

Ensamble de macroinvertebrados acuáticos y estado ecológico de la microcuenca Dalí-Otún, Departamento de Risaralda, Colombia

Aquatic macroinvertebrate assemblages and ecological state of Dali sub-basin, Risaralda State, Colombia

Jeymmy Milena Walteros Rodríguez¹, Juan Mauricio Castaño Rojas¹ y Jorge Hernán Marulanda Gómez²¹Grupo de investigación Ecología Ingeniería y Sociedad-EIS, Universidad Tecnológica de Pereira. Carrera 27, No.10-02, Barrio Alamos, Pereira Risaralda. Colombia²Grupo de Investigación, Aguas y Aguas de Pereira S. A. Carrera 10, No.17-55, Pereira Risaralda. Colombia
e-mail: jeymmy.walteros@utp.edu.co**Recibido:** 13 de mayo de 2015.**Aceptado:** 09 de febrero de 2016.Walteros Rodríguez J. M., J. M. Castaño Rojas y J. H. Marulanda Gómez. 2016. Ensamble de macroinvertebrados acuáticos y estado ecológico de la microcuenca Dalí-Otún, Departamento de Risaralda, Colombia. *Hidrobiológica* 26 (3): 359-371.

RESUMEN

Antecedentes. Los macroinvertebrados acuáticos han sido ampliamente estudiados para evaluar la respuesta de los ecosistemas acuáticos a impactos antrópicos, razón por la cual hacen parte de diversos protocolos de valoración integral ecológica de corrientes. **Objetivos.** Este estudio evaluó el ensamble de los macroinvertebrados acuáticos presentes en la microcuenca Dalí, así como su estado ecológico estado ecológico de las corrientes. **Métodos.** Se realizaron seis muestreos entre abril de 2012 y noviembre de 2013, sobre siete tramos de las quebradas. **Resultados.** Se recolectaron macroinvertebrados mediante el método de multihábitats y se realizó la valoración visual del hábitat fluvial y bosque de ribera. Los macroinvertebrados acuáticos fueron abundantes y diversos, particularmente en los puntos de referencia ubicados aguas arriba sobre la quebrada Dalí y el tributario QR2. Se encontraron diferencias entre la composición por microhábitats muestreados (K-W; $p < 0.05$). El índice BMWP, reflejó una condición de calidad buena, con “agua muy limpia a limpias”; de igual manera el Índice IHF determinó que todas las estaciones presentan excelente condición, excepto la quebrada QR3. Finalmente, con el índice IMEERA la condición ecológica de Dalí y tributario QR2 es muy buena a buena, mientras que para la estación QR3 la condición es pésima, pese al proceso de restauración natural de su cauce. **Conclusiones.** Las relaciones entre la complejidad estructural del hábitat físico y la diversidad de los macroinvertebrados son un aspecto interesante para estudiar en los ríos andinos colombianos.

Palabras clave: Calidad del hábitat, cuenca alta río Otún, estado ecológico, río andino.

ABSTRACT

Background. Aquatic macroinvertebrates have been widely used as bioindicators of the response of aquatic ecosystems to human activities that affect them. Thus, their use as bioindicators is included in different protocols for the ecological assessment of streams. **Goals.** This study assessed the ensemble of aquatic macroinvertebrates in Dali Creek along with its ecological condition. **Methods.** Six surveys over seven reaches of the Creek were conducted from April 2012 through November 2013. The multihabitat method was used to collect the macroinvertebrates, and a visual assessment was used to study the state of the aquatic habitat and the riparian vegetation. **Results.** The results show that Aquatic macroinvertebrates are abundant and diverse, particularly at the reference points located upstream on the Dalí Creek and its tributary QR2. It was found significant differences between microhabitats sampled composition (K-W $p < 0.05$). The BMWP index displayed a condition of high quality, with “very clean water to clean” condition. Similarly, the IHF index showed that all the sampling points present excellent condition except the QR3 point. Finally, the IMEERA index revealed that the ecological status of stream Dalí and QR2 tributary is very good to good; while for the sites QR3 the condition is very bad, despite the natural restoration process of the stream channel. **Conclusions.** The relationships between structural complexity of the physical habitat and the macroinvertebrates diversity are interesting aspects for studying streams in the Colombian Andes.

Key words: Andean river, ecological condition, habitat quality, upstream river watershed Otún.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el interés por conocer y conservar el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos se fundamenta no sólo en la composición, estructura y funcionalidad de la biodiversidad allí existente, sino también en la solución y reducción de conflictos socio-ambientales que conllevan al deterioro del recurso hídrico (Secretaría de la Convención RAMSAR, 2010). Particularmente en Sudamérica, el estudio de los ecosistemas prioritarios ha tomado fuerza en varios países, a tal punto que las investigaciones se encaminan hacia la implementación de protocolos para la valoración de las corrientes, entendidas como un ecosistema (Acosta *et al.*, 2009; Rivera-Usme *et al.*, 2013; Villamarín *et al.*, 2013). Si bien estos protocolos aún están en proceso de validación, su desarrollo en los ecosistemas andinos es un referente que permite hacer comparaciones entre lugares, sin llegar aún a protocolos generales. A pesar de esta limitación, estos protocolos son considerados herramientas por los organismos públicos y gestores de los recursos hídricos (Acosta *et al.*, 2009).

Las experiencias de monitoreo en ríos andinos apuntaron por muchos años al tema de la calidad de agua, con un enfoque particular a la generación de información sobre las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua. Tan sólo en las últimas décadas el componente hidrobiológico se ha incluido en estos estudios, a partir de los llamados “indicadores ecológicos”, aludidos en la comunidad de macroinvertebrados y mediante los cuales se puede evaluar la respuesta del ecosistema acuático a los impactos generados por acciones antrópicas (Roldán & Ramírez, 2008 y Zúñiga & Cardona, 2009). La investigación de esta comunidad acuática o macrofauna ha tenido una respuesta positiva, su estudio de composición y estructura define métricas únicas (*p.e.* porcentaje de Dípteros, Chironomidos, EPT, etc.) e índices bióticos (BMWP, ABI, etc.) o multimétricos (Bonada *et al.*, 2006), los cuales han sido usados en diferentes métodos de evaluación ecológica en los ríos Andinos (Chará, 2008; Acosta *et al.*, 2009; Prat *et al.*, 2009; Walteros-Rodríguez & Paiba-Alzate, 2010; Ríos-Touma *et al.*, 2011; Walteros & Daza, 2011; Meza-S *et al.*, 2012; Villamarín *et al.*, 2013 y Zúñiga *et al.*, 2013).

Si bien la diversidad taxonómica y los factores ambientales son necesarios para conocer parte de la complejidad de los ríos, es fundamental comprender su diversidad funcional y algunos de los mecanismos que controlan o determinan estos patrones (Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014a), de tal manera que las valoraciones ecológicas tengan un concepto integral y proporcionen mayor información con el fin de definir un estado ecológico. Sin embargo, es claro que la aplicación de estos métodos a cualquier corriente requiere de una validación a escala geográfica y de un gradiente ambiental definido (Villamarín, 2012), ya que estas técnicas pueden llegar a ser sensibles a cambios sutiles en la estructura de la comunidad y en algunos casos no detectados por los índices solamente biológicos (Carvacho, 2012).

El presente estudio se realizó con el objetivo de conocer la composición y estructura del ensamble de macroinvertebrados acuáticos de la microcuenca Dalí, en el municipio de Santa Rosa de Cabal, así como definir su estado ecológico, a partir de índices bióticos, ecológicos y de valoración visual.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La microcuenca de la quebrada Dalí se encuentra en la vereda San José, municipio de Santa Rosa de Cabal, sobre la vertiente derecha del río Otún, del cual es tributario directo (Figura 1). Cuenta con un área de 430 ha, con un rango altitudinal aproximado de entre 1750 a 2700 m s. n. m. (Laboratorio SIG-UTP *comp pers*, Noviembre 2014).

Este territorio se clasifica como bosque subandino y/o bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB) (Rangel, 2000), donde predomina un relieve montañoso de pendiente aproximada al 60%. Se mantienen algunas coberturas de bosque natural hacia la parte alta. En la zona media de planicie inundable se encuentra un complejo de humedales, los cuales fueron intervenidos décadas atrás al ser modificados por las actividades forestales y pecuarias. Actualmente se encuentran en proceso de regeneración natural, por lo que domina el rastrojo en diferentes estados de sucesión (PNNC, 2007).

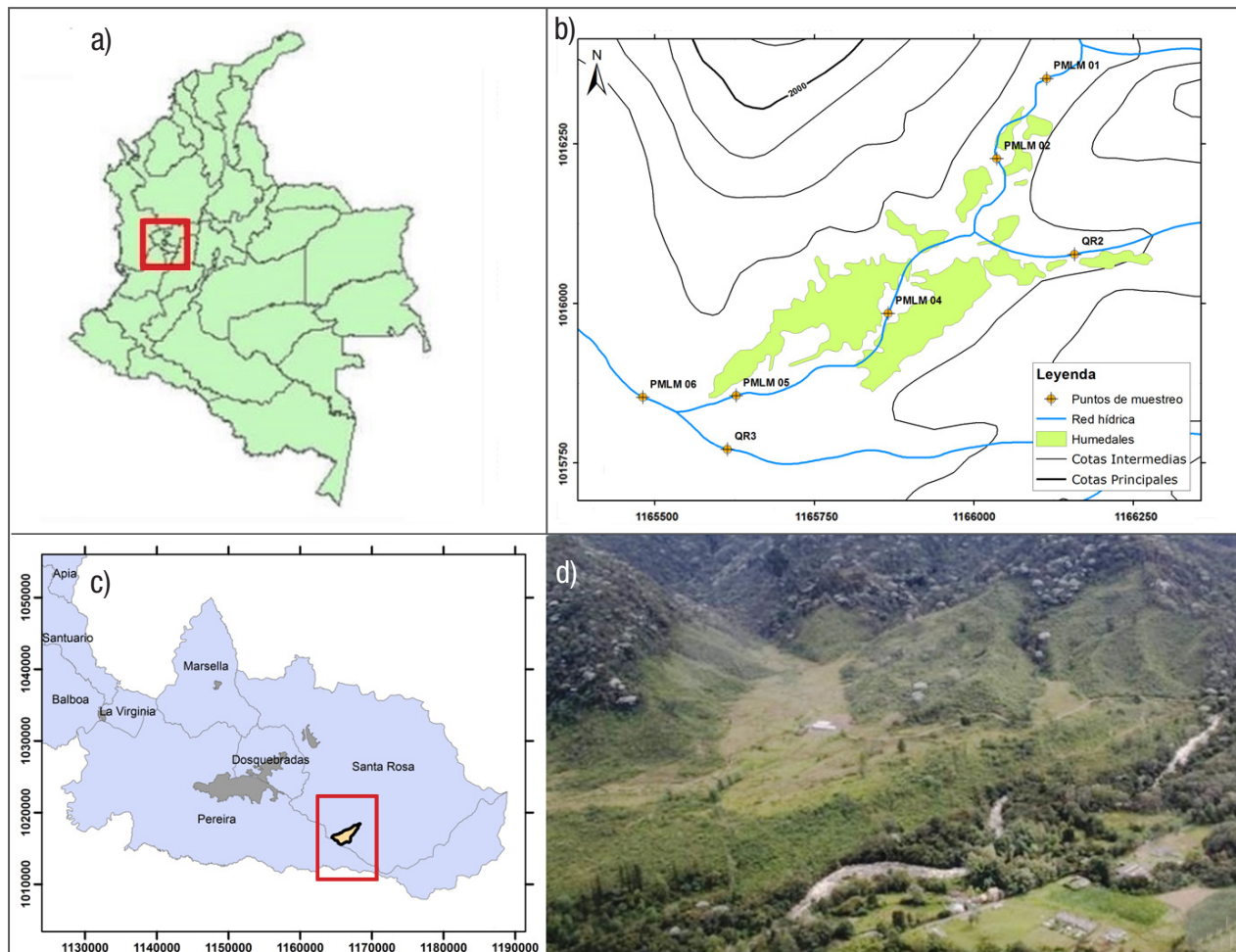
Muestreo. Entre abril del 2012 y noviembre de 2013 se muestrearon cinco tramos ubicados en la quebrada Dalí (identificados como PMLM01, PMLM02, PMLM04, PMLM05 y PMLM06) y en dos tributarios de primer orden (QR2 y QR3) (Figura 1). Las estaciones de referencia (sin o con mínima intervención antropogénica) fueron seleccionadas con ayuda del protocolo propuesto por Acosta *et al.* (2009), con la elección de los puntos PMLM01 y QR2. Se muestreó durante temporada de secas (junio, julio y septiembre) y temporada lluviosa (abril, mayo y noviembre).

Factores ambientales evaluados. Para cada tramo evaluado se determinaron *in situ* las variables fisicoquímicas de temperatura, conductividad y pH con una sonda multimétrica.

Para la evaluación de las características de hábitat fluvial se aplicó el índice IHF adaptado para la región andina por Acosta *et al.* (2009). Se evaluaron siete apartados: inclusión de rápidos (IHF1), frecuencia de rápidos (IHF2), composición de sustrato (IHF3), régimen de velocidad/profundidad (IHF4), porcentaje de sombra (IHF5), elementos de heterogeneidad (IHF6) y cobertura vegetal acuática (IHF7); al final se sumaron los puntos de cada apartado y se definió un estado de calidad del hábitat por tramo.

En cuanto a las características y calidad de la zona de vegetación de ribera, se valoraron con ayuda del índice QBR-And (Acosta *et al.*, 2009) cuatro apartados correspondientes: grado de cubierta de la zona de ribera (QBR-And1), estructura de la cubierta (QBR-And2), calidad de la cubierta (QBR-And3) y grado de naturalidad del canal fluvial (QBR-And4). Como ejercicio complementario se comprobó y clasificó a las distintas especies nativas diferenciando entre árboles, arbustos y hierbas, y se comparó con el listado propuesto por Acosta *et al.* (2009). La Tabla 3 contiene ese listado de especies presentes en esta microcuenca.

Muestreo de los macroinvertebrados acuáticos. Para la recolección de los macroinvertebrados acuáticos se utilizó la red tipo Surber (900 cm²), con una luz de malla de 500 µm. En cada tramo de muestreo (20 m aproximadamente) se realizó el reconocimiento de los respectivos microhábitats dominantes que fueron sustrato rocoso, hojarasca u orilla con vegetación y sedimento fino (arena o gravilla en pozas particular-



Figuras 1a-d. Microcuenca Dalí, cuenca alta del río Otún, Colombia. a) Ubicación en el mapa de Colombia. b) Referencia sobre el departamento de Risaralda. c) Ubicación de las estaciones de muestreo sobre Dalí y sus tributarios. d) Fotografía aérea de la microcuenca Dalí, (especialmente parte media, zona de planicie inundable). Fuente: Aguas y Aguas de Pereira (2012).

mente), con base en el protocolo propuesto por Silveira *et al.* (2004). Todo el material biológico colectado se preservó y llevó al laboratorio de Procesos Biológicos de la Universidad Tecnológica de Pereira para su respectiva separación e identificación taxonómica hasta el nivel de género con ayuda de claves especializadas (Roldán, 1998; Posada-García & Roldán-Pérez, 2003; Domínguez *et al.*, 2009; Flowers & De la Rosa, 2010; Springer, 2010 y Prat *et al.*, 2012a). En cuanto a la asignación de los Grupos Tróficos Funcionales (GTF), se tuvo en cuenta la siguiente clasificación: recolectores (C), colectores-recolectores (C-R), filtrador (F), depredadores (D), fragmentador (T) y raspadores (R), según la propuesta de Ramírez & Gutiérrez-Fonseca (2014b).

Análisis de datos. Se calculó la abundancia relativa y absoluta, así como la riqueza de cada taxa en cada sitio de estudio. Para determinar si existían diferencias estadísticas significativas entre abundancia de individuos y las estaciones, sustrato o microhábitats muestreados, Grupos Tróficos Funcionales y épocas o periodos evaluados, se usó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis (K-W). La estimación de la riqueza de taxa esperada se analizó con la curva de acumulación de taxa (S), en comparación con la medida del esfuerzo de muestreo (n). De igual

manera, se estimaron métricas de dominancia de taxones de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera y el porcentaje de EPT, Chironomidae y Coleoptera y de uno de los Grupos Tróficos Funcionales (GTF). Para el análisis ecológico de algunos atributos estructurales de la comunidad se usaron índices de diversidad alfa de Shannon H', dominancia de Simpson D' y Equitatividad de Jaccard J' de acuerdo con la propuesta de Moreno (2001). Se calculó el índice biótico BMWP modificado por Zúñiga & Cardona (2009) para conocer la calidad ecológica del agua.

Para determinar el estado ecológico, se usaron dos metodologías que permitieron averiguar la integridad entre los elementos evaluados; una de ellas es la propuesta de Encalada *et al.* (2011) y Prat *et al.* (2012b), que está basada en el índice ECOSTRIMED (*Ecological Status River Mediterranean*), el cual pretende valorar de forma global la calidad de todo el ecosistema fluvial, incluida la ribera hidromorfológica. La otra metodología se basó en el cálculo de métricas representativas de la calidad biológica de la comunidad de macroinvertebrados, por medio de la aplicación CABIRA, soportada en el índice multimétrico IMEERA (Índice Multimétrico de Estado Ecológico de Ríos Altoandinos) propuesto por Villamarín *et al.* (2013).

Para poder comparar los diferentes índices calculados, los valores de calidad fueron normalizados mediante el cálculo del EQR (Relación de Calidad Ecológica en español). El EQR es la división del valor de un índice cualquiera entre su valor en condiciones de referencia (Prat *et al.*, 2012b).

RESULTADOS

Caracterizaciones del hábitat acuático y del bosque de ribera. Los tramos evaluados de la corriente de la quebrada Dalí y sus dos afluentes presentaron un pH ligeramente bajo, mientras que la temperatura y conductividad del agua se encontraron en rangos de entre 16 y 19.8 °C y de 40.3 y 56.5 $\mu\text{S/cm}$, respectivamente (Tabla 1). En la planicie inundable, considerada como la parte media de la microcuenca, se observó el incremento de un grado en la temperatura del agua.

En cuanto a la valoración cualitativa de la calidad del hábitat fluvial y del bosque de ribera, se evaluó de manera independiente cada apartado o componente de cada índice, así como de manera global (Tabla 1). Con estas valoraciones se confirmó a las estaciones PMLM01 y QR2 como puntos de referencia. En las estaciones ubicadas en la zona de planicie inundable, aunque cuentan con un hábitat bien constituido o excelente, algunos atributos como heterogeneidad, porcentaje de sombra e inclusión de rápidos deberían ser monitoreados por obtener puntuaciones bajas. En cuanto a los resultados arrojados por el índice QBR-And se observó una alteración en el bosque de ribera desde la estación PMLM02, muy evidente en las estaciones ubicadas sobre el valle de la quebrada Dalí. La estación QR3, en la cual se refirió que el tributario fue perturbado por actividades antropogénicas del pasado, presentó una pésima condición en la calidad tanto del hábitat como de la vegetación de ribera.

Tabla 1. Variables ambientales promedio estimadas para estación de muestreo evaluada en la microcuenca Dalí, cuenca alta del río Otún, Colombia.

Tipo de variable		Estaciones de muestreo						
		PMLM01	PMLM02	PMLM04	PMLM05	PMLM06	QR2	QR3
Ambientales	Altitud (m.s.n.m.)	1868	1859	1848	1842	1840	1856	1834
	pH (unidades)	7.2	7.01	7.06	7.11	6.97	6.92	6.68
	Temperatura del agua (°C)	16	16.4	16.7	17	17.6	16.5	19.8
	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	56.5	52.9	51.9	53	52.7	51.5	40.3
	Ancho de cauce (m)	2.6	1.9	2.1	2.1	2.6	0.9	1.1
	Profundidad promedio (cm)	22	38	35	33	32	15	25
Variables Respuesta								
Métricas de Abundancia	No total de individuos	4812	3258	4163	4693	5754	2469	25
	No. total de EPT	2070	1175	2089	2095	2767	657	0
	No de Chironomidae	728	738	595	673	678	534	18
	No de Coleoptera	1086	834	848	1191	1436	529	2
	No. Total de taxa	93	85	87	81	83	78	5
Métricas de Riqueza	Taxa Coleoptera	18	14	16	17	18	20	2
	Taxa EPT	33	32	32	30	33	24	0
	Taxa Díptera	16	15	14	13	10	12	2
Métricas de composición	% Insectos	95.4%	94.0%	93.0%	93.0%	95.0%	91.0%	88.0%
	% ETP	43.0%	36.0%	51.0%	45.0%	48.0%	27.0%	0.0%
	% Chironomidae	15.0%	22.0%	14.0%	14.0%	12.0%	22.0%	72.0%
	% Coleptera	22.0%	25.0%	20.0%	25.0%	25.0%	21.0%	8.0%
Índices de Diversidad	Diversidad Shannon (H')	3.20	2.89	2.84	2.94	2.77	2.93	0.59
	Dominancia Simpson (D _{SI})	0.06	0.09	0.08	0.07	0.09	0.08	0.32
	Equitatividad Jaccard (I _J)	0.82	0.77	0.77	0.78	0.77	0.79	0.54
Grupos Tróficos Funcionales-GTF	% Colector	15.73%	25.55%	19.88%	26.08%	23.50%	22.70%	69.23%
	%Colector/recolector	23.64%	24.93%	42.06%	38.96%	47.02%	21.03%	7.69%
	% Depredador	15.69%	15.58%	13.45%	11.66%	7.07%	15.48%	0.00%
	% Fragmentador	23.77%	25.52%	12.46%	10.81%	8.62%	26.95%	11.54%
	% Raspador	16.29%	4.69%	5.71%	5.82%	4.68%	1.10%	11.54%
	% (Sin identificar)	0.27%	0.06%	0.14%	0.15%	0.19%	0.49%	0.00%

La microcuenca Dalí, en su parte alta, cuenta con una cobertura de bosque secundario con heterogeneidad en los estratos, lo que pudo favorecer a la diversidad animal y vegetal en la zona donde se encuentran ubicadas las estaciones PMLM01 y QR1; mientras que en la planicie inundable predominaron coberturas vegetales en estados sucesionales avanzados, dominadas por especies resistentes como *Baccharis* sp. o chilco y *Pennisetum clandestinum* o pasto kikuyo, propias de estratos arbustivos y herbáceos.

Comunidad de macroinvertebrados acuáticos. En total se recolectaron 25,174 organismos, fluctuó entre 25 y 5,724 individuos (en los sitios QR3 y PMLM05, respectivamente) correspondientes a 5 y 93 taxa identificadas (en los sitios QR3 y PMLM01, respectivamente) Tabla 4. La clase Insecta tuvo mayor representación en términos de abundancia y riqueza, destacándose órdenes como Coleoptera, Diptera, Ephemeroptera y Trichoptera (Fig. 2). Aunque la mayoría de los estadios fueron larvales, también aparecieron registros de adultos y pupas.

Si bien para este estudio se logró la clasificación 129 taxones, que hace referencia a la riqueza específica global, el ensamble de macroinvertebrados se mantuvo estable, tal como se observa en la curva de acumulación de taxones (Fig. 3). Es altamente probable el registro de nuevos géneros o taxa para esta comunidad, lo que pone de manifiesto la heterogeneidad bioindicadora en la microcuenca Dalí. El estimador no paramétrico Chao 1 predijo un total de 137 taxones, basado en la abundancia; dicho estimador predice una completitud del inventario del 94%, criterio que define que el muestreo fue representativo. Es necesario un esfuerzo mayor en el muestreo para poder registrar entre 5 y 8 taxones y así alcanzar la asíntota y completitud del inventario.

Estos registros se relacionan con la heterogeneidad de microhábitats disponibles para la colonización de esta comunidad. Hojarasca, ori-

lla con vegetación, sustrato rocoso y grava fueron los más dominantes para cada tramo muestreado. Si bien para este estudio no se registró diferencia estadística significativa entre las épocas muestreadas (K-W, $p=0.156$), sí se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los microhábitats (K-W, $p=0.021$).

En cuanto a los estimativos ecológicos evaluados (Tabla 1), la diversidad Shannon se presentó entre los rangos de 3.195 y 0.589 (en los sitios PMLM01 y QR3, respectivamente). Por su parte la dominancia de Simpson se encontró entre 0.323 y 0.058 definida para las mismas estaciones, lo que indica que existe una distribución heterogénea entre los organismos que son parte de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, excepto para la estación QR3, la cual presentó un proceso sucesional y por tanto un restablecimiento de la comunidad bioindicadora.

Respecto a los Grupos Tróficos Funcionales (GTF), los colectores-recolectores fueron los mejor representados con un 35%, seguido de los recolectores con un 22% y los fragmentadores con un 16.5%. En las estaciones de referencia PMLM01 y QR2 e incluso en el sitio PMLM02 destacan los fragmentadores con porcentajes superiores al 25%. Se observó que los colectores-recolectores superaron el 42% en sitios como PMLM04 y PMLM06 y para el tributario QR3 los colectores alcanzaron un 69%. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes GTF identificados para este estudio (K-W, $p=0.76$).

Análisis del estado ecológico de la microcuenca Dalí. En primer lugar, el análisis la calidad ecológica del agua a través de la aplicación del índice BMWP/Col hace referencia a una calidad muy buena, es decir, “agua muy limpia”, tanto para los meses muestreados como para las estaciones. Algunos sitios superan los 200 puntos para este índice, valores poco comunes en los sistemas andinos (Tabla 2).

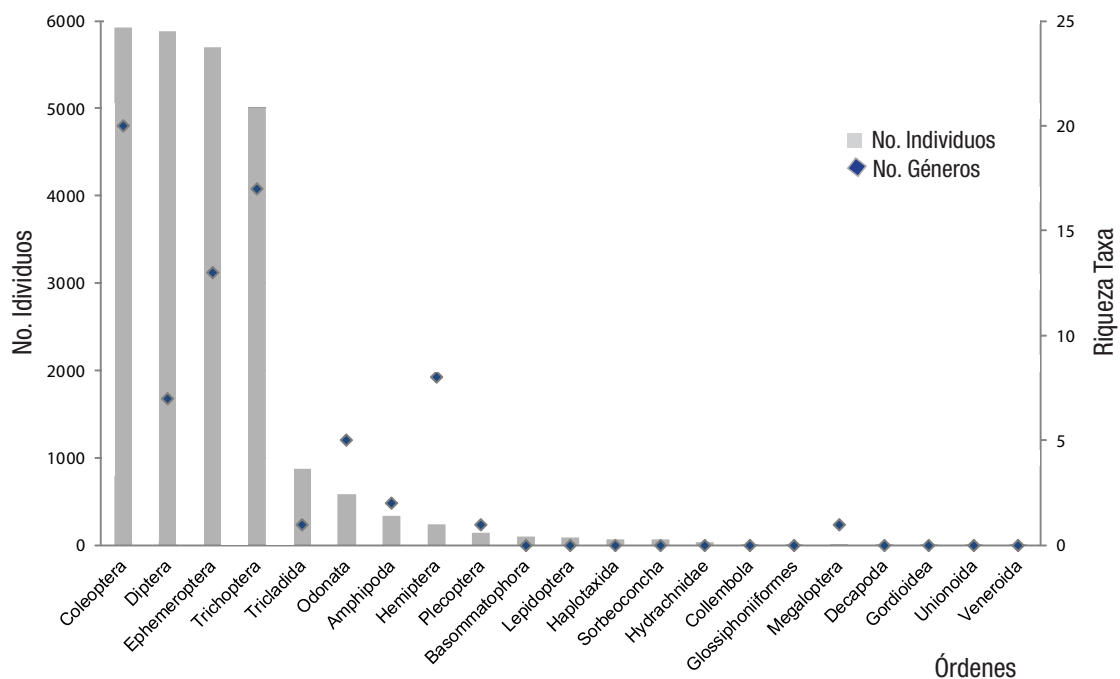


Figura 2. Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la quebrada Dalí, cuenca alta del río Otún, Colombia.

La asignación de un estado ecológico para la microcuenca Dalí se basó en la combinación de los valores de dos índices de calidad, el índice BMWP (variable respuesta) y el valor del índice QBR-And e IHF (variables explicativas). De acuerdo con la propuesta de Encalada *et al.* (2011), la calidad ecológica de la quebrada Dalí y del tributario QR2 es excelente y para el tributario QR3 se considera pésima (Tabla 2). Adicionalmente, se analizaron los resultados con un índice multimétrico de estado ecológico para los ríos Andinos propuesto por Villamarín *et al.* (2013), donde se obtuvo una muy buena calidad para todas las estaciones, excepto el tributario QR3 que reflejó una mala calidad ecológica (Tabla 2).

DISCUSIÓN

Diversidad de macroinvertebrados acuáticos. Los resultados de composición y estructura en el ensamble de los macroinvertebrados acuáticos se encuentran soportados por las excelentes condiciones de calidad de hábitat presentes en la quebrada Dalí y sus tributarios. Algunos órdenes como Coleoptera y Trichoptera tuvieron buena representación, tanto espacial (microhábitats) como temporalmente (temporada seca y lluviosa). Aunque la mayoría de los estadios fueron larvales, también aparecieron registros de adultos y pupas. Estos resultados fueron similares a los presentados por Chará (2008) y Villamarín (2012).

De acuerdo con lo afirmado por Manzo (2005) y Zúñiga *et al.* (2013), este tipo de quebradas andinas albergan una significativa porción de la diversidad del orden Coleoptera en Sudamérica, de tal manera que los 19 géneros reportados para este estudio pueden representar más del 50% de la fauna conocida a nivel genérico en América del Sur, según la revisión de Archangelsky *et al.* (2009).

Por su parte, los Trichoptera estuvieron bien representados por larvas y pupas, las cuales viven en diversos ambientes acuáticos y la mayoría construyen refugios fijados al sustrato o refugios portátiles de una variedad de formas y materiales. Según Springer (2010) y Guevara *et al.* (2005), estos insectos acuáticos, además de ser diversos, son capaces de colonizar diferentes tipos de sustratos (roca, arena, grava, hojarasca), tanto en rápidos como en remansos. Algunos géneros como *Smicridea* e *Hydroptila*, que además de ser comunes, se encontraron asociados al sustrato rocoso, pese a la inclusión de sedimento fino sobre éste.

Los tramos estudiados de las corrientes de la microcuenca Dalí y sus afluentes describen una heterogeneidad espacial, que además de estar influenciada por condiciones biofísicas de la corriente, promueven en la parte alta un elevado potencial de dominancia tanto de hojarasca como de sustratos rocosos, lo que coincide con lo expreso por Vannote *et al.* (1980), Barbour *et al.* (1999) y Allan & Castillo (2007). A nivel de cuenca media, existen coberturas importantes de sustrato inorgánico tipo gravas y arenas, pero se mantiene una proporción importante de piedras medianas y pequeñas. Este patrón también fue registrado en otras investigaciones realizadas en quebradas andinas y altoandinas (Bernal *et al.*, 2006; Ríos *et al.*, 2011 y Rodríguez-Barrios *et al.*, 2011), donde la combinación de hojarasca y sustrato rocoso aseguran una diversidad funcional en torno a la presencia de organismos recolectores, colectores-recolectores y fragmentadores como los más representativos, similar al de este estudio.

Tabla 2. Condición ecológica definida para cada tramo de acuerdo con las propuestas de Zúñiga & Cardona (2009), Encaladas *et al.* (2011), Prat *et al.* (2012b) y Villamarín *et al.* (2013).

Categoría	Métrica	PMLM01	PMLM02	PMLM04	PMLM05	PMLM06	QR2	QR3
Índice de Bosque de Ribera para los Andes (Acosta <i>et al.</i> , 2009)	Índice QBR-And Nivel de calidad	100	65	40	30	30	85	15
Índice de Hábitat Fluvial para ríos Andinos (Acosta <i>et al.</i> , 2009)	Índice IHF Nivel de calidad	Muy buena	Inicio de alteración	Alteración fuerte	Alteración fuerte	Alteración fuerte	Ligeramente perturbado	Degradación extrema
Índice biótico de la calidad ecológica del agua (Zúñiga & Cardona, 2009)	Índice BMWP Nivel de calidad	Hábitat excelente	Hábitat excelente	Hábitat excelente	Hábitat excelente	Hábitat excelente	Hábitat excelente	Hábitat empobrecido
		207	176	152	138	150	164	14
Calidad ecológica del río (Encalada <i>et al.</i> , 2011)	BMWP vs. IHF	Muy buena calidad	Muy buena calidad	Muy buena calidad	Muy buena calidad	Muy buena calidad	Muy buena calidad	Pesima calidad
Calidad Biológica de ríos Andinos (Villamarín <i>et al.</i> , 2013)	CABIRA Nivel de calidad	Excelente calidad	Excelente calidad	Excelente calidad	Excelente calidad	Excelente calidad	Excelente calidad	Pesima calidad
		165	135	155	140	140	138	30
		Muy buena calidad	Muy buena calidad	Muy buena calidad	Muy buena calidad	Muy buena calidad	Muy buena calidad	Mala calidad

Tabla 3. Listado de especies vegetales más comunes presentes en la microcuenca Dali, cuenca alta del río Otún, Colombia.

Especie	Familia	Nombre común	Hábito
1. <i>Hydrocotyle umbellata</i> L.	Apiaceae	oreja de ratón	herbáceo
2. <i>Hydrocotyle</i> sp. 1	Apiaceae	oreja de ratón	herbáceo
3. <i>Hydrocotyle</i> sp. 2	Apiaceae	oreja de ratón	herbáceo
4. <i>Hydrocotyle</i> sp. 3	Apiaceae	oreja de ratón	herbáceo
5. <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (L.) Schott	Araceae	bore, mafafa	herbáceo-subarborescente
6. <i>Baccharis</i> sp.	Asteraceae	chilco	arbustivo
7. <i>Elephantopus mollis</i> Kunth	Asteraceae	totumo, chicoria	herbáceo
8. <i>Erato vulcanica</i> (Klatt.) H. Rob.	Asteraceae		arbustivo-escandente
9. <i>Erechtites hieracifolia</i> (L.) Raf. ex D.C.	Asteraceae	achicoria, valeriana	herbáceo
10. <i>Heliopsis oppositifolia</i> (Lam.) Diaz	Asteraceae	boton de oro	herbáceo
11. <i>Mikania micrantha</i> Kunth	Asteraceae	guaco	trepadora
12. <i>Lepidaploa canescens</i> (Kunth) H. Rob.	Asteraceae		arbustivo-escandente
13. <i>Mikania</i> sp. 1	Asteraceae	guaco	trepadora
14. <i>Mikania</i> sp. 2	Asteraceae	guaco	trepadora
15. <i>Begonia</i> cf. <i>holtonnii</i>	Begoniaceae	begonia	herbáceo
16. <i>Blechnum</i> sp.	Blechnaceae	helecho	herbáceo
17. <i>Podandrogyne brachycarpa</i> A. DC.	Capparaceae		arbustivo
18. <i>Arenaria</i> cf.	Caryophyllaceae		herbáceo. leñosa
19. <i>Arenaria lanuginosa</i> (Michx.) Rohrb.	Caryophyllaceae		herbácea
20. <i>Drymaria cordata</i> (L.) Will.	Caryophyllaceae		herbáceo
21. <i>Myriophyllum aquaticum</i>	Ceratophyllaceae	helecho acuático	herbáceo
22. <i>Coussapoa villosa</i> Poepp. et Endlicher	Cecropiaceae	lembo, matapalos	arbóreo -hemiepifito
23. <i>Commelina</i> cf. <i>diffusa</i> Burm.	Commelinaceae	suelta	herbáceo
24. <i>Tipogandra cumanensis</i> (Kunth) Woods.	Commelinaceae	suelta	herbáceo
25. <i>Melothria pendula</i> L.	Cucurbitaceae		trepadora
26. <i>Eleocharis acicularis</i> (L.) Roem. et Schult.	Cyperaceae		herbáceo
27. <i>Eleocharis elegans</i> (Kunth) Roem. et Schult.	Cyperaceae	junco	herbáceo
28. <i>Eleocharis</i> sp. 1	Cyperaceae		herbáceo
29. <i>Eleocharis</i> sp. 2	Cyperaceae	junco	herbáceo
30. <i>Killingia</i> sp.	Cyperaceae		herbáceo
31. <i>Equisetum bogotense</i> Kunth	Equisetaceae	cola de caballo	herbáceo
32. <i>Croton smithianus</i> Croiz	Euphorbiaceae	drago, guacamayo	arbóreo
33. <i>Gunnera</i> cf. <i>manicata</i> André	Gunneraceae	hoja de pantano	herbáceo
34. <i>Juncus effusus</i> L.	Juncaceae	junco	herbáceo
35. <i>Hyptis</i> cf. <i>capitata</i> Jacq.	Lamiaceae	cartagena, mastranto	herbáceo
36. <i>Salvia</i> cf. <i>scutellaroides</i> Kunth	Lamiaceae	salvia	herbáceo
37. <i>Ocotea</i> cf. <i>macropoda</i> (Kunth) Mez	Lauraceae	laurel, aguacatillo	arbóreo
38. <i>Lycopodium clavatum</i> L.	Lycopodiaceae	licopodio, colchón de pobre	herbáceo
39. <i>Cuphea micrantha</i> Kunth	Lythraceae	moradita, rosadita	herbáceo
40. <i>Cuphea racemosa</i> (L.) Spreng.	Lythraceae	moradita, rosadita	herbáceo
41. <i>Hiraea ferruginea</i> Cuatr.	Malpighiaceae		trepadora
42. <i>Stigmaphyllon bogotense</i> Tr. et Pl.	Malpighiaceae		trepadora
43. <i>Sida poeppigiana</i> (K. Schum.) Fryxwell	Malvaceae	escobadura	herbáceo, leñosa
44. <i>Miconia earuginosa</i> Naud.	Melastomataceae	niguito	arbustivo
45. <i>Miconia lehmanii</i> Pittier.	Melastomataceae	niguito	arbóreo
46. <i>Tibouchina ciliaris</i> (Vent.) Cogn.	Melastomataceae		herbáceo, leñosa
47. <i>Nephrolepis</i> sp.	Nephrolepidaceae	helecho	herbáceo
48. <i>Passiflora alnifolia</i> Kunth	Passifloraceae	curuba de monte	trepadora
49. <i>Passiflora</i> sp.	Passifloraceae	curuba de monte	trepadora
50. <i>Digitaria decumbens</i> Stent	Poaceae	pasto pangola	herbáceo
51. <i>Hyparrhenia rufa</i> (Ness) Stapf	Poaceae	pasto puntero	herbáceo
52. <i>Lachemilla orbiculata</i> (R. et P.) Rydb.	Rosaceae	plegadera, oreja de ratón	herbáceo
53. <i>Melinis enves</i>	Poaceae	pasto	herbáceo
54. <i>Melinis minutiflora</i> P. Beauv.	Poaceae	pasto yaraguá, gordura	herbáceo
55. <i>Pennisetum clandestinum</i> Hochts. ex Chiov.	Poaceae	pasto kikuyo	herbáceo
56. <i>Rubus bogotensis</i> Focke	Rosaceae	morita	arbustivo
57. <i>Rubus bogotensis</i> Kunth	Rosaceae	mora borrachera	arbustivo
58. <i>Galium hypocarpium</i> (L.) Griseb.	Rubiaceae		herbáceo, semitrepadora
59. <i>Selaginella difussa</i> (C. Presl.) Spreng.	Selaginellaceae	selaginela	herbáceo
60. <i>Solanum ovalifolium</i> Dunal	Solanaceae	frutillo	arbóreo
61. <i>Tropaeolum coccineum</i> Hughes	Tropaeolaceae		trepadora
62. <i>Myriocarpa stipitata</i> Benth.	Urticaceae	ortigo macho	arbóreo
63. <i>Stachytarpheta cayennensis</i> (L. C. Rich) Vahl.	Verbenaceae	verbena blanca	herbáceo

Información recopilada por cortesía de Uribe y Restrepo (Grupo Ecología Ingeniería y Sociedad-.EIS, Universidad Tecnológica de Pereira, 2014).

De acuerdo con Chará-Serna *et al.* (2010 y 2012), muchas de las quebradas protegidas de los andes colombianos soportan una dominancia numérica por parte de los organismos recolectores, pero también resaltan la importancia de los fragmentadores, que son más importantes en términos de biomasa por tratarse de individuos de mayor tamaño, tal es el caso de *Smicridea* y *Tetraglossa*, que resultaron ser dominantes en los resultados de esta investigación.

A pesar de no detectar diferencias estadísticamente significativas entre estaciones de muestreo en cuanto a la estructura trófica, es clave resaltar que en la planicie inundable de la microcuenca (particularmente el tributario QR3 y las estaciones PMLM05 y PMLM06) la diversidad funcional estuvo dominada por las condiciones ambientales locales y de cobertura vegetal, lo que validó lo propuesto por Jacobsen *et al.* (2008), quienes consideran que a escala de dos muestras cercanas pueden encontrarse diferencias a nivel de dicha diversidad funcional.

En cuanto a la riqueza específica global definida por la curva de acumulación de taxa, se acoge la propuesta de Moreno (2001), quien la considera como un indicador del estado del hábitat, basado en la hipótesis de que un tramo heterogéneo, con alta calidad del agua, permitirá la existencia de un mayor número de taxa (es decir, albergará mayor biodiversidad alfa), que un tramo afectado por alguna acción antropogénica.

Existe una riqueza específica y diversidad alfa alta, comparado con estudios en ríos de montaña similares como los presentados Bernal *et al.* (2006), Chará (2008), Walteros-Rodríguez & Paiba-Alzate (2011), González *et al.* (2012) y Meza *et al.* (2012).

Estado ecológico de la microcuenca Dalí. Los resultados de este estudio ratifican la importancia de evaluar condiciones biofísicas, hidromorfológicas e hidrobiológicas de referencia asociadas a la tipolo-

gía de las corrientes, con el fin de tener referentes propios para estos ecosistemas andinos, así como para caracterizar las alteraciones del ecosistema acuático, tal como lo propone Acosta *et al.* (2009), Prat *et al.* (2012b) y Villamarín *et al.* (2013).

Es evidente que los componentes evaluados en cada una de las estaciones de muestreo se articulan con la estructura y composición de la vegetación de ribera, ya que constituye un ecotono entre el hábitat terrestre y acuático, por lo que sus características biofísicas aportan a la funcionalidad de los ríos (Barbour *et al.*, 1999; Pardo *et al.*, 2002; Acosta *et al.*, 2009 y Villamarín *et al.*, 2013). Por lo tanto, si la vegetación de ribera está degradada, aunque las aguas estén limpias, no se espera un estado ecológico mejor (Prat *et al.*, 2012b). Este último caso se registró para las estaciones ubicadas en el valle de la microcuenca, donde la inclusión tanto de materia orgánica como de sólidos suspendidos sobre las piedras es común, por lo que la condición es *“pésima”* para el análisis comparativo entre los valores del QBR-And y el índice biótico BMWP (Encalada *et al.*, 2011).

En cuanto a la relación entre el índice IHF y el BMWP, se observa que las condiciones definidas para las estaciones son “muy buenas a buenas”, ya que el cauce no se encuentra alterado. No obstante, es recomendable hacer un seguimiento de las condiciones hidromorfológicas de la microcuenca y de la composición del sustrato inorgánico, particularmente en la estación QR3.

En cuanto al Índice Multimétrico del Estado Ecológico para ríos Andinos (IMEERA) tipo B, se observó que define una condición ecológica entre “muy buena” y “buena” para todas las estaciones, exceptuando al tributario QR3. Adicionalmente, este índice arroja información sobre aspectos de la estructura, composición y salud ambiental de las corrientes, por lo que se sugiere como una herramienta para evaluar la integridad biológica de los ríos andinos (Villamarín *et al.*, 2013).

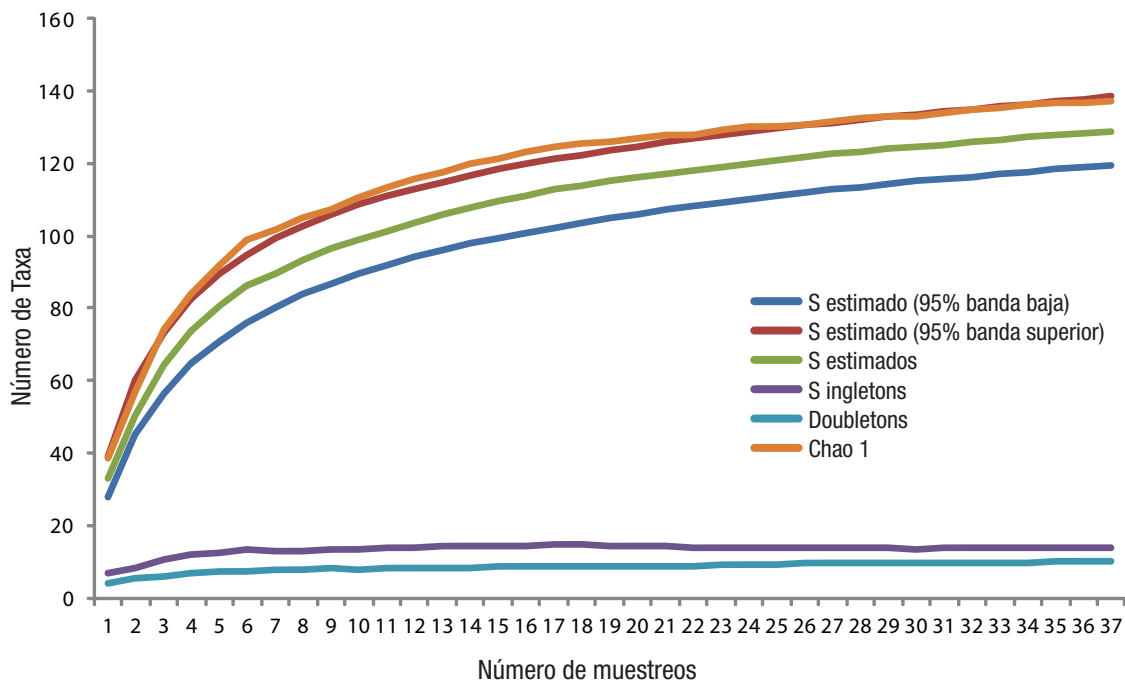


Figura 3. Curva de acumulación de taxa de los macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca Dalí, cuenca alta del río Otún, Colombia.

Tabla 4. Registro de taxa de macroinvertebrados colectados en siete estaciones de muestreo en la microcuenca Dalí, cuenca alta del río Otún-Colombia.

FAMILIA	SUBFAMILIA	GÉNERO	ESTACIONES						
			PMLM01	PMLM02	PMLM04	PMLM05	PMLM06	QR2	QR3
GORDIOIDEA									
Chordodidae			3				1		
TRICLADIDA									
Planariidae		<i>Dugesia</i>	128	63	218	270	144	48	
GLOSSIPHONIIFORMES									
Glossiphoniidae				7	2				
HAPLOTAXIDA									
Lumbriculidae			18	12	23	7	10	22	
Naididae			1						
BASOMMATOPHORA									
Ampullaridae			1				1		
Ancylidae			1				2		
Lymnaeidae		<i>Lymnaea</i>	4	14	2	16	35	1	
Planorbidae						2	16		3
SORBEONCHA									
Hydrobiidae					1	8	58		
UNIONIOIDA									
Unionidae				2					
VERENOIDA									
Sphaeriidae					1				
ACARI									
Hydrachnidae			12	6	2	5	8	2	
ACARI									
Gammaridae		<i>Gammarus</i>	1	24	19	16	13	13	
Hyalellidae		<i>Hyalella</i>	51	46		2		157	
DECAPODA									
Pseudothelphusidae			2	2				2	
COLLEMBOLA									
Isotomidae			1	1	2	1	1	6	
Collembola				3	1		1	5	
COLEOPTERA									
Chrysomelidae						1			
Curculionidae					1				
Dryopidae		<i>Pelonomus</i>						2	
Dryopidae			4	3	4	2	1	3	
Elmidae		<i>Austrolimnius</i>	9	3		8	18		
		<i>Cylloepus</i>	33	7	1	8	3	6	
		<i>Disersus</i>				5	3	4	
		<i>Gyrelmis</i>						1	
		<i>Heterelmis</i>	196	84	112	344	516	58	
		<i>Hexacylloepus</i>						1	
		<i>Hexanchorus</i>	15		2		1		
		<i>Macrelmis</i>	48	32	11	95	270	12	
		<i>Microcylloepus</i>	2	3	2	2	1	2	
		<i>Neelmis</i>						2	
		<i>Onychelmis</i>			2		1		
		<i>Phanocerus</i>	34	1	1	1	3	9	
		<i>Promoresia</i>			1				
		<i>Stegoelmis</i>	7			1			
		<i>Xenelmis</i>	111	40	181	187	302	72	1
Elmidae			46	125	111	131	57	58	

Tabla 4 (continuación).

FAMILIA	SUBFAMILIA	GÉNERO	ESTACIONES						
			PMLM01	PMLM02	PMLM04	PMLM05	PMLM06	QR2	QR3
Gyrinidae				3			1	2	
Hydrophilidae			4			2	1		
Indeterminado			1					2	
Lampyridae								1	
Psephenidae		<i>Psephenops</i>	195	95	161	152	108	11	
Ptilodactylidae		<i>Anchytarsus</i>	201	322	187	71	32	167	1
		<i>Tetraglossa</i>	147	108	70	152	104	113	
Scirtidae			2						
Staphylinidae		<i>Stenus</i>	31	8	1	29	14	3	
DIPTERA									
Athericidae			14		3				
Ceratopogonidae		<i>Stilobezzia</i>		3	1	2		1	
Chaoboridae			2	1				1	
Chironomidae	Chironominae	<i>Rheotanytarsus</i>	1		4	14	6		
	Chironominae		19	1	11		1		
	Orthoclaadiinae	<i>Parametriocnemus</i>	2						
	Orthoclaadiinae		318	408	356	330	550	294	18
	Podonominae				2	17	1		
	Tanypodinae		104	129	84	28	40	62	
Chironomidae			284	200	138	284	80	178	
Dolichopodidae			3	1		2		1	
Empididae			81	13	3	2	3	5	
Muscidae			1	2			2		
Psychodidae					1				
Simuliidae		<i>Simulium</i>	207	110	260	306	508	297	
Stratiomyidae				4					
Tabanidae			3	8		1			
Tipulidae		<i>Hexatoma</i>	8	7	1	1		3	
		<i>Molophilus</i>	5				2	5	
Tipulidae		<i>Tipula</i>		2	3	2		2	
Tipulidae			16	3	1	1		2	2
EPHEROPTERA									
Baetidae		<i>Andesiops</i>	30	53	129	255	265		
		<i>Baetodes</i>	1	3	11	45	149		
		<i>Camelobaetidius</i>				1	17		
		<i>Mayobaetis</i>				46	11		
		<i>Moribaetis</i>					1		
		<i>Prebaetodes</i>	3	10	10				
Baetodes			28	46	169	272	215	9	
Euthyplociidae		<i>Euthyplocia</i>	1						
Leptohyphidae		<i>Haplohyphes</i>	12	13	13	21	34	1	
		<i>Leptohyphes</i>	154	149	240	381	636	57	
		<i>Tricorythodes</i>	49	35	32	15	43	15	
Leptohyphidae			289	202	455	260	201	29	
Leptophlebiidae		<i>Farrodes</i>	33	18	6	9	34	132	
		<i>Thraulodes</i>	13	20	16	39	19	41	
Leptophlebiidae			33	49	44	11	12	50	
Oligoneuriidae		<i>Lachlania</i>	7	1					
HEMIPTERA									
Belostomatidae					3				
Gerridae		<i>Eurygerris</i>		2					

Tabla 4 (continuación).

FAMILIA	SUBFAMILIA	GÉNERO	ESTACIONES						
			PMLM01	PMLM02	PMLM04	PMLM05	PMLM06	QR2	QR3
		<i>Trepobates</i>	1			1			
Hebridae		<i>Hebrus</i>				1	1		
Mesoveliidae		<i>Mesovelia</i>	1			2			
Naucoridae		<i>Ambrysus</i>			1			4	
		<i>Cryphocricos</i>			4				
		<i>Limnocoris</i>	98	9	4		9	11	
Veliidae		<i>Microvelia</i>				1			
		<i>Rhagovelia</i>	31	9	3	1		36	
LEPIDOPTERA									
Pyrilidae			27	6	6	1	3	4	
Crambidae			17	18	6	31	8	9	
MEGALOPTERA									
Corydalidae		<i>Corydalus</i>			2	2	3		
ODONATA									
Calopterygidae		<i>Hetaerina</i>	32	71	20	31	29	45	
Calopterygidae			8	13	13	13	9	4	
Coenagrionidae			7	12			3	31	
Gomphidae		<i>Progomphus</i>	89	14	1			10	
Gomphidae				8	19			2	
Libellulidae		<i>Brechmorhoga</i>	1						
		<i>Macrothemis</i>	4	3	1		1	2	
			11	2	2	3	2	6	
Polythoridae		<i>Polythore</i>	38	10	2	3		12	
PLECOPTERA									
Perlidae		<i>Anacroneuria</i>	55	31	8	6	10	30	
TRICHOPTERA									
Calamoceratidae		<i>Phylloicus</i>	77	11	3			3	
Glossosomatidae		<i>Mortoniella</i>		1	46	10			
			1	3	12	32	3		
Helicopsychidae		<i>Helicopsyche</i>	538	27	12	37	28	9	
Hydrobiosidae		<i>Atopsyche</i>	7	15	3	8	1	36	
Hydrobiosidae			15	3	9	6	19	13	
Hydropsychidae		<i>Leptonema</i>	155	93	101	90	30	72	
		<i>Smicridea</i>	215	124	48	93	238	59	
Hydropsychidae			78	65	69	18	44	20	
Hydroptilidae		<i>Hydroptila</i>	49	37	365	160	429	7	
		<i>Metrichia</i>	4	7	6	55	157		
		<i>Ochrotrichia</i>	72	27	76	45	16	2	
		<i>Oxyethira</i>					1		
Hydroptilidae			6	5	3	1	8	10	
Leptoceridae		<i>Nectosyche</i>	43	27	26	5	1	11	
		<i>Oecetis</i>	36	19	133	67	75	4	
		<i>Triplectides</i>	12	13	5	35	25	37	
Leptoceridae			48	19	19	10	7		
Odontoceridae		<i>Marilia</i>	2	41	18	62	34	7	
Philopotamidae		<i>Chimarra</i>	2	8	1		2	3	
Polycentropodidae		<i>Polycentropus</i>	2						
Xiphocentronidae		<i>Xiphocentron</i>			1		2		
Número de organismos colectados			4812	3258	4163	4693	5754	2469	25
Número de taxa identificadas			93	85	87	81	83	78	5

Finalmente, después de la valoración y comparación de índices univariados y multivariados, se confirma una condición ecológica buena para la microcuenca Dalí, pero se destaca la necesidad de implementar un monitoreo continuo de las corrientes, teniendo siempre presente las estaciones de referencia y propendiendo por mejorar aspectos que permitan restaurar la calidad ecológica.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación recibió financiación de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira en el marco del proyecto "Investigación limnológica en humedales, ríos Otún y Consota y afluentes asociados al sistema de acueducto y alcantarillado de Pereira" y de USAID (NAS Sub-Grant Award Letter Agreement No. PGA-2000003584 Sponsor Grant Award Number: AID-OAA-A-11-00012) con el proyecto "Ecosystem Response of Climate Change in the Mountain Wetlands". También queremos agradecer a Marcela Uribe y Santiago Restrepo por compartir el listado de especies vegetales de la zona de ribera de las corrientes evaluadas, a Alexander Bueno por el apoyo en el trabajo de campo y laboratorio, así como a Yuly Paulina Ramírez por la verificación taxonómica y sus valiosos aportes al manuscrito.

REFERENCIAS

- ACOSTA, R., B. RÍOS, M. RIERADEVALL & N. PRAT. 2009. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas de Ecuador y Perú. *Limnetica* 28: 35-64.
- ALLAN, D. J. & M. M. CASTILLO. 2007. *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*. Second edition. Springer, Dordrecht (The Netherlands). 452 p.
- ARCHANGELSKY, M., MANZO, V., MICHAT, M. C., & P.L. TORRES. 2009. Coleoptera. In: Domínguez, E. & H. Fernández (Eds.). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina.
- BARBOUR, M. T., J. GERRITSEN, B. D. SNYDER & J. B. STRIBLING. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers. USEPA, Washington.
- BERNAL, E., D. GARCÍA, M. A. NOVOA & A. PINZÓN. 2006. Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados de la quebrada Paloblanco de la cuenca del río Otún (Risarcaldá, Colombia). *Acta Biológica Colombiana* 11 (2): 45-59.
- BONADA N., N. PRAT, V. RESH & B. STATZNER. 2006. Developments in Aquatic Insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Annual Review of Entomology* 51: 495-523. DOI: 10.1146/annurev.ento.51.110104.151124
- CARVACHO, C. A. 2012. Estudio de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del Limarí en Chile. Tesis de Maestría. Universidad de Barcelona. 70 p.
- CHARÁ-SERNA, A. M. 2008. Caracterización trófica de la entomofauna asociada a paquetes de hojarasca en tres quebradas de la cuenca media del río Otún (Risarcaldá-Colombia). Tesis de Pregrado de Bióloga. Facultad de Ciencias. Universidad del Valle. Santiago de Cali. 69 p.
- CHARÁ-SERNA, A. M., J. D. CHARÁ, M. D. C. ZÚÑIGA, R. G. PEARSON & L. BOYERO. 2012. Diets of leaf litter-associated invertebrates in three Tropical streams. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* 48 (2): 139-144. DOI: 10.1051/limn/2012013
- CHARÁ-SERNA, A. M., J. D. CHARÁ, G. ZÚÑIGA PEDRAZA & L. GIRALDO. 2010. Trophic classification of aquatic insects in eight sheltered streams of the Colombian coffee ecoregion. *Colombia Universitas Scientiarum* 15 (1): 27-36. DOI: 10.11144/javeriana.SC15-1.tcoa
- DOMÍNGUEZ, E., C. MOLINER & C. NIETO. 2009. *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina.
- ENCALADA, A., M. RIERADEVALL, B. RÍOS-TOUMA & N. PRAT. 2011. Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de los ríos andinos (CERA). USFQ, UB, AECID, FONAG. Quito, Ecuador, 83 p.
- FLOWER, W. & C. DE LA ROSA. 2010. Ephemeroptera de Costa Rica. Capítulo 4. In: Springer, Ramírez y Hanson (Eds.). *Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica. Revista de Biología Tropical* 58 (Suppl 4), 97-136. DOI: 10.15517/rbt.v62i0
- GONZÁLEZ, S., Y. RAMÍREZ, A. MEZA & L. DIAS. 2012. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales. *Boletín Científico Museo de Historia Natural* 16 (2): 135-148.
- GUEVARA, G., G. REINOSO & F. VILLA. 2005. Estudio del orden Trichoptera en su estado larval en la cuenca del río Coello departamento del Tolima. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 17 (1): 59-70.
- JACOBSEN, D., C. CRESSA, J. MATHOOKO & D. DUDGEON. 2008. Macroinvertebrates: composition, life histories and production. In: Dudgeon, D. (Ed.). *Tropical stream ecology*. San Diego, USA. *Academic Press*. pp. 65-105.
- Manzo, V. 2005. Key to the South America genera of Elmidae (Insecta: Coleoptera) with distributional data. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 40 (3): 201-208. DOI: 10.1080/01650520500140619
- MEZA-SALAZAR, A. M., J. RUBIO, L. DIAS, L. & J. WALTEROS. 2012. Calidad de agua y composición de Macroinvertebrados acuáticos en la Subcuenca alta del río Chinchiná. *Caldasia* 34 (2):443-456.
- MORENO, C. E. 2001. *Manual de métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA*, vol. 1. Zaragoza, 84 p.
- PARDO, I., M., ÁLVAREZ, J. CASAS, L. MORENO, S. VIVAS, N. BONADA, J. ALBA-TERCEDOR, P. JAIMEZ-CUELLAR, G. MOYA, N. PRAT, S. ROBLES, S. SUAREZ, M. TORO & M. VIDAL-ABARCA. 2002. El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnetica* 21 (3-4): 115-134
- PNNC (Parques Nacionales Naturales de Colombia). 2007. Plan básico de manejo 2005-2009 Santuario de flora y Fauna Otún Quimbaya. Dirección territorial de occidente. Medellín. Disponible en línea en: http://www.carder.gov.co/documentos/2999_Plan_de_manejo_SFF_Otun_Quimbaya.pdf (consultado el 4 de diciembre 2014).
- PRAT, N., R. ACOSTA, C. VILLAMARÍN & M. RIERADEVALL. 2012a. Guía para el reconocimiento de las larvas de Chironomidae (Diptera) de

- los ríos Altoandinos de Ecuador y Perú. Grupo de Investigación F. E. M. Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona. 38 p.
- PRAT, N., M. RIERADEVALL & P. FORTUÑO. 2012b. Metodología F.E.M. para la evaluación del estado ecológico de los ríos Mediterráneos. Freshwater Ecology and Management Research Group. Departamento d'Ecologia. Universitat de Barcelona. 44 p.
- PRAT, N., R. ACOSTA, C. VILLAMARÍN & M. RIERADEVALL. 2009. Guía para el reconocimiento de las larvas de Chironomidae (Diptera) de los ríos altoandinos de Ecuador y Perú. Clave para la determinación de los géneros. Grupo de Investigación F.E.M. Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona, Barcelona, 75 p.
- POSADA-GARCÍA, J. A., & G. ROLDÁN-PÉREZ. 2003. Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el nor-occidente de Colombia. *Caldasia* 25 (1): 169-192.
- RAMÍREZ, A. & P. E. GUTIÉRREZ-FONSECA. 2014a. Estudios sobre macroinvertebrados acuáticos en América Latina: avances recientes y direcciones futuras. *Revista de Biología Tropical* 62: 9-20.
- RAMÍREZ, A., & P. E. GUTIÉRREZ-FONSECA. 2014b. Functional feeding groups of aquatic insect families in Latin America: a critical analysis and review of existing literature. *International Journal of Tropical Biology and Conservation* 62: 155-167.
- RANGEL, O. 2000. *Clima en Colombia. Colombia Diversidad Biótica III. La región de vida paramuna*. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia- Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá. 902 p.
- RÍOS-TOUMA, B., A. C. ENCALADA & N. F. PRAT. 2011. Macroinvertebrate Assemblages of an Andean High-Altitude Tropical Stream: The Importance of season and Flow. *International Review of Hydrobiology* 96 (6): 667-685. DOI: 10.1002/iroh.201111342
- RODRÍGUEZ-BARRIOS, J., R. OSPINA-TÓRRES & R. TURIZO-CORREA. 2011. Grupos funcionales alimentarios de macroinvertebrados acuáticos en el río Gaira, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 59 (4): 1537-1552.
- ROLDÁN PÉREZ, G. & J. RAMÍREZ RESTREPO. 2008. *Fundamentos de limnología neotropical*. Colección Ciencia y Tecnología. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia. 417 p.
- ROLDÁN G. 1998. *Guía para el Estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. Fondo FEN Colombia. COLCIENCIAS. Universidad de Antioquia. Medellín. 217 p.
- Secretaría de la Convención RAMSAR. 2010. *Inventario, evaluación y monitoreo: Marco Integrado para el inventario, la evaluación y el monitoreo de humedales*. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, Cuarta edición, vol. 13.
- SILVEIRA, M. P., J. F. D. QUIROZ & R. C. BOEIRA. 2004. *Protocolo de coleta e preparação de amostras de macroinvertebrados bentônicos em riachos*. Embrapa Meio Ambiente. Comunicado Técnico No. 19. Sao Paulo, Brasil. Disponible en línea en: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/14553/1/comunicado19.pdf>
- SPRINGER, M. 2010. Capítulo 7: Trichoptera. In: Springer, M., A. Ramírez & P. Hanson (Eds.). Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I. *Revista de Biología Tropical* 58 (4): 151-198.
- VANNOTE, R. L., G. W. MINSHALL, K. M. CUMMINS, J. R. SEDELL & C. E. CUSHING. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37 (1): 130-137.
- VILLAMARÍN, C. 2012. Estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos andinos de Ecuador y Perú. Diseño de un sistema de medida de la calidad del agua con índices multimétricos. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, 207 p.
- VILLAMARÍN, C., M. RIERADEVALL, M. PAUL, M. BARBOUR & N. PRAT. 2013. A tool to assess the ecological condition of tropical high Andean streams in Ecuador and Peru: The IMEERA index. *Ecological indicators* 29: 79-92. DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.12.006.
- WALTEROS, J. M. & J. F. DAZA CASTRO. 2011. Caracterización hidrobiológica y evaluación ecológica de la calidad del agua del río Guarínó, Departamento de Caldas. *Revista de Ciencias* 12: 31-44.
- WALTEROS-RODRÍGUEZ, J. M. Y J. E. PAIBA-ALZATE. 2010. Estudio preliminar de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la reserva forestal Torre Cuatro. *Boletín Científico museo de Historia Natural* 14 (1): 137-149.
- ZÚNIGA, M., J. CHARÁ, J., L. GIRALDO, A. CHARÁ-SERNA & G. PEDRAZA. 2013. Composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en pequeñas quebradas de la región andina colombiana, con énfasis en la entomofauna. *Dugesiana* 20 (2): 263-277.
- ZÚNIGA, M. & W. CARDONA. 2009. Bioindicadores de calidad de agua y caudal ambiental. In: Cantera, J. Carvajal & L. M. Castro (Eds.). *Caudal ambiental: conceptos, experiencias y desafíos*. Cali: Programa editorial de la Universidad del Valle. pp. 167-197.