

Efecto de la actividad minera sobre la comunidad de macroinvertebrados en cuerpos de agua lóticos, en la subregión del San Juan, Chocó, Colombia

Mining activity effects on the community of macroinvertebrates in lotic water bodies, in the San Juan Subregion, Chocó, Colombia

Fairy María Medina Mosquera¹ , William Klinger Brahan¹,
Yiskar Damian Murillo Asprilla² 

Resumen

Los efectos de la actividad minera sobre la estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados, fue evaluada a partir de este análisis, en cuatro cuerpos de aguas intervenidos por minería aluvial, con tiempos de intervención entre 0 y más de 30 años. La comunidad de macroinvertebrados acuáticos, estuvo representada por 2019 individuos, de los cuales se resalta para la quebrada Pichiri, el orden Ephemeroptera, como el más abundante con 454 individuos, seguido del orden Odonata y Tricoptera ambos con 96 individuos; quebrada Sabaleta, el orden Diptera como el de mayor representatividad con 109 individuos; quebrada Marcos Díaz, el orden Diptera como el más abundante con 767 individuos, seguido del orden Odonata con 187 individuos. Para el caso de la quebrada Jorobidó, no hubo registros posiblemente debido a la presencia continua de vertimientos mineros, los cuales alteran las características fisicoquímicas del agua y por consiguiente las condiciones óptimas para el desarrollo de los procesos hidrobiológicos. En este sentido, se logró determinar que uno de los efectos que genera la actividad minera sobre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, está relacionado con el comportamiento de estos organismos en cuanto a su distribución numérica, a medida que las condiciones físico-químicas del agua, la oferta de alimento y la posibilidad de refugios son modificadas durante el tiempo en que se realiza la minería, así como con la variación de estas condiciones a medida que pasa el tiempo de cese de actividad o de presencia del disturbio.

Palabras clave: Condoto, Cuerpos de agua lénticos, Cuerpos de agua lóticos, Macroinvertebrados acuáticos, Minería, San Juan.

¹ Grupo de investigación Biodiversidad y Etnodesarrollo en el Pacífico Colombiano, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico “John Von Neumann” (IIAP), Quibdó, Colombia

² Grupo de investigación Conocimiento, Manejo y Conservación de los Ecosistemas del Chocó Biogeográfico, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico “John Von Neumann” (IIAP), Quibdó, Colombia.

Autor correspondencia:
fmedina@iiap.org.co

Recepción: Septiembre 3, 2018
Aprobación: Noviembre 28, 2018
Editor Asociado: L Palacios-Mosquera



Abstract

The effects of active mining on the numerical structure of the macroinvertebrate community was evaluated from the analysis in four bodies of water intervened by alluvial mining, with intervention times between 0 and more than 30 years. The community of aquatic macroinvertebrates was represented by 2019 individuals, of which the Ephemeroptera order stands out as the most abundant with 454 individuals for the Pichiri stream, followed by the Odonata and Trichoptera order, both with 96 individuals; In the Sabaleta stream, the order of Diptera stands out as the most representative with 109 individuals; in the Marcos Díaz stream, the Diptera order was the most abundant with 767 individuals, followed by the Odonata order with 187 individuals. In the case of the Jorobidó stream, there were no records, possibly due to the continuous presence of mining discharges, which alter the physicochemical characteristics of the water and therefore the optimal conditions for the development of hydrobiological processes. In this sense, it was possible to determine that one of the effects generated by the mining activity on the community of aquatic macroinvertebrates, is related to the behavior of these organisms in terms of their numerical distribution, as the physical-chemical conditions of the water, the supply of food and the possibility of refuges are modified during the time in which the mining is carried out, as well as with the variation of these conditions as the time of cessation of activity or presence of the disturbance passes.

Keyword: *Aquatic macroinvertebrates, Conduto, Lentic water bodies, Lotic water bodies, Mining, San Juan.*

Introducción

En las últimas décadas, las fuentes hídricas

de la subregión del San Juan y de la parte alta y media de la cuenca del Atrato, en el departamento del Chocó, han estado sometidos a una fuerte presión e intervención por la extracción de metales preciosos (oro y platino), afectándose entre otros recursos naturales, la disponibilidad del agua en calidad y cantidad, para el desarrollo de otras actividades asociadas con las cuencas hidrográficas y las condiciones ambientales naturales para el establecimiento de las comunidades biológicas propias de este tipo de ecosistemas. Por su parte, la actividad minera, es una de las fuentes de perturbación y contaminación de los ecosistemas acuáticos de origen antrópico más importantes, junto con la deforestación y los residuos sólidos y líquidos de origen doméstico, industrial, agrícola, etc. (Roldán 2012). Estas perturbaciones pueden ser evidenciadas de manera directa sobre los cuerpos de agua superficiales, principalmente con situaciones como: la alteración de las condiciones hidráulicas, fisicoquímicas, biológicas y microbiológicas del agua, la desviación y sedimentación de los cauces, y entre otros aspectos, en la destrucción de hábitats y microhábitats (WWF, PNUD, GEF, 2016).

El grado de intervención o contaminación de cualquier fuente hídrica superficial, puede ser evaluado haciendo uso de diferentes indicadores, entre ellos los macroinvertebrados de la comunidad bentónica (Gaboia *et al.* 2008, Roldán 1999, 2003), quienes juegan un papel importante dentro de todos los procesos ecológicos de los sistemas acuáticos (Hanson *et al.* 2010). Estos organismos reflejan la calidad del agua de cualquier ecosistema acuático de donde se encuentren, sin importar los diferentes rangos altitudinales, ya que la alta sensibilidad que tienen ante la presencia de sustancias orgánicas e inorgánicas hace que sean considerados bioindicadores de la salud ambiental del recurso hídrico, quienes finalmente se constituyen en la radiografía del cuerpo de agua (Carrera y Fierro 2001). Poseen requerimientos particulares en relación con un conjunto de va-

riables físicas o químicas tal, que 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). Su presencia en todos los ecosistemas acuáticos y su alta sensibilidad a la ocurrencia de cualquier tipo de contaminación bien sea antrópico o de tipo natural, hace que estos organismos sean considerados como los mejores bioindicadores de calidad ambiental, por encima de otros grupos faunísticos (Merritt y Cummins 1996). Estos organismos presentan ventajas con respecto a otros componentes de la biota acuática, como algas, micrófitos o peces; por su diversidad, el fácil muestreo, la taxonomía ecológicamente diferente, los protocolos de muestreo, la elaboración de índices bien estandarizados y el tiempo de vida relativamente largo, permitiendo que estos organismos integren los efectos de la contaminación en el tiempo y exhiban respuestas evidentes en el instante desde el punto de vista del manejo y la conservación (Zúñiga 2000).

Por lo anteriormente expuesto, resulta muy interesante el estudio de la comunidad de macroinvertebrados que habitan cuerpos de aguas lóxicos presentes en áreas intervenidas por la actividad minera en el municipio de Condoto, logrando de esta manera evaluar y analizar los cambios que podrían presentarse en su estructura ecológica como consecuencia de la degradación ambiental, ya que la minería es considerada como la principal fuente de ingresos de las poblaciones que integran la subregión del San Juan, de la cual hace parte este municipio en el departamento del Chocó y además es la principal fuente de deterioro de los ecosistemas acuáticos de la zona. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la actividad minera sobre la estructura ecológica de la comunidad de macroinvertebrados presentes en cuerpos de agua lóxicos del municipio de Condoto, Chocó.

Metodología

Área de muestreo. De las cuatro fuentes hídricas analizadas, tres se encuentran ubicadas en el municipio de Condoto, en el corregimiento de Gigualito, y corresponden a las quebradas Pichirí, Sabaleta y Marcos Díaz. La otra fuente hídrica corresponde a la quebrada Jorobiró, ubicada en el municipio de Cértegui (Figura 1).

La quebrada Pichirí se encuentra localizada en las coordenadas 5°01'07.7" N y 76°41'17.1" W (Escenario 1. fuente hídrica de referencia), constituye la única fuente hídrica de la zona que no ha sido intervenida por la actividad minera y presenta aguas corrientes y limpias. Vierte sus aguas directamente a la quebrada Tapacundó. La quebrada Jorobiró (Escenario 2. Fuente hídrica con recepción actual de vertimientos mineros, localizada en las coordenadas 5° 22' 51.8" N y 76° 36' 53.8" W, corresponde a una fuente hídrica con aguas turbias y corrientes. Vierte sus aguas directamente al río Quito en jurisdicción del municipio de Cértegui. En cuanto a la quebrada Sabaleta (Escenario 3. Fuente hídrica que presenta entre 5 y 10 años de cese de la actividad minera), se localiza en las coordenadas 5° 1' 49.9" N y 76°41'14.5" W y se caracteriza por presentar un cauce desviado e interrumpido en varios tramos que han sido convertidos en lagunas conectadas o desconectadas del cauce principal. Presenta sectores con diferentes temporalidades de intervención de ahí la variabilidad en las condiciones de caudal, ancho, presencia de vegetación ribereña y turbiedad en cada uno. Algunos de estos sectores presentan aguas corrientes muy cristalinas y otras aguas lentas y turbias. La quebrada Sabaleta recibe aguas provenientes de la quebrada Santa Ana y vierte sus aguas al río Opogodó. Finalmente se encuentra la quebrada Marcos Díaz (Escenario 4. Fuente hídrica con más de 30 años de cese de la actividad minera). Esta quebrada se localiza en las coordenadas 5° 02' 31.8" N y 76° 41' 34.0"

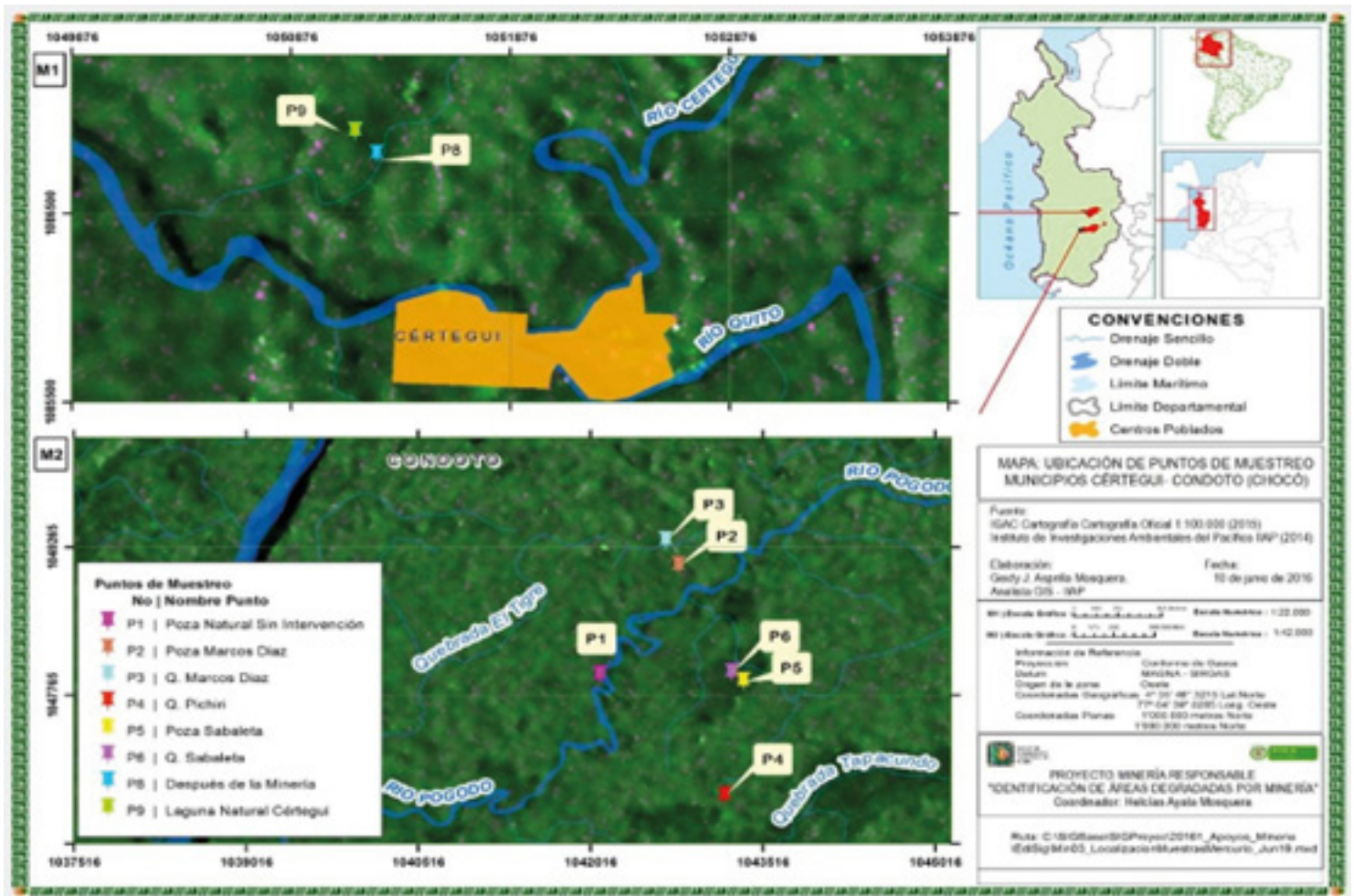


Figura 1. Ubicación geográfica de las muestras en los municipios de Condoto y Cértegui.
 Fuente: IIAP

W. Presenta un cauce modificado e integrado por sectores naturales conectados con un canal artificial. Los sectores que conservan características del cauce natural presentan aguas rápidas y transparentes con un ancho aproximado de 4 m, con presencia de vegetación ribereña tipo arbórea. Por su parte, los tramos artificiales o creados por el paso de la draga durante el proceso de extracción se caracterizan por presentar flujos muy lentos, con condiciones inundables y aparente eutrofización, colonizada por abundantes macrófitas y riberas con abundante vegetación (Figura 2).

Métodos. Siguiendo el protocolo ECOBILL (útil para estudios rápidos, especialmente en ríos con piedras abundantes y para realizar compara-

ciones entre antes y después de una alteración en el río), propuesto por Ladrera *et al.* (2013), para lo cual, en cada una de las fuentes hídricas estudiadas se determinó un tramo de 100 m de longitud aproximadamente, sitios donde se identificaron tres sectores o microhábitat con un área aproximada de 2 m², para la captura de los macroinvertebrados acuáticos, que en este caso corresponden a: rápidos, mansos y corrientes, inspeccionando también los distintos tipos de sustratos presentes en el área de captura, de cada cuerpo de agua estudiados. Luego, siguiendo la metodología propuesta por Roldán (1999), haciendo uso de la red Surber, se realizaron barridos hasta tener un cubrimiento de toda el área de cada uno de los



Figura 2. Cuerpos de agua loticos estudiados en los municipios de Condoto y Cértegui.

microhábitat. La identificación taxonómica, se llevó a cabo en el laboratorio de Limnología de la Universidad Tecnológica del Chocó, Quibdó, y se realizó hasta el nivel de géneros, haciendo uso de un estéreo microscopio Olympus SZ40 y de las claves taxonómicas de Roldán (1996), Merritt y Cummins (1996) y Domínguez (2009).

En cada cuerpo de agua se realizaron mediciones *in situ* de las siguientes variables físico-químicas: turbiedad, pH, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura, con la ayuda de un colorímetro portátil HACH 850 y un multiparámetro YSI Profesional Plus Quick 1700/1725.

La estructura ecológica de las comunidades bénticas capturadas en los cuerpos de agua estudiados se determinó empleando los índices de diversidad: Shannon-Wiener (H'), Dominancia (Simpson), Equidad (Pielou), y Riqueza (Margalef), mediante la aplicación del programa estadístico INFOSTAT. Con respecto a las variables físico-químicas, los resultados de cada una de estas variables fueron comparados con los parámetros de calidad de agua establecidos en el Decreto 1594 de 1984, para la destinación del recurso hídrico

para conservación de flora y fauna acuática. Se evaluó la normalidad de las medianas de las variables físico-químicas (prueba de Kruskal-Wallis $p < 0,05$), se aplicó un análisis de varianza de un factor con cada una para evaluar diferencias significativas, haciendo uso del programa estadístico Statgraphics Centurion 2017.

Resultados y discusión

Variación de las características físico-químicas del agua de los cuatro cuerpos de aguas lóticicos analizados. Los resultados obtenidos en las quebradas Pichirí, Jorobiró, Sabaleta y Marcos Díaz, en términos generales evidenciaron el comportamiento de las variables físico-químicas antes, durante y después de un tiempo de haber desaparecido el disturbio. Algunos de estos parámetros presentaron concentraciones que no superaron los estándares de calidad establecidos por la normatividad ambiental nacional, en agua para conservación de flora y fauna acuática, y otros como el oxígeno disuelto especialmente en la quebrada Marcos Díaz y la turbiedad y los sólidos suspendidos en la quebrada Jorobiró re-



Tabla 1. Promedio de variables físico-químicas medido en las quebradas Pichirí, Jorobiró, Sabaleta y Marcos Díaz

Fuentes hídricas	Pichirí	Jorobiró	Sabaleta	Marcos Díaz
Temperatura	25,88	26,88	27,74	26,43
Conductividad	13,18	11,77	13,33	35,50
TDS	8,33	7,68	8,15	22,53
OD	4,45	5,93	5,25	1,85
pH	6,27	7,20	5,83	6,21
Turbiedad	1,92	126,25	15,00	8,42
SS	1,33	120,25	12,00	7,00

gistraron valores que estuvieron por fuera de los rangos con los cuales se podrían garantizar buenas condiciones en cuanto a calidad fisicoquímica del agua para el desarrollo de los procesos hidrobiológicos según el Decreto 1594 de 1984 (Tabla 1).

En el análisis de varianza ANOVA, se observó que solo la variable pH no presentó diferencias significativas $p > 0,05$, mientras que las variables temperatura, conductividad, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, turbiedad y sólidos suspendidos, presentaron diferencias significativas entre algunas de las cuatro fuentes hídricas loticas estudiadas (Tabla 2).

Las mayores variaciones se presentaron entre Pichirí y las quebradas Jorobiró, Sabaleta y Marcos Díaz, fuente hídrica de referencia por no tener presencia de minería ni vertimientos mineros en su cauce. Por otro lado, también hubo una marcada diferencia entre Jorobiró y las quebradas Pichirí, Sabaleta y Marcos Díaz, pues las presencias de vertimientos mineros continuos alteran variables como turbiedad, sólidos suspendidos, conductividad y sólidos disueltos totales especialmente. Por tanto, se considera que los vertimientos mineros influyen significativamente sobre las características fisicoquímicas de los cuerpos de agua lóticos durante y después de la presencia de vertimientos, sobre todo entre las medianas de los parámetros como: sólidos suspendidos,

turbiedad, temperatura, conductividad, sólidos disueltos totales, y oxígeno disuelto, ya que al comparar los resultados de las quebradas Jorobiró, Sabaleta y Marcos Díaz frente a los reportados en la quebrada Pichirí, se observó que los mejores resultados se registraron en la quebrada Sabaleta, pues la quebrada Jorobiró presentó altos niveles de sólidos suspendidos y de turbiedad producto de la presencia de vertimientos mineros y la quebrada Marcos Díaz registró bajos niveles de oxígeno, producto posiblemente de los procesos de eutrofización que tienen esta fuente hídrica en gran parte de su cauce principal, situación que podría influir directa o indirectamente la estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados presentes en los cuerpos de agua estudiados, porque la alta sensibilidad que presentan algunas de las especies que la integran hacen que sus niveles de tolerancia a las perturbaciones ambientales influyan para que en este tipo de cuerpos de agua predominen unas especies más que otras, o que en su defecto no existan.

Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados de las quebradas Pichirí, Jorobiró, Sabaleta y Marcos Díaz. La comunidad de macroinvertebrados acuáticos en estas fuentes hídricas estuvo representada por 2019 individuos, los cuales fueron capturados en 3 de los 4 cuerpos de aguas lóticos analizados,

Tabla 2. Resultados obtenidos en la prueba de Kruskal-Wallis en cuerpos de agua lóticos

Parámetros fisicoquímicos	Comparación					
	1-2	1-3	1-4	2-3	2-4	3.4
Turbiedad	-25,583	-143,333	- 7,75	111,25	117,833	658,333
OD	- 0,5	0,175	3,575	0,675	4,075	3,4
pH	3,87	523,917	485,583	136,917	0,985833	- 0,383333
Temperatura	- 1,05	-191,667	- 0,6	- 0,866667	0,45	131,667
Sólidos suspendidos	-118,917	-106,667	-566,667	108,25	113,25	5,0
Conductividad	-466,667	-623,333	- 28,4	-156,667	-237,333	-221,667
SDT	-324,417	-370,667	-180,858	- 0,4625	-148,417	-143,792

distribuidos de la siguiente manera: quebrada Pichirí se encontraron 842 individuos, distribuidos en 1 clase, 7 órdenes, 25 familias y 37 géneros, resaltando el orden Ephemeroptera como el más abundante con 454 individuos, seguido de Odonata y Tricoptera ambos con 96 individuos; en la quebrada Sabaleta, se colectaron 153 individuos, representados en 1 clase, 6 órdenes, 11 familias y 14 géneros, resaltando el orden Díptera como el de mayor representatividad con 109 individuos; en la quebrada Marcos Díaz, 1024 individuos, distribuidas en 1 clase, 6 órdenes, 18 familias y 20 géneros, siendo el orden Díptera el más abundante con 767 individuos, seguido del orden Odonata con 187 individuos. Para el caso de la quebrada Jorobidó, no hubo registros posiblemente por la presencia continua de vertimientos mineros, los cuales alteran las características fisicoquímicas del agua y por consiguiente las condiciones óptimas para el desarrollo de los procesos hidrobiológicos (Tabla 3).

Las familias más representativas fueron: para la quebrada Pichirí, Polymitarcidae con 274 representantes Ephemeroptera; en la quebrada Sabaleta la familia Chironomidae con 108 individuos (Díptera); y para la quebrada Marcos Díaz la familia Chironomidae con 761 representantes. Esta situación evidencia no solo la variación

que se da entre las familias por la mayor densidad poblacional, sino también como durante el disturbio desaparecen hasta aquellas con mayor tolerancia a las condiciones extremas en cuanto a la calidad fisicoquímica del agua por la presencia de vertimientos mineros como ocurrió en la quebrada Jorobiró; y por otro lado al no existir este disturbio, aumentan paulatinamente hasta alcanzar cantidades considerables de aquellas con menos sensibilidad, así como se observa en las quebradas Sabaleta y Marcos Díaz.

La alta presencia de organismos pertenecientes al orden Ephemeroptera, especialmente representantes de la familia Polymitarcidae en la quebrada Pichirí, podría estar relacionada con los altos niveles de oxígeno reportados y las características fisicoquímicas analizadas, pues las ninfas de los efemerópteros por lo regular viven en aguas claras, bien oxigenadas con bajo contenido de carga orgánica de desecho, razón por la cual estos organismos se consideran indicadores de aguas de buena calidad. Por consiguiente, estas ninfas en términos generales habitan aguas no poluidas y bien oxigenadas (Domínguez 2009). Estos requerimientos de oxígeno principalmente dificultan la presencia de este tipo de organismos en fuentes hídricas fuertemente afectadas e intervenidas por la actividad minera, y aunque

Tabla 3. Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados capturados en las fuentes hídricas evaluadas

Clase	Orden	Familia	Género	Q. Pichirí		Q. Sabaleta		Q. Marcos Diaz		Total		
				Total	%	Total	%	Total	%	Total	%	
Odonata	Platyschetidae	<i>Palaemnema</i>	19	2,26	0	0,00	0	0,00	0	0,00	19	0,94
		<i>Heterurum</i>	1	0,12	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,05
	Gomphidae	<i>Desmogophus</i>	18	2,14	0	0,00	0	0,00	0	0,00	18	0,89
		<i>Phyllogomphoides</i>	3	0,36	0	0,00	0	0,00	0	0,00	3	0,15
		<i>Drogomplus</i>	1	0,12	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,05
		<i>Stylogomplus</i>	32	3,80	0	0,00	0	0,00	0	0,00	32	1,58
	Protoneuridae	<i>Protoneura</i>	0	0,00	0	0,00	1	0,10	1	0,05	1	0,05
	Protoneulidae	<i>Protonema</i>	0	0,00	0	0,00	18	1,76	18	0,89	18	0,89
	Libellulidae	<i>Tramea</i>	0	0,00	5	3,27	43	4,20	48	2,38	48	2,38
		<i>Elasmothemis</i>	1	0,12	0	0,00	0	0,00	1	0,05	1	0,05
<i>Dythemis</i>		2	0,24	8	5,23	77	7,52	87	4,31	87	4,31	
<i>Perithemis</i>		1	0,12	0	0,00	19	1,86	20	0,99	20	0,99	
Perilestidae		<i>Perssolestes</i>	1	0,12	0	0,00	0	0,00	1	0,05	1	0,05
Corallulidae		<i>Neurordulia</i>	2	0,24	1	0,65	0	0,00	3	0,15	3	0,15
Megapodagrionidae	<i>Heteragrion</i>	6	0,71	0	0,00	0	0,00	6	0,30	6	0,30	
	Endulidae	<i>Naendilia</i>	1	0,12	0	0,00	0	0,00	1	0,05	1	0,05
Coenagrionidae	<i>Argia</i>	7	0,83	4	2,61	29	2,83	40	1,98	40	1,98	
	<i>Anacroneria</i>	42	4,99	0	0,00	0	0,00	42	2,08	42	2,08	
	<i>Macronema</i>	22	2,61	0	0,00	0	0,00	22	1,09	22	1,09	
Hydropsychidae	<i>Macrosternum</i>	5	0,59	0	0,00	0	0,00	5	0,25	5	0,25	
	<i>Smicridea</i>	56	6,65	9	5,88	1	0,10	66	3,27	66	3,27	
Odontoceridae	<i>Marilia</i>	1	0,12	0	0,00	0	0,00	1	0,05	1	0,05	
	<i>Polyplectropus</i>	12	1,43	0	0,00	0	0,00	12	0,59	12	0,59	
Coleoptera	Elmidae	<i>NN</i>	1	0,12	0	0,00	0	0,00	1	0,05	1	0,05
		<i>Cyloepus</i>	9	1,07	2	1,31	0	0,00	11	0,54	11	0,54
	Dytiscidae	<i>Macrelmis</i>	0	0,00	2	1,31	0	0,00	2	0,10	2	0,10
		<i>Laccophilus</i>	0	0,00	4	2,61	0	0,00	4	0,20	4	0,20
	<i>Rhantus</i>	0	0,00	0	0,00	2	0,20	2	0,10	2	0,10	
Gyrinidae	<i>Gyrinus</i>	0	0,00	5	3,27	6	0,59	11	0,54	11	0,54	
	<i>Dneutus</i>	0	0,00	0	0,00	1	0,10	1	0,05	1	0,05	

Tabla 3. Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados capturados en las fuentes hídricas evaluadas

Clase	Orden	Familia	Género	Q. Pichirí		Q. Sabaleta		Q. Marcos Diaz		Total	
				Total	%	Total	%	Total	%	Total	%
Insecta	Ephemeroptera	Scirtidae	<i>Scirtes</i>	0	0,00	0	0,00	5	0,49	5	0,25
			<i>Farrodes</i>	79	9,38	0	0,00	0	0,00	79	3,91
			<i>Terpides</i>	3	0,36	0	0,00	0	0,00	3	0,15
			<i>Thraulodes</i>	46	5,46	0	0,00	0	0,00	46	2,28
			ONN	7	0,83	0	0,00	0	0,00	7	0,35
			<i>Americabaetis</i>	11	1,31	0	0,00	0	0,00	11	0,54
			<i>Callibaetis</i>	0	0,00	0	0,00	2	0,20	2	0,10
			<i>Clocodes</i>	1	0,12	0	0,00	0	0,00	1	0,05
			<i>Caenis</i>	0	0,00	0	0,00	17	1,66	17	0,84
			Polymitarcidae	274	32,54	0	0,00	0	0,00	274	13,57
			Euthyplocidae	33	3,92	0	0,00	0	0,00	33	1,63
			Neritidae	0	0,00	0	0,00	1	0,10	1	0,05
			Glossiphoniidae	0	0,00	0	0,00	3	0,29	3	0,15
			Simuliidae	54	6,41	0	0,00	0	0,00	54	2,67
		Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus</i>		0	0,00	24	15,69	74	7,23
<i>Pentaneura</i>				0	0,00	7	4,58	0	0,00	7	0,35
<i>Ablabesmyia</i>				10	1,19	77	50,33	687	67,09	774	38,34
<i>Culicoides</i>				0	0,00	0	0,00	2	0,20	2	0,10
<i>Bezzia</i>				0	0,00	1	0,65	1	0,10	2	0,10
<i>Culiseto</i>				0	0,00	0	0,00	1	0,10	1	0,05
<i>Hexatoma</i>				3	0,36	0	0,00	2	0,20	5	0,25
<i>Belostoma</i>				0	0,00	0	0,00	11	1,07	11	0,54
<i>Notonecta</i>				0	0,00	0	0,00	5	0,49	5	0,25
<i>Rhagovella</i>				1	0,12	0	0,00	0	0,00	1	0,05
<i>Neosigara</i>				0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
<i>Tenagobia</i>				0	0,00	2	1,31	15	1,46	17	0,84
<i>Pelocoris</i>				0	0,00	0	0,00	1	0,10	1	0,05
<i>Criphocricos</i>				24	2,85	0	0,00	0	0,00	24	1,19
<i>Ambrysus</i>				15	1,78	0	0,00	0	0,00	15	0,74
<i>Corydalum</i>		38	4,51	2	1,31	0	0,00	40	1,98		
	Total	842	100	153	100	1024	100	2019	100		



logren hacer presencia su densidad poblacional será relativamente más baja que la que se podría presentar en las fuentes hídricas no intervenidas, como se observó con la captura de los organismos de esta familia en la quebrada Pichirí, frente aquellos de la quebrada Marcos Díaz, pues en la quebrada Sabaleta no hicieron presencia.

Es posible que la alta presencia de larvas de Chironómidos en las quebradas Sabaleta y Marcos Díaz, frente a la densidad de organismos pertenecientes a otras familias, se deba a que posiblemente sean quienes tengan mayor capacidad de tolerancia a las condiciones ambientales extremas, sobre todo aquellas relacionadas con los bajos niveles de oxígeno, situación que con frecuencia se presenta en fuente hídricas fuertemente intervenidas por la actividad minera, pues estos organismos presentan un tipo de hemoglobina que funciona eficientemente en ambientes con bajas concentraciones de oxígeno (Roldán 1999). Las larvas acuáticas pueden utilizar el aire atmosférico, el aerénquima de las plantas o el oxígeno disuelto del agua pues están dotadas de ciertas estructuras adaptativas para obtener el aire de la superficie del agua o bien a partir de lagunas internas de los tejidos de angiospermas acuáticos (Angrisano 1995).

En cuanto a género, se tiene que los más representativos para estos cuerpos de agua fueron: para la quebrada Pichirí, *Campsurus* con 274 representante (Polymitarcidae), acompañado del género *Farrodes* (79 individuos) de la familia Leptophlebiidae; en la quebrada Sabaleta por el género *Ablabesmyia* (77 individuos) de la familia Chironomidae; y para la quebrada Marcos Díaz fue el género *Ablabesmyia* (687 individuos) de la familia Chironomidae (Tabla 3).

Estos resultados son una muestra de cómo la actividad minera altera la estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados en fuentes hídricas lítica de origen natural, pues las variaciones que se observaron entre los organismos capturados, en términos generales indican que

las condiciones ambientales y la calidad del agua varía con el tiempo, una vez desaparece el disturbio. Es importante mencionar, que a pesar de que la mayor cantidad de organismos no fue registrada para la quebrada Pichirí, como era de esperarse, fue esta quien registró la mayor cantidad de géneros, aunque con pocas variaciones entre sus representantes, condiciones que según Roldán (1999), son propias de una comunidad natural, la cual se caracteriza por tener una alta diversidad o riqueza y un bajo número de individuos por especie.

De igual manera, se observa que, dentro de los órdenes identificados taxonómicamente, en las 4 fuentes hídricas, los diferentes géneros muestran una gran variedad de tolerancias a las condiciones ambientales, entre ellos *Caenis*, de la familia Caenidae, taxa registrada especialmente en la quebrada Marcos Díaz. Este género puede soportar un amplio rango de condiciones ambientales y puede vivir en aguas contaminadas y eutrofizadas, con altas temperaturas y bajos niveles de oxígeno donde muchas otras efímeras no pueden sobrevivir (Flowers y De la Rosa 2010). Esta variedad de rangos de tolerancia a las perturbaciones significa que ante una alteración hay especies muy sensibles que pueden desaparecer o reducir su abundancia, mientras que las más tolerantes pueden incrementar sus densidades cuando otras ya han desaparecido (Alonso y Camargo 2005), posiblemente esta sea la razón por las que no se registraron otros individuos del orden Ephemeroptera en las fuentes hídricas intervenidas, porque estos junto con las larvas acuáticas de los insectos pertenecientes a los órdenes Trichoptera, Ephemeroptera, Plecoptera, y las larvas y adultos de los coleópteros acuáticos se encuentran entre los grupos más sensibles a las alteraciones del ecosistema (Alonso y Camargo 2005).

La quebrada Pichirí, registró la mayor cantidad de organismos del orden Ephemeroptera, en asocio con Trichoptero y Plecoptera, organismos propias de fuentes hídricas bien conservadas

o poco intervenidas, pues hay quienes afirman como Flowers y De la Rosa (2010) y, Alonso y Camargo (2005), que el orden Ephemeroptera ha sido considerado por muchos autores como uno de los más sensibles a la contaminación del agua, junto con Plecoptera y Trichoptera (“EPT” taxa); de igual manera Roldán (1996), manifiesta que en general, estos organismos son buenos indicadores de aguas oligotróficas, cuando se encuentran junto con Trichoptera y plecópteros, no hay duda de que se trata de ecosistemas en buenas condiciones; lugar que además se encuentra favorecida por una diversidad de sustratos (refugios) y oferta de alimento, dos condiciones esenciales que garantizan e influyen en la presencia de estas especies.

A diferencia de la quebrada Pichirí, en la quebrada Jorobiró, no hubo reportes de ningún tipo de individuos, pues las descargas continuas de efluentes mineros con presencia de sedimentos afectan la respiración de los organismos acuáticos entre ellos los macroinvertebrados, taponan los intersticios de troncos de los diferentes sustratos y reducen la presencia y producción de oxígeno, así como lo afirma Brack *et al.* (2011), quien manifiesta que el incremento de sólidos en suspensión en el agua, reducen su transparencia y la penetración de la luz solar, disminuyendo la tasa de fotosíntesis en el fitoplancton y de las plantas sumergidas, que son la base de la cadena trófica, así como la productividad primaria de los ecosistemas acuáticos. Por otro lado, altera seriamente el sustrato del cauce aguas abajo, y obstruye los intersticios entre las gravas y troncos sumergidos, reduciendo el hábitat para pequeños peces e invertebrados. De igual manera, Brack *et al.* (2011), manifiesta que la grave alteración del cauce que produce el dragado también afecta seriamente los lugares de alimentación, refugio y reproducción de muchas especies acuáticas, incluyendo peces, quelonios acuáticos, moluscos y crustáceos, así como de los invertebrados que les sirven de alimento, situación que de manera similar se presenta, en fuentes hídricas

con presencia de retroexcavadoras que trabajan directamente sobre su cauce principal. Por tanto, se deduce que lo expuesto es una de las razones por las cuales la minería presente en cuerpos de aguas superficiales dificulta la permanencia, desarrollo y, por consiguiente, la disponibilidad de estos organismos.

En el caso de la quebrada Sabaleta, donde la comunidad de macroinvertebrados estuvo representada principalmente por organismos de los órdenes Díptero (109 ind), Odonata (18 ind) y Coleóptera (13 ind) (Tabla 3), se observa que aún después del tiempo de intervención transcurrido la comunidad de macroinvertebrados tiene muy poca representatividad en variedad y cantidad de organismos por género; y aunque el agua presentó buenas condiciones ambientales en cuanto a la presencia de sólidos suspendidos y disueltos, oxígeno disuelto, turbiedad, temperatura, conductividad y pH, es muy posible que la falta de oferta de alimentos y variedad de sustratos hayan influido para que la diversidad de género en este tipo de fuentes hídricas sea más bajo que en aquellas poco intervenidas, pues según Alonso y Camargo (2005), el análisis de las variables físico-químicas sólo proporcionan una valoración instantánea de la calidad del agua, mientras que los efectos de un vertido sobre la comunidad biótica pueden persistir mucho después de que los valores de los parámetros físico-químicos hayan vuelto a la normalidad, por tanto se considera que según afirmaciones de Hanson *et al.* (2010), la pérdida de diversidad es generalmente una de las principales consecuencias de los impactos antropogénicos.

A pesar de lo anterior, se considera que la presencia de estos organismos, especialmente aquellos de los órdenes Odonatos y Trichoptera, son una muestra del nivel de recuperación que presenta la quebrada Sabaleta, luego de pasar más de cinco años de intervención minera, pues la ausencia total de estos organismos en la quebrada Jorobiró durante la recepción de vertimientos mineros y la poca representación de las especies



encontradas en la quebrada Sabaleta, evidencian como la desaparición del disturbio, en los cuerpos de agua superficiales directamente afectados, se convierte en un factor determinante para el repoblamiento de estos organismos, aunque este proceso inicialmente se dé con aquellos que por su alta tolerancia a la presencia de sustancias contaminantes y adaptaciones fisiológicas pueden habitar ambientes mediana o altamente contaminados e intervenidos, con presencia de procesos hidrobiológicos en recuperación. Por tanto, aunque se sabe todavía poco sobre la respuesta al medio ambiente de los organismos del orden Odonata (Simaika y Samways 2009) especialmente, y han sido utilizada poco como indicadores de calidad de agua en relación con otros organismos acuáticos como por ejemplo los Ephemeroptera, se espera que sean sensibles a la contaminación y que sean buenos indicadores de la recuperación de los cuerpos de agua (D'Amico *et al.* 2004). Mientras que los organismos del orden Tricotera, están dentro de los grupos más sensibles a las alteraciones del ecosistema, junto con las larvas acuáticas de los insectos pertenecientes a los órdenes, Ephemeroptera, Plecoptera, y las larvas y adultos de los coleópteros acuáticos (Alonso y Camargo 2005), lo que hace deducir que efectivamente esta fuente hídrica, se encuentra en proceso de recuperación.

En lo que respecta a la comunidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en la quebrada Marcos Díaz, intervenida hace más de 30, los órdenes mejor representados fueron Díptera con 767 individuos, Odonata con 187 y Hemíptera con 32 individuos. La alta presencia de organismos del orden Díptera, podría indicar que esta quebrada tienen una alta cantidad de materia orgánica, posiblemente producto de la descomposición de macrófitas y vegetación riparia circundante tanto en los tramos naturales, como en los tramos artificiales conectados y alimentados por esta quebrada. Esto reduce la disponibilidad de oxígeno y favorece la presencia de organismos altamente

resistentes a estos contaminantes, como ocurre en fuentes hídricas eutrofizadas, conocidas según (Hanson *et al.* 2010), por su alta presencia de nutrientes y una alta productividad primaria (mucho crecimiento de algas) que a menudo genera niveles bajos de oxígeno durante la noche. Por otro lado, la alta presencia de organismos, pertenecientes a los géneros Odonata, Coleópteros, Ephemeroptera, y Hemíptera, se evidencia el grado de recuperación que presenta esta fuente hídrica.

Las familias mejor representadas fueron Chironomidae con 761 individuos (Díptera), Libellulidae con 139 y Coenagrionidae con 29 individuos, ambos del orden Odonata. Los organismos de la familia Chironomidae son propios de aguas muy contaminadas y aguas pobres o ricas en oxígeno (Menjívar Rosa 2010). Por tanto, dadas las concentraciones de oxígeno registrados en esta fuente hídrica, los cuales no superaron los 2,2 mg/l de oxígeno, se deduce que los organismos capturados corresponden a aquellos que viven en aguas pobres de este elemento, quienes según Menjívar Rosa (2010), contienen hemoglobina, por tanto almacenan oxígeno dentro de sus cuerpos y les permite existir, al menos temporalmente, en ambientes con poco o sin oxígeno y adquieren una coloración rojo brillante, por causa de esa sustancia. En este sentido, se considera que la comunidad de macroinvertebrados presentes en la quebrada Marcos Díaz, tiene comportamientos propios de fuentes hídricas altamente intervenidas, pues según Roldán (1999), estas se caracterizan por poseer un bajo número de especies, pero muchos individuos por especies, situación que es provocada también por condiciones naturales extremas. Por consiguiente, la diversidad de la comunidad se toma como una medida de la calidad del agua de una corriente superficial (Roldan 1999).

Por las condiciones ecológicas y los niveles de tolerancia que presentan los diferentes individuos que integran la comunidad de macroinvertebrados capturados en las cuatro fuentes hídricas estudia-

das, se concluye que efectivamente uno de los efectos que genera la actividad minera se evidencia en el comportamiento de estos organismos, a medida que las condiciones físico-químicas del agua, la oferta de alimento y la posibilidad de refugios se modifica inicialmente, durante el tiempo en que se da la minería y cómo estas condiciones van variando a través del tiempo, modificando igualmente, los patrones de distribución y cantidad de individuos por especies. Por otro lado, se considera que la relativamente escasa capacidad de desplazamiento de los macroinvertebrados permite un efectivo análisis espacial de la contaminación, que unido a los largos ciclos de vida de algunos grupos (existen especies de plecópteros que pueden permanecer hasta 2 años en fase larvaria) permiten también el análisis temporal de las perturbaciones (Rosemberg y Resh 1993). En este sentido, el estudio de estos organismos se convierte en una de las mejores herramientas con las cuales se pueden evaluar el estado de la salud ambiental de cualquier cuerpo de agua superficial y sus condiciones de recuperación.

La quebrada Pichirí como fuente hídrica de referencia presentó una alta riqueza de géneros con respecto a las otras tres fuentes hídricas estudiadas, y aunque no registró el mayor número de especies capturadas, estas tuvieron la distribución más uniforme del grupo de fuentes hídricas analizadas. Esta situación es una forma de evidenciar cómo la comunidad de macroinvertebrados de las corrientes de agua lóxicas se altera con la presencia de la actividad minera, pues durante el disturbio estas pueden llegar hasta desaparecer, y con el pasar del tiempo, comenzar su proceso de colonización nuevamente. Melcalfe (1989), supone el planteamiento de que la diversidad en los ambientes acuáticos no alterados se caracteriza por ser alta, con una distribución uniforme de individuos entre las especies y con una moderada a alta cantidad de individuos (Tabla 4).

Al hacer un análisis comparativo del comportamiento de la estructura numérica de la comunidad

de macroinvertebrados de la quebrada Pichirí con respecto a las quebradas Jorobiró, Sabaleta y Marcos Díaz, se observó que la fuente hídrica con mayor diversidad (H') fue la quebrada Sabaleta, donde se registró un valor de 1.805 (Tabla 4). En el caso de la quebrada Marcos Díaz el índice de diversidad arrojó un valor de 1.405, a pesar de que se colectaron 10 géneros más por encima del reporte obtenido en la quebrada Sabaleta. Estos resultados podrían estar relacionados con la distribución de los individuos capturados por género, comportamiento que no fue diferente con los valores de equidad, pues el valor más cercano al obtenido en la quebrada Pichirí (0,7234), fue el de la quebrada Sabaleta (0,6665), porque en esta fuente hídrica hubo una distribución más uniforme entre los representantes capturados por géneros, porque, posiblemente, la alta densidad poblacional que registró el género *Ablabesmia*, de la familia Chronomidae, del orden Díptero, con quien se registraron 687 individuos frente a 77 individuos capturados del género *Dythemis*, quien le sigue en cantidad en la quebrada Marcos Díaz, pudo haber influido en la baja equidad registrada en este cuerpo de agua. Melcalfe (1989), manifiesta que en ambientes contaminados con desechos orgánicos degradables, la comunidad por lo general responde con un descenso de la diversidad, con pérdida de organismos sensibles, aumento en la abundancia de los organismos tolerantes las cuales ahora tienen una fuente enriquecida de alimentos, y por supuesto un descenso de la equidad. Por otro lado, afirma que la respuesta de estos organismos a la presencia de tóxicos no degradables o contaminación ácida se traduce en un descenso tanto de la diversidad como de la abundancia, así como en la eliminación de organismos sensibles, además que no hay fuentes adicionales de alimento para las formas tolerantes.

Con respecto a la dominancia, el reporte más cercano al de la quebrada Pichirí, nuevamente fue el de la quebrada Sabaleta, y el más distante el de Marcos Díaz, resultados que podrían estar



Tabla 4. Estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados de las quebradas Pichirí, Sabaleta y Marcos Díaz

Fuentes hídricas quebradas	Taxa	Individuos	Dominio	Diversidad de Shannon	Simpson	Margalef	Equidad
Pichirí	37	842	0,1374	2,612	0,8626	5,345	0,7234
Jorobiró	0	0	0	0	0	0	0
Sabaleta	15	153	0,2904	1,805	0,7096	2,783	0,6665
Marcos Díaz	25	1024	0,4649	1,405	0,5351	3,462	0,4366

relacionado principalmente con los registros obtenidos durante las mediciones de las variables físico-químicas, pues estas al parecer ejercen una influencia directamente proporcional sobre la diversidad y riqueza de especies de un cuerpo de agua, también influyen en la presencia o ausencia de algunas especies, pues estas condiciones físico-químicas, junto con los niveles de tolerancia hacen que algunas especies presenten mayores densidades poblacionales que otras, que, en casos extremos, tienden hasta a desaparecer. La pérdida de diversidad es generalmente una de las principales consecuencias de los impactos antropogénicos. Relativo a los ecosistemas terrestres, la pérdida de la biodiversidad es más alta en los ecosistemas dulceacuícolas (Hanson *et al.* 2010).

Conclusiones

Los efectos de la actividad minera sobre los ecosistemas acuáticos presentan varias manifestaciones, una de ellas está relacionada con la alteración de la estructura ecológica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos que habitan cuerpos de aguas lóxicos, como respuesta al deterioro de la calidad físicoquímica del agua, ya que los vertimientos mineros influyen significativamente sobre las características físico-químicas del agua durante y después de la presencia de estos, en especial entre las medianas de los parámetros como: sólidos suspendidos, turbiedad, temperatura, conductividad, sólidos disueltos totales, y oxígeno disuelto.

De igual forma, los efectos de esta actividad podrían condicionar el comportamiento de la estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados de las fuentes hídricas intervenidas, porque la alta sensibilidad que presentan algunas de estas especies, hacen que sus niveles de tolerancia a las perturbaciones ambientales determinen la predominancia de unas especies más que otras, o que en su defecto no existan.

Lo anterior debido a que se observó cómo la riqueza o diversidad de géneros y la equitatividad de sus representantes, presentaron una tendencia a disminuir, pues solo los más tolerantes a las perturbaciones ambientales y a los cambios extremos en los ecosistemas acuáticos pueden sobrevivir y permanecer en el tiempo. También se observó cómo hubo un aumento progresivo en la dominancia. Por consiguiente, se considera que los organismos capturados en los cuerpos de agua lóxicos evidencian cómo, a través del tiempo, la comunidad de macroinvertebrados varía tanto en especies, como en la representación de estos; sin embargo, esta variación está más relacionada con la presencia de organismos indicadores de aguas contaminadas o en recuperación, que con organismos propios de aguas limpias y de buena calidad ambiental.

Literatura citada

Alonso A, Camargo J. 2005. Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. *Ecosistemas*. 14

- (3): 87-99. <https://bit.ly/3BrxRdJ>
- Angrisano EB. 1995. Ecosistemas de aguas continentales: Metodologías para su estudio. Insecta Trichoptera. Volumen 3. 1401 pp. <https://bit.ly/3W8skAy>
- Brack A, Ipenza, C, Álvarez J, Sotero V. 2011. Minería aurífera en Madre de Dios y contaminación con mercurio. Una bomba de tiempo. Lima: Ministerio del Ambiente. <https://bit.ly/3iSO6u5>
- Carrera C, Fierro K. 2001. Manual de monitoreo. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Quito: EcoCiencia. 57 pp. <https://bit.ly/3uBUrfV>
- D'Amico F, Darblade S, Avignon S, Blanc-Manet S, Ormerod SJ. 2004. Odonates as indicators of shallow lake restoration by liming: Comparing adult and larval responses. *Restor Ecol.* 12 (3): 439-46. <https://bit.ly/3FELRTT>
- Domínguez E, Molinere C, Nieto C. 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. Tucumán: Fundación Miguel Lillo. 656 pp. <https://bit.ly/3dYKDFk>
- Flowers RW, de la Rosa CL. 2010. Capítulo 4. Ephemeroptera. *Revista de Biología Tropical.* 58 (4): 63-93. <https://bit.ly/3W46rCz>
- Hanson P, Springer M, Ramírez A. 2010. Capítulo 1. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Rev Biol Trop.* 58 (suppl 4): 1-38. <https://bit.ly/3UG8njv>
- Ladrera R, Rieradevall M, Prat N. 2013. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: una herramienta didáctica. *Ikastorrotza. e-Revista de Didáctica* 11: 1-18. <https://bit.ly/3FhQUIt>
- Metcalfe JL. 1989. Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: History and present status in Europe. *Environmental Pollution.* 60 (1-2): 101-39. <https://bit.ly/3Yceejt>
- Merritt RW, Cummins K 1996. An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall/Hunt Publishing Company. 862 pp. <https://bit.ly/3Fd9WQt>
- Roldán G. 1996. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Bogotá: Fondo FEN Colombia, COLCIENCIAS, Universidad de Antioquia. 226 pp. <https://bit.ly/3HoUT8N>
- Roldán G. 1999. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de calidad del agua. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.* 23 (88): 375-87. <https://bit.ly/3VMMMEYK>
- Roldán G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso de método BMWP/Col. Medellín: Editorial Universidad del Antioquia. 170 pp. <https://bit.ly/3Ydi1gq>
- Rosenberg DM, Resh VH. 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. New York: Springer. <https://link.springer.com/book/9780412022517>
- Simaika JP Samways MJ. 2009. An easy-to-use index of ecological integrity for prioritizing freshwater sites and for assessing habitat quality. *Biodiversity and Conservation.* 18: 1171-85. <https://bit.ly/3FFIxrJ>
- World Wildlife Fund (WWF), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF). 2016. Conservación de la biodiversidad en paisajes impactados por la minería en la región del Chocó Biogeográfico. <https://bit.ly/3YcIWt2>
- Zúñiga MdC. 2000. Bioindicadores de calidad de agua y caudal ambiental. *Indicadores Biológicos en Ecosistemas Desarrollo de Suelos.* pp. 176-210. <https://bit.ly/3UFwnn7>