena, aceptable, regular, mala o muy mala) que a su vez se asocian a un determinado color (azul, verde, amarillo, naranja y rojo, respectivamente); permitiendo identificar las tendencias (deterioro, estabilidad o recuperación) y la toma de decisiones por cuenta de las diferentes autoridades (Tabla1).

Tabla 1. Clasificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA.

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00-0,25	Muy mala	Rojo
0,26-0,50	Mala	Naranja
0,51-0,70	Regular	Amarillo
0,71-0,90	Aceptable	Verde
0,91-1,00	Buena	Azul

Fuente: Los autores

Los muestreos se llevaron a cabo durante un periodo de 5 meses, entre junio y octubre de 2015. Teniendo en cuenta las épocas de lluvia, estiaje y transición del ciclo hidrológico. En el río Fraile, se definieron tres puntos de muestreo. El primero corresponde a El Pedregal (FrPed), lugar donde se encuentra la bocatoma para el acueducto regional, el segundo se llevó a cabo en Pubenza (FrPub), donde se ubica uno de los principales asentamientos del municipio de Florida, y el tercer punto se localizó en Cedro (FrCed), cuyo paso del río por el municipio ha finalizado, y ha recibido descargas de aguas residuales. En la Quebrada Carisucio, también se definieron tres puntos de muestreo, el primero está ubicado en el sector de Pedregal, el segundo punto es un sector denominado Los Pinos (CsPin) y el tercero es en San Jorge (CsSanJor), cuyo punto se localiza a las afueras de la ciudad, en un sector agroindustrial donde se reciben descargas de los sistemas de riego, de fincas y algunos barrios como El Rey, Los Pinos, Pérez y San Jorge.

Por último, estos puntos de muestreo se comparan mediante un Análisis de Agrupamiento (Clúster) que permite clasificar las familias de macroinvertebrados encontrados, las variables analizadas en grupos de características homogéneas; teniendo en cuenta criterios de similitud (Clarke & Warwick, 2001). Para ello se obtiene mediante el cálculo del porcentaje de similitud de Bray Curtis entre las familias de macroinvertebrados encontradas en cada uno de los puntos de muestreo; mediante el uso del software PRIMER.

Resultados y discusión

El Índice Biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party Score)

En total, durante los 4 muestreos realizados, se encontraron 33 familias de macroinvertebrados, pertenecientes a 12 órdenes. Para un total de 267 frecuencias. Las familias sobresalientes en orden de mayor presencia fueron: Tipulidae, Corydalidae, Hydropsychidae y las familias que presentaron poca frecuencia: Physidae, Scirtidae, Planariidae, Corixidae, Leptoceridae, Lestidae, Hydraenidae, Perlidae, Gomphidae. Las familias que más se destacan por ser tolerantes a la contaminación son: Tubificidae, Culicidae, Chironomidae y las más susceptibles son: Calamoceratidae, Perlidae, Gomphidae.

En general el comportamiento de los macroinvertebrados presentes en el río Fraile y la acequia Carisucio mostraron una similitud ecológica respecto a su riqueza específica, en los puntos de muestreo ubicados en la parte alta de la cuenca, exceptuando los ubicados en cuenca baja, la diferencia se presentó en el número de familias de los dos cauces, la cual fue mayor para el río Fraile (32 familias), esto se explica por el tamaño y el abundante caudal del río comparado con la acequia Carisucio (27 familias), la cual es una derivación de este (Figura 2).

En cambio en la parte alta del casco urbano, lugar donde inicia la acequia Carisucio, los puntos de muestreo ubicados muy cercanos espacialmente; en este punto se registraron familias como Gomphidae, Perlidae, Hydrobiosidae, Saldidae, Gerridae; estas son características de zonas sombreadas con aguas prístinas y baja contaminación, además, la abundancia relativa entre estos puntos de muestreo (El Pedregal) fue similar, lo que evidencia que no hay una especie dominante, y si la hubiere, evidenciaría una alteración en el medio biótico o abiótico.

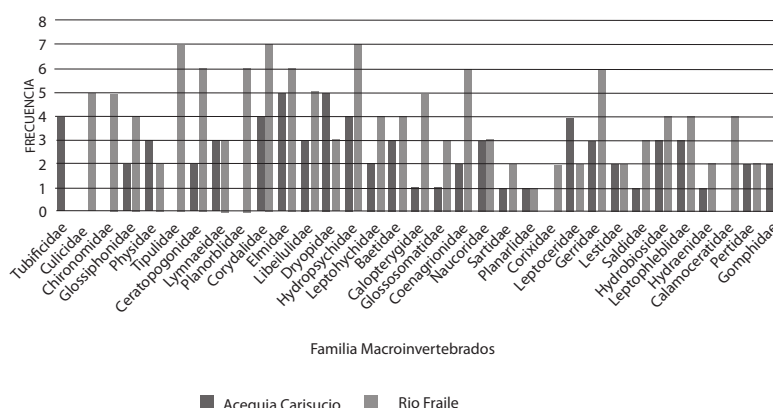


Figura 2. Frecuencia de familias de macroinvertebrados en el río Fraile y acequia Carisucio.

Fuente: Los autores

Con los resultados obtenidos, se evidencia la variabilidad ecológica entre la Acequia Carisucio y el río Fraile en la cuenca baja del muestreo, por la presencia o ausencia de algunas familias entre los cauces. Un ejemplo de este comportamiento, es la presencia de la familia tubificidae, cuyos individuos son característicos de aguas eutrofizadas, sobre fondos lodosos con abundante materia orgánica en descomposición; como es el caso del punto de muestreo San Jorge de la acequia Carisucio, el cual evidencia descargas de vertimientos domiciliarios y de sistemas productivos. Igualmente, el punto de muestreo El Cedro cuyos muestreos reportaron individuos de las familias Culicidae y Chironomidae las cuales se caracterizan a diferencia de tubificidae por vivir en aguas lólicas, pero comparten la similitud de ambientes con abundante materia orgánica en descomposición; lo que evidencia que el río Fraile al paso por el municipio presenta unos niveles elevados de contaminación.

En cuanto a los índices de bioindicación usados se pudo apreciar una tendencia en el devenir de las familias de macroinvertebrados presentes, mostrando un patrón de aumento en las familias tolerantes a la contaminación a medida que los cauces discurren aguas abajo del municipio; lo que se traduce en que estos cauces tan importantes están siendo fuertemente afectados

por las descargas realizadas a ellos y muestran una pérdida de la calidad de agua bastante grave, llevándola de una agua prístina y cristalina a aguas fuertemente contaminadas y en situación crítica. La Tabla 2 presenta los resultados obtenidos de acuerdo con el método de BMWP y el ASPT calculado para cada uno de los puntos de muestreo en los dos cauces, de acuerdo con los puntajes asignados para cada una de las familias encontradas.

De acuerdo con este índice, la calidad del agua en los dos cauces va disminuyendo desde la entrada al casco urbano hasta su salida. De acuerdo con el ASPT la mayoría de las estaciones tiene agua Clase II, Aceptable, lo que significa ligeramente contaminada. Sin embargo, los puntos 3 del río Fraile y la acequia Carisucio presentaron aguas moderadamente (Clase IV – muy mala) y fuertemente contaminadas (Clase VI – Muy crítica) respectivamente. Es decir, que el río Fraile y la quebrada Carisucio presentan aguas ligeramente contaminadas desde el primer punto de muestreo.

En el caso de Pedregal, en los muestreos 1, 2 y 4 se presentan familias de macroinvertebrados asociadas, puntajes de aguas ligeramente contaminadas, las cuales tienden a sufrir un cambio poblacional a especies más tolerantes a la contaminación; mientras que en el muestreo 3

se registra la presencia de las familias Glossiphoniidae y Ceratopogonidae, las cuales indican un

alto índice saprobio, por tal motivo se registran datos en aguas muy contaminadas.

Tabla 2. Resultados obtenidos a partir del BMWP/COL y ASPT calculado

Cauce	Estación	Muestreo	BMWP/ COL	TOTAL ASPT	SIGNIFICADO
Acequia Carisucio	Pedregal	M1	46,0	7,7	Ligeramente Contaminada
		M2	46,0	6,6	Ligeramente Contaminada
		M3	41,0	5,9	Aguas moderadamente contaminadas
		M4	59,0	7,4	Ligeramente Contaminada
	Los pinos	M1	54,0	6,8	Ligeramente Contaminada
		M2	73,0	6,6	Ligeramente Contaminada
		M3	69,0	6,9	Ligeramente Contaminada
		M4	61,0	6,8	Ligeramente Contaminada
	San jorge	M1	1,0	1,0	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
		M2	1,0	1,0	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
		M3	1,0	1,0	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
		M4	1,0	1,0	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica
Río Fraile	Pedregal	M1	57,0	7,1	Ligeramente Contaminada
		M2	91	6,5	Ligeramente Contaminada
		M3	78	6,5	Ligeramente Contaminada
		M4	62	5,6	Aguas moderadamente contaminadas
	Pubenza	M1	74	6,7	Ligeramente Contaminada
		M2	83	5,9	Aguas moderadamente contaminadas
		M3	80	8,0	Ligeramente Contaminada
		M4	92	6,6	Ligeramente Contaminada
	Cedro	M1	41	4,6	Aguas moderadamente contaminadas
		M2	46	5,1	Aguas moderadamente contaminadas
		M3	39	4,9	Aguas moderadamente contaminadas
		M4	38	5,4	Aguas moderadamente contaminadas

Fuente: Los autores

Dada esta situación, para el caso del río Fraile se determina que la calidad del agua está fuertemente influenciada por las condiciones climáticas. En el caso de la época de sequía, en los cauces tiende a concentrarse la contaminación debido al poco caudal y baja dilución de la carga orgánica en los puntos más impactados. Por lo tanto, se evidencia una diferencia en la composición de familias presentes en la época de sequía y la temporada de lluvias.

Algunos puntos con macroinvertebrados asociados a buena calidad del agua, como es el caso de Pedregal y en otros con familias de macroinvertebrados tolerantes a mayores niveles de contaminación (caso Cedro o San Jorge). Mientras que en la época de lluvias, la calidad del agua se deteriora desde la parte alta, por la presencia de sedimentos y se presenta de manera homogénea, con la carga contaminante diluida; aunque se evi-

dencian familias tolerantes a la contaminación en los casos más críticos (San Jorge).

En este estudio se registran familias sensibles a la contaminación como Calamoceratidae, Perlidae, Gomphidae y tolerantes a la misma por enriquecimiento de materia orgánica e inorgánica en los sitios estudiados: Culicidae y Chironomidae. Según Roldán (2016), estos macroinvertebrados tolerantes a la contaminación resisten concentraciones muy bajas de oxígeno, lo que les permite alcanzar densidades poblacionales extremadamente altas.

Análisis fisicoquímico de la calidad de agua

A partir de los Índices de Contaminación Ambiental (ICOs) se estableció la calidad del agua de los dos cauces: río Fraile y la acequia Carisucio, en los diferentes puntos de muestreo



realizados. Se evidenció una tendencia de contaminación del agua, al pasar los cauces por el área urbana, siendo esta menos evidente en el río Fraile que en Carisucio, como lo muestran los índices de contaminación (ICOMO, ICOSUS, ICOMO) (Figura 3); con rangos cercanos a 1 principalmente en el punto de San Jorge, donde todos los muestreos realizados reportaron muy alta contaminación. Lo anterior puede deberse a que el caudal de flujo del río Fraile con sus 6 m³/s promedio es relativamente mayor al caudal de la quebrada Carisucio con (0.08569 m³/s), lo que evita el arrastre y la dilución de sedimentos, aguas residuales domésticas y escorrentía agrícola, incrementando la concentración de carbonatos y sulfatos que se presentan por las descargas de aguas residuales domésticas y sales disueltas generadas por el arrastre del suelo

erosionado, ocasionada por la escorrentía superficial en este punto de muestreo.

Específicamente, en la entrada al área urbana en el punto de derivación del río Fraile y acequia Carisucio, el cauce trae consigo vertimientos producto de actividades domésticas aguas arriba o conexiones directas por parte de las viviendas rurales, al pasar por el casco urbano los cauces presentan un incremento en el índice de mineralización ICOMI, el cual se expresa en función de la conductividad (como reflejo de los sólidos disueltos), la dureza (reúne los cationes calcio y magnesio) y la alcalinidad (recoge los aniones carbonato y bicarbonato), proveniente de las descargas de actividades porcícolas y avícolas, además de agua residual doméstica y detergentes de todo tipo.

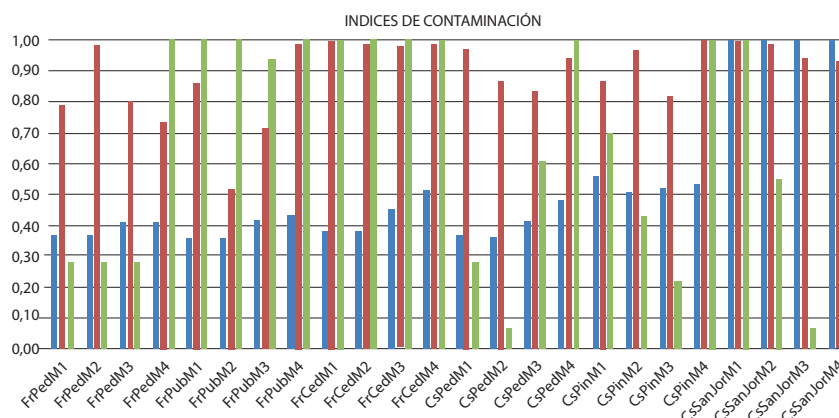


Figura 3. Índices de contaminación ICOMI, ICOMO, ICOSUS.

Fuente: Los autores

Respecto al comportamiento del Índice de Calidad del Agua (ICA) en los cauces Fraile y Carisucio se calcularon valores entre 0,10 y 0,25. De esta manera se evidencia que el agua de dichos cauces se encuentra afectada, con una calificación de la calidad de agua muy mala, este

comportamiento es consecuente con la gestión inadecuada de vertimientos domésticos y de actividades agroindustriales, los cuales terminan sin ningún tipo de tratamiento en los cauces objeto de estudio (Figura 4).

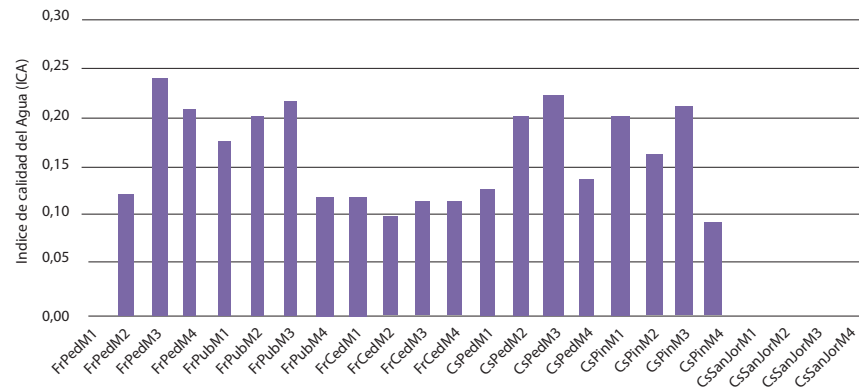


Figura 4. Índice de Calidad del Agua para el río Fraile y la quebrada Carisucio.

Fuente: Los autores

Con relación a los parámetros fisicoquímicos, el río Fraile presenta un pH básico con relación a la quebrada Carisucio que registra un pH ligeramente ácido. En cuanto a sólidos disueltos totales, estos se aumentan a medida que el cauce pasa por el casco urbano, lo que impacta en el nivel de turbiedad y en el color del agua. Adicionalmente, las variaciones en los niveles de oxígeno disuelto, que está en rangos iguales o menores a 4mg/L incide directamente en la disminución de las familias de macroinvertebrados.

Sin embargo, para estos análisis se llevó a cabo un análisis descriptivo, que permite diferenciar cada uno de los parámetros analizados (Tabla 3).

En síntesis, los cambios en las variables fisicoquímicas de los cauces, se encuentran asociadas

a las variables antrópicas que los afecta gravemente, y a la variabilidad climática que directamente incide en la calidad y cantidad del agua. Las variables fisicoquímicas son inherentes a los eventos extremos ya sean por razones climáticas o antrópicas. Lo anterior, se refleja sustancialmente en la pérdida o aumento de poblaciones de macroinvertebrados acuáticos. Las variables de mayor influencia son turbiedad, sólidos totales y el oxígeno disuelto, presentándose una disminución de la calidad del agua y de la biodiversidad de macroinvertebrados, aunque se evidencia un menor impacto de las condiciones del río entre los puntos Pedregal y Pubenza para el río Fraile y los puntos Pedregal 2 y Los Pinos para la acequia Carisucio.

Tabla 3. Análisis descriptivo de los parámetros fisicoquímicos analizados en los diferentes puntos de muestreo para el río Fraile y la acequia Carisucio.

RIO	N	Estadísticos descriptivos							
		Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. tip.	Varianza	Curtosis	
FRAILE	Est.	Est.	Est.	Est.	Est.	Est.	Est.	Est.	Error típico
pH	12	0,77	7,04	7,81	7,4608	0,25703	0,066	-0,907	1,232
SDT	12	50,35	28,20	78,55	49,4842	18,43287	339,771	-1,502	1,232
Conductividad	12	133,80	37,50	171,30	81,5192	40,76877	1662,093	0,487	1,232
Turbiedad	12	5,70	0,30	6,00	2,4850	1,72047	2,960	0,151	1,232
Ox. Disuelto	12	7,26	2,40	9,66	4,8050	2,09317	4,381	1,606	1,232
DQO	12	10,99	33,83	44,82	39,6900	4,71706	22,251	-1,650	1,232
DBO	12	88,20	0,30	88,5	29,8708	29,90326	894,205	-0,728	1,232
SST	12	49870	100,00	49970,00	15310,4167	16741,71009	280284856,6	-0,352	1,232
N válido	12								



ACEQUIA	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. tip.	Varianza	Curtosis	
CARISUCIO	Est.	Est.	Est.	Est.	Est.	Est.	Est.	Est.	Error típico
pH	12	2,92	6,10	9,02	7,4542	0,89771	0,806	-0,265	1,232
SDT	12	362,10	42,20	404,30	148,4058	95,50496	9121,198	4,537	1,232
Conductividad	12	558,30	44,70	603,00	2131,1283	152,15036	23149,732	3,351	1,232
Turbiedad	12	168,30	0,70	169,00	24,3792	50,33924	2534,039	6,922	1,232
Ox. Disuelto	12	4,37	0,17	4,54	2,7975	1,72615	2,980	-1,571	1,232
DQO	12	405,96	27,24	433,20	163,8433	198,93986	39577,066	-1,650	1,232
DBO	12	39,20	6,00	45,20	20,6333	12,00169	144,041	-0,122	1,232
SST	12	53700,00	30,00	53730,00	10811,6667	19961,87040	398476269,7	0,918	1,232
N válido	12								

Fuente: Los autores

Análisis automático de agrupamiento (clúster)

Con el fin de analizar el grado de similitud para los tres puntos de muestreo en cada uno de los cauces (Fraile y Carisucio), se utilizó el índice de similitud Bray Curtis, teniendo en cuenta la presencia o ausencia de familias de macroinvertebrados acuáticos. Este índice permite analizar las diferencias en la estructura de estas comunidades en diferentes lugares, mediante un análisis de agrupamiento –clúster– el cual identifica si hay similitud o existen diferencias a nivel biológico en la trayectoria del cauce y comparar si los dos cauces difieren en su composición, de acuerdo con las familias encontradas en los tramos del cauce, dado que se encuentran sometidos a diferentes presiones antrópicas. Así mismo, se tuvo en cuenta los cuatro muestreos realizados, para analizar si existen diferencias en la presencia o ausencia de los organismos en los diferentes tramos del río por época climática.

De acuerdo con el clúster generado (Figura 5) con base en el índice de Similitud calculado, se evidencia que la composición de familias de macroinvertebrados del punto de muestreo de San Jorge de la quebrada Carisucio es disimilar con la composición de familias que se encuentran en los otros puntos de muestreo de la quebrada Carisucio y el río Fraile. Las familias de macroinvertebrados presentes en el punto de San Jorge presentan una alta tolerancia a la contamina-

ción. Sin embargo, el punto de muestreo que presentó mayor similitud entre los dos cauces fue Pedregal, en los muestreos 2 y 3.

De acuerdo con el análisis clúster es posible establecer que el punto 3 de San Jorge en la quebrada Carisucio, se encuentra altamente contaminado y difiere del resto de los puntos de muestreo, siendo tolerantes a la contaminación. De acuerdo con Sánchez Herrera, (2005), los individuos de las familias identificadas permiten establecer sus características ecológicas.

Los muestreos 2 y 3 se llevaron a cabo en agosto y septiembre, esta situación que según la época climática se presentaron pocas lluvias y la calidad del agua se evidenció en mejores condiciones. Para el caso de los muestreos 1 y 4 realizados en los meses de junio y octubre se comprobó que la composición de familias de macroinvertebrados en los puntos del Pedregal se asocian a las encontradas en otros puntos aguas abajo como Cedro, Pinos y San Jorge, siendo este último, el sitio más impactado y que presenta macroinvertebrados más tolerantes a la contaminación, esta especie de homogeneidad o similitud de familias de macroinvertebrados acuáticos que tiende a presentarse en las fechas de los muestreos 1 y 4 puede deberse a que en la época climática que se desarrolló, se presentaron lluvias, que conllevaron a una mala calidad del agua durante todo el trayecto.

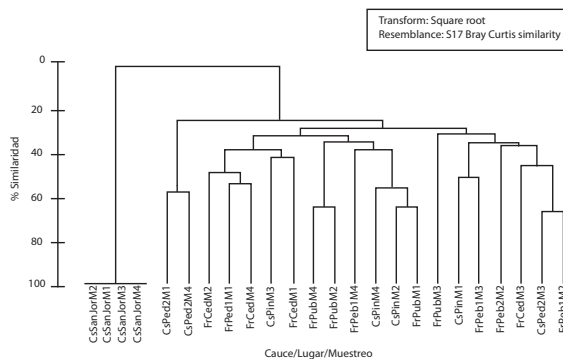


Figura 5. Análisis de agrupamiento clúster realizado para la quebrada Carisucio y el río Fraile. Nota: Para facilitar la interpretación en este diagrama, el río Fraile (Fr) y Carisucio (Cr), Cada punto de muestreo se simboliza con una abreviatura v (Pedregal: Ped; Pinos: Pin; Pubenza: Pub; SanJorge: SanJor; Cedro: Ced; y por último: M1 hace referencia al punto de muestreo 1 y así sucesivamente).

Fuente: Los autores

Por lo anterior, los macroinvertebrados presentes a lo largo del cauce se relacionan con la temporada climática; en este caso, los muestreos 1 y 4 reportan una similitud de familias del 60%; además cuando la época climática cambia a sequía se evidencia un cambio, con respecto a las familias muestreadas en los periodos 2 y 3, disminuyendo la similitud a 40%.

Por otro lado, en los puntos de Pubenza y Cedro, segundo y tercer punto ubicado en el río Fraile, durante el muestreo 2 que presentó una época climática de verano, se concentraron niveles de contaminación un poco mayores, teniendo como resultado una composición de familias similares a las registradas en todas las estaciones en el mismo cauce en los muestreos 1 y 4 cuyo grado de relación es con aguas moderadamente contaminadas.

Este resultado contrasta los resultados encontrados en los dos cauces, se evidencia que en la estación Pinos (Punto 2) de la Quebrada Carisucio, cuyo muestreo 3 que se realizó en época cli-

mática de verano, registró una composición de familias similar a las registradas en la estación de Cedro (punto 3) del río Fraile en el muestreo 1, en época de invierno.

Lo que indica que los niveles de contaminación que registra el río Fraile al final del municipio están siendo alcanzados por la quebrada Carisucio en el punto 2 de muestreo, justo a su paso por el municipio de Florida. Es importante resaltar que en el caso de la quebrada Carisucio (Figura 5), la situación más grave se ve reflejada en el punto de muestreo San Jorge, el cual es totalmente disimilar (0%) de los otros puntos de muestreo y del otro cauce, esta situación se debe a que es el punto donde más se evidencian los impactos ambientales.

En dicha quebrada se presenta la descarga de vertimientos de aguas residuales domésticas y aguas de lavado de porcícolas y avícolas ubicadas en el sector de San Jorge. Caso contrario, sucede con el primer punto de muestreo Pedregal, lugar donde se encuentra la bocatoma para el abastecimiento del acueducto regional de los municipios de Florida y Candelaria e inicia la derivación del río Fraile, convirtiéndose en quebrada Carisucio.

En este análisis de clúster, la composición de macroinvertebrados acuáticos registrada en los muestreos realizados en el punto 2 del río Fraile (Pubenza) ya sean en los muestreos 2 (sequía) y 4 (época de lluvias) difiere de la composición de familias encontradas en Pedregal, muestreo 4, donde las familias encontradas se asocian a una mala calidad del agua. Esta situación, se debe a que la calidad del agua en época de lluvias se altera desde la parte alta de la cuenca: Sin embargo, con el índice de similitud es posible relacionar la presencia de macroinvertebrados en los dos cauces, y el grado de variabilidad que pueden llegar a tener, en términos de calidad del agua y estructura ecológica.

Finalmente, la presente investigación permite analizar con detalle el estado en el que se en-



cuentran estos dos cauces en el municipio de Florida.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, en términos generales las dos fuentes hídricas se ven afectadas a su paso por el casco urbano, porque se deteriora la calidad del agua. Esto se ve reflejado en gran medida por la presencia de vertimientos que aportan aguas residuales, y residuos sólidos en algunos tramos de estas corrientes del río Fraile y la quebrada Carisucio. En el caso puntual del río Fraile, este se encuentra afectado por diferentes actividades antrópicas que varían a lo largo del cauce, generando impactos ambientales negativos, que limitan las condiciones de uso del agua, principalmente para consumo, o uso agrícola.

En síntesis, el río Fraile y la quebrada Carisucio presentan “aguas ligeramente contaminadas” desde el primer punto de muestreo por actividades como extracción de material de arrastre del río, actividades recreativas, ecoturismo; seguido de ganadería y producción agrícola y pecuaria.

Con la aplicación del Índice ASPT se determinó el grado de contaminación en los dos cauces, estableciendo que la calidad del agua se encuentra ligeramente contaminada. En relación con la trayectoria que realizan por el casco urbano se evidencian cambios en la composición de familias de macroinvertebrados entre los puntos de muestreo. Sin embargo, la quebrada Carisucio refleja mayor impacto de la contaminación y deterioro en la calidad del agua presentando menor riqueza específica en este tipo de poblaciones biológicas. En conclusión, la calidad del agua incide directamente en las familias de macroinvertebrados presentes, dado que estas familias han demostrado mayor potencialidad a la sensibilidad o tolerancia a la contaminación y esta respuesta está determinada por la calidad fisicoquímica del agua.

En el caso de las familias de los macroinvertebrados encontradas, se evidencia que estas presentan un grado de adaptación a las condiciones de calidad del agua. A pesar de que el número de familias decrece a medida que las condiciones de calidad de agua disminuyen. El río Fraile presentó una mala calidad de agua, generando señal de alerta naranja y la quebrada Carisucio presentó muy mala calidad de agua, con una señal de alerta roja. Esta situación incide directamente en la calidad de vida de los pobladores del municipio de Florida y en el aumento del costo de potabilización para el acueducto regional que abastece a los municipios de Florida y Candelaria.

No obstante, mientras que el BMWP-Col usa un enfoque cualitativo (presencia/ausencia) y un nivel taxonómico de familia, los índices de calidad de agua como ICA, ICOSUS, ICOMI e ICOSUS son cuantitativos y tienen en cuenta variables ambientales, las cuales los macroinvertebrados responden con niveles de tolerancia. De esta manera, se concluye que, si se observa una correlación entre las condiciones fisicoquímicas del agua y el grado de tolerancia de un grupo de familias significa que la respuesta de ambos es similar en cuanto a la variabilidad de la calidad del agua presente en cada uno de los cauces.

Estos resultados se convierten en una herramienta que determina el estado biológico y de calidad de agua del río Fraile y la quebrada Carisucio, con el fin de identificar gradientes ambientales y correlación entre variables fisicoquímicas.

Para estudios posteriores, se sugiere establecer una relación de la frecuencia de aparición de macroinvertebrados acuáticos con las condiciones fisicoquímicas determinadas para cada una de las estaciones de muestreo, ya que la abundancia relativa de cada una de las familias presentes es importante para establecer la diversidad específica de los ecosistemas.

Referencias bibliográficas

- American Public Health Association & American Water Works Association (1989). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association.
- Behar, R., Zúñiga de Cardozo, M. & Rojas Ch, O. (1997). Análisis y valoración del índice de calidad de agua (ICA). NSF: casos ríos Cali y Meléndez.
- Clarke K. R. & Warwick R. M. (2001). Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2nd edition, Primer-E, Plymouth Marine Laboratory. UK.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, Asofraile, Gaiacol & Asociación de Usuarios de la Cuenca del Río Fraile (2013). Caracterizar socioeconómicamente los usuarios del agua y ambientalmente la cuenca del río Fraile, además de realizar el diagnóstico del estado actual de la infraestructura de abastecimiento de agua de la cuenca, incluyendo la existente en el área reglamentada. Contrato 342 de 2013 CVC - Consorcio Asofraile Gaiacol.
- Forero, L. C., Longo, M., Ramírez, R., Jairo, J. & Chalar, G. (2014). Índice de calidad ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para la cuenca del río Negro (ICE RN-MAE), Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 62: 233-247.
- Montoya M, Yimmy, Acosta, Y. & Zuluaga, E. (2011). Evolución de la calidad del agua en el río Negro y sus principales tributarios empleando como indicadores los índices ICA, BMWP/COL y ASPT. *Caldasia*, 33(1): 193-210.
- Montoya, J. G., Bedoya, J. C. C. & Moreno, Y. M. (2012). Caracterización de la calidad del agua de la parte alta de la microcuenca de la quebrada La Cimarronas, El Carmen de Viboral (Antioquia), utilizando macroinvertebrados acuáticos. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó Investigación Biodiversidad y Desarrollo*, 31(1).
- Restrepo, R. & Cardeñoso, M. (1999). Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. *Formulaciones. CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro* 1(5): 89-99.
- Rivera Usme, J. J., Pinilla Agudelo, Gabriel & Camacho Pinzón, D. L. (2013). Grupos tróficos de macroinvertebrados acuáticos en un humedal urbano andino de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 18(2).
- Roldán-Pérez, G. (2016). 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*, 40(155): 254-274.
- Sánchez Herrera, M. J. (2005). El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party Score), modificado y adaptado al cauce principal del río Pamplonita norte de Santander. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 3(2).
- Zúñiga, M., Cardona, W., Cantera, J., Carvajal, Y. & Castro, L. (2009). Bioindicadores de calidad de agua y caudal ambiental. *Caudal ambiental: conceptos, experiencias y desafíos* 1.