

Evaluación de la Calidad del Agua en Algunos Puntos Afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación

Lisbeth C. Madera⁽¹⁾, Luis C. Angulo⁽²⁾, Luis C. Díaz⁽²⁾ y Roberto Rojano⁽³⁾

(1) Universidad Popular del Cesar, Grupo de Investigación GEAB-CIDTEC, Facultad de Ingeniería, Bloque A, Sede Hurtado, Valledupar, Cesar – Colombia (e-mail: maderalisbeth@gmail.com).

(2) Universidad Popular del Cesar, Grupo de Investigación GEAB-CIDTEC, Facultad de Ingeniería, Bloque A, Sede Hurtado, Valledupar, Cesar – Colombia (e-mail: lchangulo@unicesar.edu.co).

(3) Universidad de La Guajira, Grupo de Investigación GISA, Facultad de Ingeniería, Km.5 Vía Maicao, Riohacha, La Guajira – Colombia (e-mail: rrojano@uniguajira.edu.co).

Recibido Nov. 23, 2015; Aceptado Ene. 22, 2016; Versión final Mar. 24, 2016, Publicado Ago. 2016

Resumen

Se determinó la calidad del agua en puntos afluentes del río Cesar como el río Calenturitas, Maracas y Tucuy, utilizando macro invertebrados acuáticos como bioindicadores y aplicando el índice BMWP/Col adaptado para Colombia por Roldan (Biological Monitoring Working Party score). Se establecieron cinco estaciones y dos jornadas de muestreo (periodo seco y de lluvias). Se colectaron muestras de agua para análisis fisicoquímicos e identificación de macro invertebrados que fueron contados e identificados mediante estereomicroscopio y claves taxonómicas. En total se identificaron 1025 organismos, 589 en periodo seco y 436 en periodo de lluvias, pertenecientes a 2 phylum, 3 clases, 9 órdenes, 24 familias y 37 géneros. El valor promedio del índice BMWP/Col define la calidad del agua de la estación 1 (E1) como agua ligeramente contaminada, de calidad aceptable, E2-E3-E4 y E5 como agua moderadamente contaminada, de calidad dudosa. Agua de la estación E5 presenta el puntaje más bajo de todas las estaciones y las variables fisicoquímicas y microbiológicas más altas.

Palabras clave: bioindicadores, contaminación, calidad del agua, macro invertebrados acuáticos, índice biótico BMWP/Col

Water Quality Evaluation on Some Tributary Points of Cesar River (Colombia) using Aquatic Macro invertebrates as Pollution Bioindicators

Abstract

Water quality in tributaries points of the river Cesar such as the Calenturitas river, Maracas river and Tucuy river and using aquatic macroinvertebrates as bioindicators and applying the biotic index BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party score) adapted to Colombia by Roldan has been assessed. Five sampling stations were established, conducting two period of sampling (dry and rainy period). Water samples were collected for physico-chemical analysis and identification of macroinvertebrates that were counted and identified by stereomicroscope and taxonomic keys. A total of 1025 organisms (589 during the dry period and 436 organisms during the rainy) and belong to 2 phylum, 3 classes, 9 orders, 24 families and 37 genera, were identified. The average value of the BMWP/Col index defines the water of E1 station as slightly polluted but of acceptable quality, E2-E3-E4 and E5 as moderately polluted and classified as of doubtful quality. Of these, water of station E5 presented the lowest score of all stations and the highest physicochemical and microbiological variables.

Keywords: bioindicators, pollution, water quality, aquatic macroinvertebrates, biotic Index BMWP/Col

INTRODUCCIÓN

Todas las actividades humanas generan impactos sobre el medio ambiente; la agricultura, la ganadería y la minería a gran escala, no son la excepción y estas son actividades económicas muy importantes en los municipios de Becerril, La Jagua y El Paso (corregimiento la Loma, en Colombia). Los ríos que recorren estos municipios son el río Maracas, el Tucuy y el Calenturitas (afluentes del río Cesar), respectivamente, éstos recogen sedimentos y elementos tóxicos generados por las diversas actividades económicas y urbanas, mismos que llegan al río Cesar y donde la fauna se ha visto sustancialmente reducida (Corpocesar, 2011). La evaluación de la calidad del agua se ha realizado tradicionalmente con base en los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos. Sin embargo, en los últimos años, ha sido prioritaria la inclusión de las comunidades acuáticas como una herramienta básica para evaluar la calidad de los ecosistemas (Roldan, 2003; Forero y Reinoso, 2013), debido a que el uso de macroinvertebrados acuáticos resulta una herramienta ideal, sencilla, rápida y de bajo costo para la caracterización biológica e integral de la calidad del agua (Roldan, 1996; Rosales y Sánchez, 2013; Vásquez y Medina, 2014) revelando las condiciones ambientales actuales y a través del tiempo (Alba-Tercedor, 1996, Springer, 2010).

Por todo ello, se determinó la calidad del agua en algunos puntos afluentes del río Cesar como son el río Maracas, Tucuy y el Calenturitas, utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores y aplicando el índice biótico BMWP de Helawell (1978), modificado por Alba-Tercedor y Sánchez (1988) y adaptado para Colombia por Roldan (2003), también conocido como índice BMWP/Col; el cual solo requiere llegar hasta nivel de familia. Esta investigación contribuye al reconocimiento de la biodiversidad limnológica de estas subcuencas, con un énfasis especial en la fauna de macroinvertebrados acuáticos, identificando su uso potencial como bioindicadores de contaminación en esta área de estudio, para el logro de una evaluación integral que permita el planteamiento de estrategias efectivas y concretas en la mejora de las condiciones del recurso hídrico y su conservación.

MATERIALES Y METODOS

Se describe el área de estudio, luego se explica cómo se realizó la selección de puntos de muestreo y la recolección de muestras de agua para análisis fisicoquímicos, terminando con una explicación sobre el análisis de variables

Área de estudio

El análisis de la red hidrográfica, señala como unidad general de estudio a la cuenca del Río Cesar, Departamento del Cesar, Colombia, dentro de esta región se encuentran la subcuenca del río Calenturitas, el cual es el eje central de este estudio, y comprende los municipios de Becerril, La Jagua de Ibirico y el Paso (corregimiento la Loma). El río Calenturitas está conformado por las subcuencas del Río Maracas y el Río Tucuy; sus aguas surcan los terrenos del proyecto minero Calenturitas; así mismo, atraviesa el proyecto El Descanso, en su extremo sur y desemboca en el río Cesar. La región se caracteriza por un clima cálido tropical, bimodal e influenciado por los vientos alisios, presenta precipitación promedio anual de 1000 mm, lo cual corresponde a un sector de alto déficit hídrico en verano. La temperatura promedio es de 28 °C.

Selección de puntos de muestreo

Se establecieron cinco estaciones de muestreo (Ver Fig. 1). Estación 1 (E1) ubicada en el río Maracas, Estación 2 (E2), ubicada en el río Maracas, aguas abajo de E1, Estación 3 (E3) y Estación 4 (E4), ubicadas en el río Tucuy y Estación 5 (E5) ubicada en el río Calenturitas.

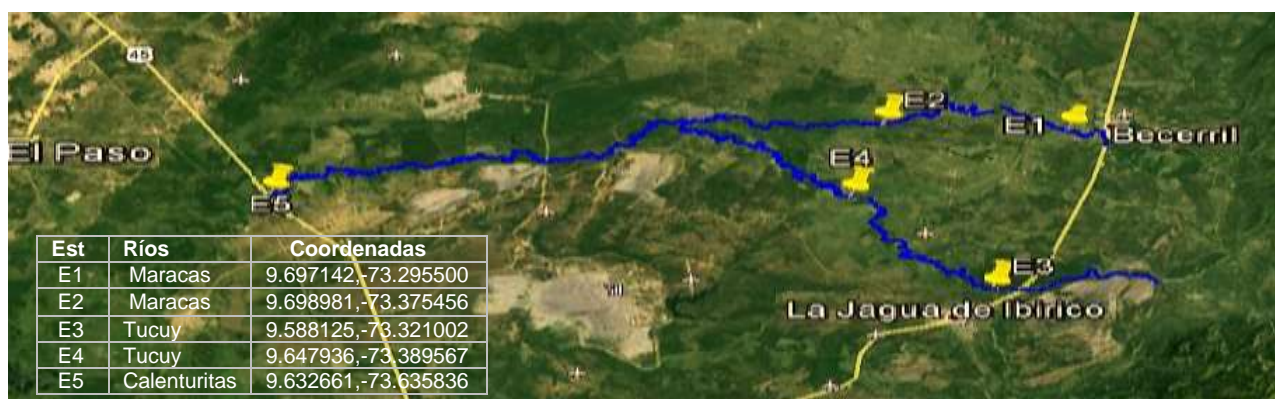


Fig. 1: Ubicación de las estaciones de muestreo.

Se realizaron dos jornadas de muestreo una en el mes de Marzo y la otra en el mes de Diciembre de 2015 abarcando el periodo seco y de lluvias respectivamente. Los macroinvertebrados fueron colectados a lo largo de 40 m de cada estación, es decir 20m antes y después de cada punto seleccionado. Se colectaron muestras de agua para realizar análisis físico químicos y se colectó la mayor cantidad de macroinvertebrados posible en cada estación.

Recolección de macroinvertebrados e identificación taxonómica

La recolección de los macroinvertebrados se realizó mediante el empleo de una red D Net, una red de mano o de pantalla y recolección manual en diversos sustratos como rocas, arena, vegetación ribereña, troncos y hojarasca, aplicando las recomendaciones y metodología citada por Roldan (2003), luego fueron depositados en frascos con alcohol al 70% y trasladados al laboratorio para su identificación con estereomicroscopio marca Cole Parmer y el uso de claves taxonómicas.

Recolección de muestras de agua para análisis fisicoquímicos

En los tramos seleccionados se midieron variables fisicoquímicas in situ como pH y Oxígeno Disuelto, los cuales fueron analizados siguiendo Standard Methods (SM) como: 4500-H B y 4500-O G, respectivamente; también se colectaron muestras de agua para posterior análisis de parámetros como, Demanda Bioquímica de Oxígeno: DBO₅ (SM 5210 B), Sólidos Suspendidos Totales: SST (SM 2540 D), Sólidos Disueltos Totales: SDT (SM 2540 C), Conductividad (SM 2510 B), Acidez (Titulométrico), Alcalinidad, Hierro (SM 3030 K), Nitrógeno Total Kjeldahl: NTK (SM 4500 N_{org} B), Fósforo Total (SM 4500-PB) y las variables microbiológicas: Coliformes Totales (SM 9223 B) y Escherichia coli: E-coli (SM 9223 B) en los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas (APHA, 2012).

Análisis de variables

La evaluación de la calidad del agua en los tramos estudiados se realizó a través del cálculo del índice biológico BMWP/Col. En el cual se ordenaron las familias de macroinvertebrados en 10 niveles con las puntuaciones de 1 a 10, siendo 1 un número de mayor tolerancia y 10 de menor tolerancia (Roldan, 2003). Su fórmula es la siguiente:

$$BMWP = T1+T2+T3+...Tn \quad (1)$$

Donde, T es el nivel de tolerancia y el número corresponde a la familia, resultando una sumatoria de todas las familias que indican los niveles de calidad de agua. Para las variables físico-químicas de estudio se aplicó un análisis descriptivo y comparativo con la Norma Colombiana de vertimientos (Resolución 0631 de 2015) y se realizó un análisis de correspondencia canónica (ACC).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se presentan en tres subsecciones: i) caracterización biológica; ii) caracterización fisicoquímica y microbiológica; iii) puntaje BMWP/Col

Caracterización Biológica

Como se observa en la tabla 1, se identificó 1025 organismos, 589 en periodo seco y 436 en periodo de lluvias, estos organismos pertenecían a 2 phylum, 3 clases, 9 órdenes, 24 familias, 37 géneros. El orden Hemiptera presentó mayor riqueza, se registraron 5 familias y 11 géneros, seguida del orden Coleóptera con 5 familias y 8 géneros y el Odonata con 3 familias y 6 géneros, cabe señalar que Weirauch & Schuh (2011), describieron que los hemípteros están entre los órdenes de insectos de mayor riqueza. En la estación (E1) se encontró la mayor riqueza con 15 familias y 20 géneros presentes, mientras E5 presentó la más baja con 9 familias y 13 géneros, coincidiendo con estudios realizados por Figueroa et al., (2007) y en 2012 por Olivares et al., quienes observaron una disminución de la riqueza de especies de acuerdo al mayor grado de contaminación.

Como se muestra en la figura 2, las familias más abundantes a lo largo de todo el estudio fueron Gerridae, Veliidae, Chironomidae, Baetidae y Palaemonidae respectivamente. La familia Gerridae además de ser la de mayor abundancia, fue la más común en cuatro estaciones, cabe señalar que no se registró en la estación 5. Esta familia, al igual que Veliidae se caracterizan por la capacidad de caminar o permanecer sobre la superficie del agua, de ahí que se les conoce como "patinadores o zapateros", para ello es muy importante la tensión y viscosidad superficial, por lo tanto cualquier circunstancia que altere esta característica, influye en la presencia o ausencia de estas especies de insectos (Padilla & Nieser, 2003; Hanson et al., 2010). Por otro lado, no se registró la familia Veliidae en E2, ni Belostomatidae en E4 (Ver Tabla 1).

Tabla 1: Caracterización de macroinvertebrados de los ríos Maracas, Tucuy y Calenturitas (año 2015). E1: Río Maracas E2: Río Maracas (aguas abajo) E3: Río Tucuy E4: Río Tucuy (aguas abajo) E5: Río Calenturitas

Clase	Orden	Familia	Genero	Periodo Seco					Periodo Lluvioso						
				E1	E2	E3	E4	E5	E1	E2	E3	E4	E5		
Insecta	Hemiptera	Nepidae	<i>Ranatra</i>	6											
		Gerridae	<i>Brachymetra</i>	37			13								
			<i>Trebobates</i>	31	23	23	11		20		13	16			
		Veliidae	<i>Rhagovelia</i>	37			37	12	13					4	
			<i>Stridulivelia</i>			19	10					12	6	8	
			<i>Huseyella</i>							17				5	
		Belostomatidae	<i>Belostoma</i>		19				15	7	6	6			14
			<i>Lethaerus</i>						4						
		Naucoridae	<i>Limnocoris</i>		16	4	8		8	4	4	12			
			<i>Ambrysus</i>				4								
			<i>Pelocoris</i>										4		
		Odonata	Gomphidae	<i>Aphyla</i>	10			3							
				<i>Phyllogomphoides</i>				4		6					
	Libellulidae		<i>Dythemis</i>	5	8		17								
			<i>Erythemis</i>										12		
	Coenagrionidae		<i>Argia</i>	10											
		<i>Ischnura</i>				3		7				11			
	Diptera	Tabanidae	<i>Chrysops</i>	5											
		Chironomidae	<i>Chironomus</i>		14				23		29			24	
		Culicidae	<i>Haemagogus</i>						6						
	Coleoptera	Dryopidae	<i>Pelonomus</i>	10											
			<i>Dryops</i>	12											
		Dytiscidae	<i>Agabus</i>	5	9				2						
			<i>Copelatus</i>						3						
			<i>Dytiscus</i>								10				
		Noteridae	<i>Hydrocanthus</i>		5	5					16		10		
		Elmidae	<i>Andogyrsn</i>						4	4			2		
	Hydrophilidae	<i>Hydrophilus</i>								16					
	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Trhaulodes</i>			11						12		3	
		Baetidae	<i>Baetodes</i>			14	16					14		3	
			<i>Baetis</i>				34								
		Caenidae	<i>Caenis</i>									11			
	Megaloptera	Sialidae	<i>Sialis</i>			4					3				
	Trichoptera	Hydrobiosiidae	<i>Atopsyche</i>							14			4		
Malacostraca	Decapoda	Pseudothelphusidae	<i>Hypolobocera</i>	6	2					9					
		Palaemonidae	<i>Macrobrachium</i>			6		8				11	13		
Gastropoda	Basomatoph	Planorbidae	<i>Tropicorbis</i>										9		
			Total	174	96	86	160	73	105	85	75	88	83		
			% de Abundancia	17	9,4	8,4	15,6	7,1	10,2	8,3	7,3	8,6	8,1		

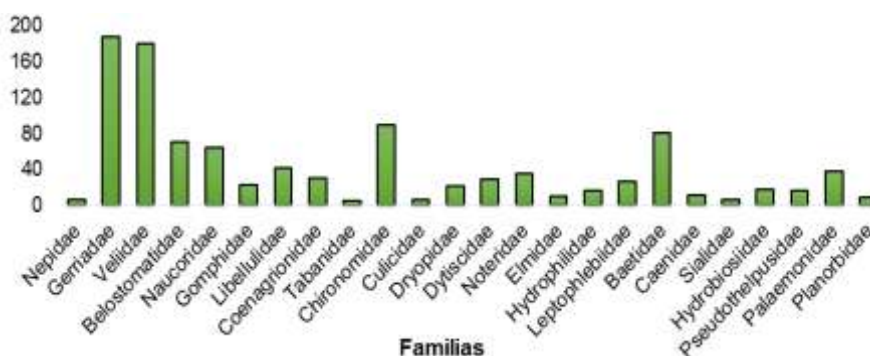


Fig. 2: Frecuencia de Familias en los ríos Maracas, Tucuy y Calenturitas (año 2015).

Baetidae estuvo ausente en E1 y E2, esta familia es una de las más sensibles a la contaminación del agua, sin embargo algunas especies de los géneros *Baetis* y *Baetodes* presentan cierto grado de tolerancia a la contaminación (Flowers & De la Rosa, 2010), por último, Chironomidae solo se registró en E2 y E5. Esta familia es indicadora de aguas mesotróficas a eutróficas, contaminadas a muy contaminadas (Roldán, 1996, 2003; Liévano & Ospina, 2007). Así mismo se halló exclusividad de algunas familias en varias estaciones como por ejemplo Nepidae, Dryopidae y Tabanidae presentes en E1; Planorbidae y Culicidae en E5 y Sialidae en E3. Se obtuvo porcentajes de abundancia total del 27%, 18%, 16%, 24% y 15% para E1, E2, E3, E4 y E5 respectivamente, contemplando ambos periodos de muestreo.

Caracterización Fisicoquímica y microbiológica

Durante el periodo de lluvias las variables Conductividad y Sólidos Disueltos Totales presentaron una leve disminución de su concentración, mientras la Acidez, Coliformes Fecales, Coliformes Totales, Hierro y los Sólidos Suspendidos Totales mostraron un leve aumento. Todas estas variables mostraron un importante incremento en E5 respecto al resto de estaciones. Aunque para varios de estos parámetros no existen límites aun establecidos de restricción en la norma colombiana de vertimientos, son objeto de análisis y reporte por parte del sector industrial, comercial y de servicio y se encuentran evidenciando diferencias en la calidad de estos cuerpos de agua en sus diferentes tramos. De acuerdo a la Norma colombiana de vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficial (Resolución 0631 de 2015) las concentraciones de hierro y Sólidos Suspendidos Totales (variables asociadas a procesos erosivos) sobre pasan los límites permitidos en vertimientos de actividades de minería y agroindustria. Por otro lado, los valores de pH, DBO₅, Oxígeno Disuelto, NTK, Fosforo Total y Alcalinidad fueron muy similares en todas las estaciones y periodos, presentándose dentro de los rangos admisibles recomendados para la conservación de la vida acuática.

Tabla 2: Variables fisicoquímicas y microbiológicas por estación y periodo

Periodo Seco (mes de Mayo 2015)													
EST	PH	SST	DBO ₅	O ₂	NTK	PT	ACIDEZ	ALCALI	COND	SDT	Fe	COLIF TOTAL	E-COLI
E1	7,56	10,6	5	7,2	2	0,191	53	210	442	249	0,1	12990	557
E2	7,43	10,6	5	7,5	2	0,3056	67	189	416	232	0,197	17000	592
E3	7,66	10,7	5	7,35	2	0,248	73	158	531	332	0,144	19000	220
E4	7,83	12,6	5	5	2	0,257	86	145	870	593	0,223	10480	100
E5	6,75	94,3	9,59	7,22	2,14	0,179	79	158	1426	1045	0,419	31100	1000
Periodo Lluvioso (mes de Diciembre 2015)													
EST	PH	SST	DBO ₅	O ₂	NTK	PT	ACIDEZ	ALCALI	COND	SDT	Fe	COLIF TOTAL	E-COLI
E1	7,5	10	5,4	8,39	2	0,075	55	200	371	208	0,25	9820	200
E2	7,3	10	5,2	9,26	2	0,075	68	169	345	193	0,385	17850	200
E3	7,6	10	5,32	8,8	2	0,075	77	146	416	262	0,475	22240	100
E4	7,81	22,4	5,2	8,44	2	0,075	94	120	688	468	1,25	7710	100
E5	6,6	117	4,77	8,26	2	0,123	90	135	1101	804	2,01	36800	1000

De acuerdo al Análisis de correspondencia Canónica realizado (ver Fig. 3). El primer componente fue asociado ligeramente de forma negativa con los Coliformes Fecales y la DBO₅, positivamente estuvo asociado levemente con el Fósforo y el pH. Las variables ambientales que tuvieron mayor influencia en la diversidad de macroinvertebrados acuáticos fueron SST, Hierro (variables asociadas a procesos erosivos), Coliformes Totales y Fecales (asociado a procesos de óxido/reducción de materia orgánica), Acidez, pH y Alcalinidad (asociadas a procesos de mineralización). La familias Chironomidae y Culicidae encontradas

exclusivamente en E5 se relacionaron fuertemente con la DBO₅, Coliformes Fecales, Nitrógeno, Sólidos Suspendidos y Hierro evidenciando una amplia tolerancia frente a estos parámetros; la familia Planorbidae con los Sólidos Disueltos y la Conductividad evidenciando su tolerancia hacia contaminación por mineralización; Veliidae con concentraciones de Fósforo y algunas familias como Tabanidae, Dryopidae y Nepidae con la Alcalinidad las cuales fueron exclusivas de E1. Por otro lado algunas familias no reflejaron asociaciones aparentes con el comportamiento de las variables fisicoquímicas como fueron Caenidae, Leptophlebiidae y Sialidae.

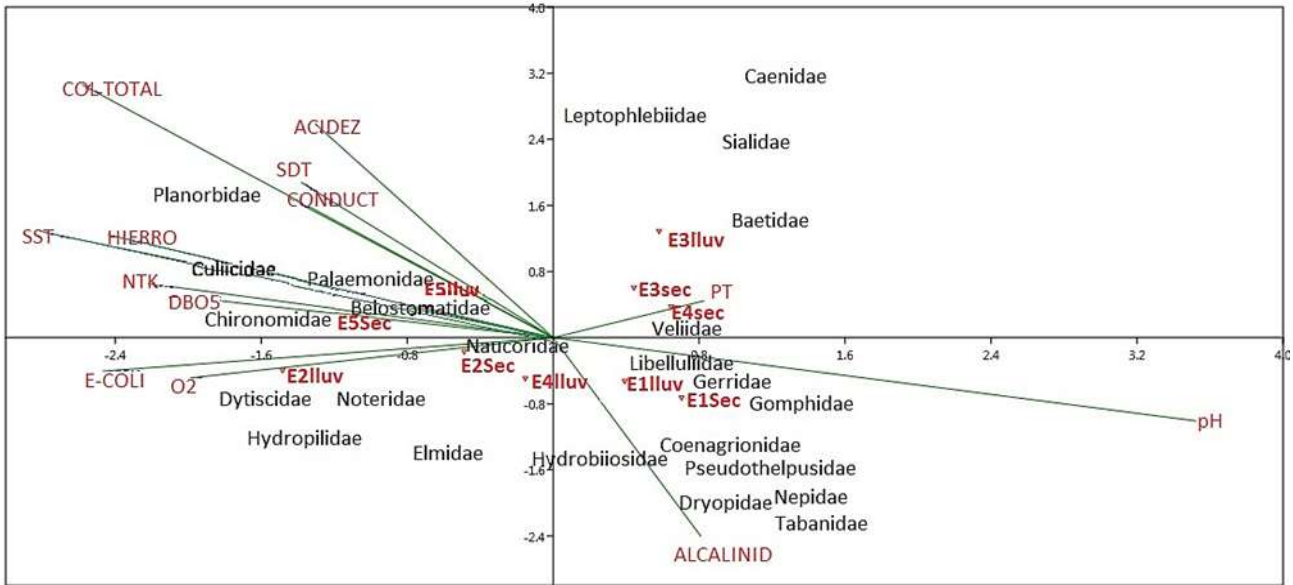


Fig. 3: Análisis de Correspondencia Canónica parámetros físico-químicos, Familias, Estaciones.

Puntaje BMWP/Col

A continuación se calculó el índice BMWP/Col para el periodo seco, lluvioso y un puntaje promedio que representa la calidad del agua en cada estación (Ver Fig. 4). Con lo cual se evidencian cambios en la calidad del agua para cada punto, de acuerdo al periodo evaluado. Según Sánchez et. al., (2010) citado por Rosales & Sánchez (2013), la calidad de aguas analizada con el método BMWP en la cuenca del río Capira (Panamá) sugieren que la calidad del agua cambia entre sitios y entre épocas, es decir a nivel espacial en sitios río abajo se observa un progresivo deterioro del ecosistema acuático producto de la alteración del hábitat por la actividad humana, cabe resaltar que esta tendencia también fue observada en los estudios realizados por Figueroa et al., (2007) y Mosquera et al., (2008).

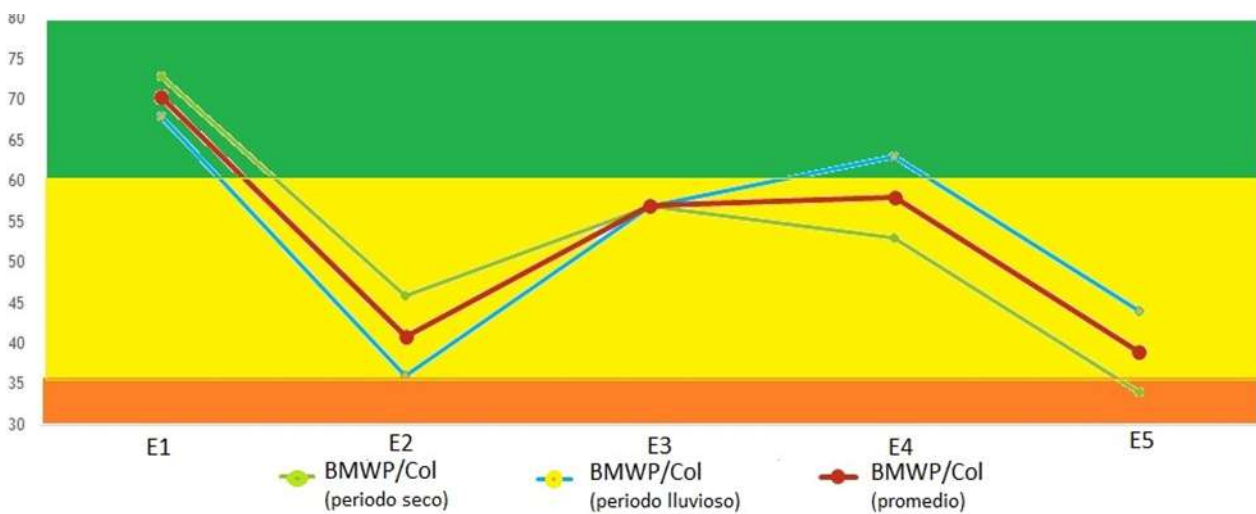


Fig. 4 Índice BMWP/Col por estaciones y periodos

Por otro lado cuando llegan las lluvias, cambia la química del agua alterando los arreglos de macroinvertebrados. En el estudio realizado por Ramírez et al., (2013) en un tramo del río Bogotá, Cajicá-Colombia la abundancia de organismos se incrementó con la pluviosidad, caso contrario a lo observado en este estudio y en el realizado por Forero & Reinoso (2013), donde fueron colectados menor cantidad de

individuos para este periodo; este hecho pudo deberse al aumento de las corrientes en el periodo de lluvia dado que muchos de estos organismos son arrastrados por las corrientes. Sin embargo, pese a la disminución de la abundancia de macroinvertebrados, se observó una ligera mejoría en la calidad del agua para E4 y E5 durante el periodo de lluvias, esto pudo deberse posiblemente a la mayor dilución de algunos contaminantes durante este periodo.

El valor del índice BMWP/Col para la estación Maracas 1 en época seca y de lluvias define la calidad de este afluente aguas arriba como ligeramente contaminadas, de calidad aceptable para ambos periodos climáticos, presenta la mayor abundancia de organismos y reflejan las mejores condiciones ambientales de las 5 estaciones estudiadas. En general podemos decir que el puntaje promedio con respecto a los dos periodos muestreados para E1 es de 70,5 con calidad Aceptable. (Ver Fig. 4). La calidad del río Maracas aguas abajo (E2) presenta un aumento en el grado de contaminación, los valores del índice BMWP/Col definen la calidad en este punto como moderadamente contaminadas, de calidad dudosa, las familias encontradas en esta estación poseen rangos de tolerancia un poco más amplios que las reportadas aguas arriba (E1) para un hábitat enriquecido con más carga orgánica residual, característico de este punto de análisis. Posee un puntaje promedio que lo caracteriza como aguas de calidad dudosa.

La calidad del río Tucuy aguas arriba (E3) es definida por el índice BMWP/Col como aguas moderadamente contaminadas, de calidad dudosa para ambos periodos climáticos estudiados. Aguas abajo, (E4) presenta de acuerdo al índice BMWP/col aguas moderadamente contaminadas de calidad dudosa en época seca, al igual que E3 y aguas ligeramente contaminadas de calidad aceptable en época de lluvia. De acuerdo al promedio de los dos periodos muestreados podemos decir que E4 presenta una calidad dudosa con un puntaje de 58. El agua del río Calenturitas en (E5) es definida por el índice BMWP/Col como aguas muy contaminadas de calidad crítica y aguas moderadamente contaminadas de calidad dudosa, respectivamente para cada época climática de estudio. La abundancia de estos individuos fue menor que en el resto de estaciones, lo que refleja las malas condiciones del ecosistema acuático. Se halló el puntaje promedio más bajo con tan solo 39 puntos, catalogándola como de calidad dudosa y presenta un sustrato fangoso con aguas turbias.

De acuerdo al estudio realizado por Rengifo en 2002 este deduce la degradación de los ríos Tucuy y Calenturitas por vertimientos domésticos de las empresas mineras y asentamientos humanos aledaños a éstos, viéndose además afectado el componente biológico presente en dichos ecosistemas acuáticos. Hoy después de 13 años de dicho estudio encontramos los ríos Tucuy y Calenturitas con menor índice BMWP, menor diversidad de familias y más baja calidad.

CONCLUSIONES

Se muestra una correlación entre la presencia o ausencia de determinadas familias y las concentraciones de algunos parámetros evaluados, mostrando el grado de tolerancia de cada familia frente a la contaminación, los macroinvertebrados hallados proveen información de la calidad del agua en los ríos Maracas, Tucuy y Calenturitas por lo que pueden considerarse como buenos indicadores de la contaminación de dichos ríos.

En el río Maracas se reflejó contaminación en su parte baja por vertimientos domésticos, en el río Tucuy mayormente por procesos de mineralización y Calenturitas presentó mayores concentraciones de contaminantes asociados a ambos procesos, lo que podría indicar que los vertimientos industriales y domésticos originados por la actividad minera circundante a estos cuerpos receptores y los asentamientos humanos aledaños, están incidiendo significativamente en la calidad de los 3 ríos, viéndose además afectado el componente biológico presente en dichos ecosistemas acuáticos.

El índice BMWP/Col en promedio define las aguas de las estaciones E1 como aguas ligeramente contaminadas de calidad aceptable, E2-E3-E4 y E5 como aguas moderadamente contaminadas de calidad dudosa. Se puede considerar que E5 es la estación con las condiciones de calidad biológica, fisicoquímicas y microbiológicas más críticas presentando el puntaje más bajo respecto al resto de estaciones.

REFERENCIAS

Alba-Tercedor, J., Macroinvertebrados Acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA) Almería, 2, 203-213. España, (1996)

Alba-Tercedor, J., y Sánchez-Ortega, A, Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978), *Limnetica*, 4, 51-56 (1988)

- APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 ND Edition, American Public Works Association, Water Environment Federation, (2012)
- Corpocesar, Caracterización e Impactos Ambientales por Vertimientos en Tramos de la Cuenca Media y Baja Del Río Cesar, Valledupar, Universidad del Atlántico, (2011)
- Forero, A.M. y Reinoso F.G., Estudio de la familia Baetidae (Ephemeroptera: Insecta) en una cuenca con influencia de la urbanización y agricultura: río Alvarado- Tolima, Rev. de la Asociación. Colombiana de Ciencias Biológicas, 25,12-21, 2013.
- Flowers R.W. y De la Rosa C., Capítulo 4. Ephemeroptera, Rev. Biol. Trop.; 58 (4): 63-69, (2010)
- Figuroa R., Palma A., Ruiz V., y Niell X., Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: Río Chillán, VIII Región, Rev. Chilena de Historia Natural, (en línea), 80 (8), 227-242 (2007)
- Hanson P., Springer M., y Ramírez A., Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos, Rev. Biol. Trop, 58 (4), 3-37 (2010)
- Hellawell, J.M., Biological surveillance of rivers. Water Research Center, Stevenage, 332, (1978)
- Liévano, A.; Ospina, R., Guía Ilustrada De Los Macroinvertebrados Acuáticos Del Río Bahamón. Bogotá D.C. Universidad El Bosque E Instituto Alexander Von Humbolt. Bogotá, D. C. 130p, (2007)
- Mosquera, D., Palacios M.L., Soto A., Bioindicación de la calidad del agua del río Cali, Valle del Cauca, Colombia, usando macroinvertebrados acuáticos, Rev. Asoc. Col. Cienc. Biol. (Col.), 20: 130-143 (2008)
- Olivares, C.G., Naranjo L.C., López, P., Morell, B.A., Valoración de la calidad del agua del río San Juan de Santiago de Cuba asociado a un foco de contaminación industrial, Rev. Ciencia en su PC, 4, 99-111 (2012)
- Padilla D.N y Nieser N., Nueva Especie de Tachygerris y Nuevos Registros de Colecta de las Gerridae (Hemiptera: Heteroptera) de Colombia. Rev. Actual Biol, 25(78), 39-49(2003)
- Ramírez D.F., Talero G.M., López RH, Macroinvertebrados Bentónicos y Calidad del Agua en un Tramo del Río Bogotá, Cajicá-Colombia, Rev. U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 16(1): 205 - 214, (2013)
- Rengifo, J.E. y Pérez A. W., Caracterización Limnológica (Macroinvertebrados Acuáticos) Como Establecimiento de una Línea Base y su Aplicación al Monitoreo Ambiental en la Zona Minera del Cesar (Ríos Sororia, Tucuy, Calenturitas y San Antonio). Tesis para optar el título de Especialista en Ecología, Medio Ambiente y Desarrollo, Universidad INCCA De Colombia, Bogotá, (2002)
- Resolución Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible No 0631/2015, del 17 de Marzo de 2015
- Roldan, P.G., Guía Para El Estudio De Macroinvertebrados Acuáticos Del Departamento De Antioquia, Primera reimpression, Presencia Ltda., Colciencias, Universidad de Antioquia, (1996)
- Roldan, P.G. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia, uso del método BMWP/Col. Editorial. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia, (2003)
- Rosales, L. y Sánchez, S., Uso De Macroinvertebrados Bentónicos Como Bioindicadores De Calidad Del Agua Del Rio Palacagüina, Norte de Nicaragua, Rev. Científica de FAREM-Estelí, Medio Ambiente, Tecnología y Desarrollo Humano, 8(2), 66-75 (2013)
- Springer, M., Biomonitorio Acuático. Rev. De Biología Tropical 58, 53-59 (2010)
- Vásquez V.M., Medina C.A., Calidad de agua según los macroinvertebrados bentónicos y parámetros físico-químicos en la microcuenca del Río Tablachaca (Ancash, Perú). Rev. REBIOL, 35(2), 75-89 (2015)
- Weirauch, C. y Schuh, R.T., Systematics and Evolution of Heteroptera: 25 Years of Progress. Annual Review of Entomology 56, 487-510, (2011)