

Composición y estructura de la familia Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) en una cuenca andina colombiana

Composition and structure of the Baetidae family (Insecta: Ephemeroptera) in a Colombian Andean basin

Adriana Marcela Forero-Céspedes¹, Carolina Gutiérrez¹⁻² y Gladys Reinoso-Flórez¹

¹Grupo de Investigación en Zoología (GIZ), Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima, Ibagué, Tolima, A. A. 546. Colombia

²Graduate Degree Program in Ecology, Department of Biology, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 80523. USA

e-mail: adrianam@ut.edu.co

Recibido: 21 de mayo de 2015.

Aceptado: 11 de mayo de 2016.

Forero-Céspedes A. M., C. Gutiérrez y G. Reinoso-Flórez. 2016. Composición y estructura de la familia Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) en una cuenca andina colombiana. *Hidrobiológica* 26 (3): 459-474.

RESUMEN

Antecedentes. La familia Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) es abundante y diversa en los ecosistemas dulceacuícolas del mundo, particularmente en ambientes lóticos, sin embargo es limitada la información taxonómica a nivel de especie de este grupo en Colombia. **Objetivos.** Con base en lo anterior, el presente estudio, está encaminado a ampliar el conocimiento taxonómico y ecológico de la familia Baetidae en la cuenca del río Alvarado (Tolima, Colombia), y su asociación con los sustratos arena, grava/guijarro, hojarasca y roca, y con algunos parámetros fisicoquímicos. **Métodos.** Se hizo la colecta con red surber en los hábitats correspondientes en rápidos y remansos, en cuatro sustratos (roca, arena, grava/guijarro y hojarasca) y se evaluaron parámetros fisicoquímicos. **Resultados.** Se colectaron un total de 2386 individuos distribuidos en nueve géneros y 14 especies. *Baetodes* sp. (23.93%), *Camelobaetidius edmundsi* (19.70%), *Guajirolois queremba* (12.70%), y *Paracloeodes binodulus* (11.32%) fueron las especies más abundantes en la cuenca. A nivel espacial las estaciones QLCA, QCHU, RACV y RACH registraron la mayor densidad de organismos. En todas las estaciones el sustrato roca presentó la mayoría de las especies evaluadas. **Conclusiones.** La presencia de la familia Baetidae estuvo relacionada con el tipo de sustrato, y por la influencia de algunas variables fisicoquímicas y ambientales como pH, alcalinidad, dureza, sólidos totales, conductividad eléctrica, DBO5, oxígeno disuelto, caudal y nitratos; evidenciando en parte, la influencia de la urbanización y la agricultura en el establecimiento de las especies.

Palabras clave: Baetidae, fisicoquímicos, río Alvarado, sustrato.

ABSTRACT

Background. The Baetidae family (Ephemeroptera: Insecta) is abundant and diverse in freshwater ecosystems, especially in lotic systems: Although, information on these groups in Colombia is still scarce. **Goals.** The present study was directed to increase the taxonomical and ecological knowledge of Baetidae family in Alvarado river basin (Tolima, Colombia), evaluating the substrates; sand, gravel/cobble, rock and leaf litter, and determining the possible relationships with some physicochemical parameters. **Methods.** The collection was made with a Surber net in rapids and backwaters, in four substrates (sand, gravel/cobble, rock and leaf litter) additionally physicochemical parameters were evaluated. **Results.** A total 2386 individuals were collected, distributed in nine genera and 14 species. *Baetodes* sp. (23.93%), *Camelobaetidius edmundsi* (19.70%), *Guajirolois queremba* (12.70%) and *Paracloeodes binodulus* (11.32%) were the most abundant species in the basin. The highest density of organisms was found in sampling sites QLCA, QCHU, RACV and RACH. Rock was the preferred substrate for colonization and establishment of most species in all sites. **Conclusions.** The family Baetidae was related with type of substrate, as well as variables such as; pH, alkalinity, hardness, total solids, electrical conductivity, BOD5, dissolved oxygen, water flow and nitrates, which suggest a potential influence of anthropogenic effects on species establishment.

Key words: Alvarado river, Baetidae, physicochemical, substrate.

INTRODUCCIÓN

Las acciones de los seres humanos afectan ostensiblemente a un sinnúmero de ecosistemas acuáticos y modifican su evolución natural a diferentes escalas (Mohammad *et al.*, 2005). Los asentamientos humanos, las actividades agropecuarias y las industrias ponen en riesgo la dinámica natural del ecosistema y la disponibilidad del recurso hídrico para las futuras generaciones. Por esta razón, existe un creciente interés por conocer y proteger los ecosistemas fluviales y estudiar sus cambios en el tiempo, por medio del desarrollo de criterios físicos, químicos y biológicos que permitan estimar el efecto y la magnitud de las intervenciones humanas (Norris & Hawkins, 2000).

En las últimas décadas, los macroinvertebrados acuáticos han sido considerados objetos de bioindicación por ser una herramienta eficaz para entender las variaciones ecológicas y establecer la calidad biológica del agua en las fuentes hídricas. Su uso se basa en el hecho de que dichos organismos están adaptados a un hábitat y a determinadas exigencias ambientales, por lo que cualquier cambio en las condiciones naturales se reflejará en la composición y estructura de las comunidades que allí habitan (Roldán & Ramírez, 2008).

Diversos estudios en Sudamérica han sido enfocados en ampliar el conocimiento taxonómico y ecológico de algunos grupos de macroinvertebrados, lo que ha permitido contar con mejores herramientas para evaluar la calidad del agua. Sin embargo, la mayoría de dichos estudios de biomonitorio se han basado en niveles taxonómicos supraespecíficos como familia (Buss & Salles, 2007). En Colombia, aún son escasas las evaluaciones detalladas a nivel taxonómico y ecológico sobre la biota de los ecosistemas acuáticos, particularmente a nivel de género y especie (Roldán, 2003). Para la implementación de programas de uso sostenible y conservación de los recursos hídricos es importante avanzar en el conocimiento taxonómico y ecológico de la comunidad de insectos acuáticos, ya que éstos son componentes importantes en la cadena trófica de los ríos y las quebradas (Dias *et al.*, 2009). Dentro de los macroinvertebrados acuáticos, el orden Ephemeroptera, por sus características biológicas, es uno de los más destacados como bioindicadores (Buss & Salles, 2007), ya que estos insectos pasan casi toda su vida (meses y hasta años) como ninfas acuáticas y sólo viven como adultos pocas horas o 2 o 3 días (Zúñiga & Rojas, 1995). Por lo tanto, en el manejo de los ecosistemas acuáticos, los efemerópteros son un importante grupo taxonómico que puede ser biomonitorio durante periodos más largos por medio de sus ninfas; es decir, se puede evaluar en épocas de sequía y altas lluvias, pues esto permite el registro de información contrastante a nivel temporal. Debido a la gran diversidad de hábitats que ocupan en los sistemas acuáticos, lo fácil y poco costoso que resulta su muestreo y los variados rangos de tolerancia a la contaminación que presentan las especies, los efemerópteros constituyen un importante grupo para estudios de impacto ambiental, de conservación y de biodiversidad en sentido general (González *et al.*, 2008). Las especies de Ephemeroptera presentan distintas respuestas a la degradación ambiental, por lo que estos organismos están dentro de los grupos más utilizados en los programas de biomonitorio de la calidad del agua (Salles *et al.*, 2004). Sin embargo, para apreciar detalladamente el orden como una herramienta bioindicadora, se requiere un buen conocimiento del grupo (Dominguez *et al.*, 2006).

En el orden Ephemeroptera, Baetidae es una de las familias más diversas y abundantes, con preferencia por sustratos específicos y alta

sensibilidad a los procesos de degradación e impacto antropogénico, aspectos que permiten postularla como una familia excelente como bioindicadora. Algunos estudios realizados en Brasil por Salles (2011), Souza *et al.* (2011), Buss y Salles (2007) y Goulart y Castillo (2005) han demostrado las ventajas del uso de esta familia en los biomonitoreos de la calidad del agua.

Con base en lo anterior, el presente estudio pretende contribuir al conocimiento ecológico de las especies de la familia Baetidae, sus posibles relaciones con algunas variables fisicoquímicas del agua de la cuenca del río Alvarado y establecer qué factores naturales (caudal, sustratos, precipitaciones) o antropogénicos (urbanización y agricultura) determinan la presencia de cada especie a lo largo de la cuenca. Los resultados obtenidos son un aporte importante al conocimiento de los requerimientos ecológicos de cada especie de la familia Baetidae, ya que generan información base para el desarrollo de futuros modelos de bioindicación, que se adapten a las características de las cuencas de la región andina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La cuenca del río Alvarado forma parte de la cuenca mayor del río Totare, en el departamento del Tolima, Colombia. Presenta un área de 29 988,14 ha, un perímetro de 91,66 km y una longitud del cauce de 55,06 km, y registra una clasificación climatológica de cálido semiárido, con un régimen hidrológico bimodal: dos temporadas de sequía (diciembre-febrero y junio-agosto) y dos de lluvia (marzo-mayo y septiembre-noviembre) (CORTOLIMA, 2009). Presenta una orientación nororiental y forma parte de la comúnmente denominada terraza de Ibagué, en la zona centro del país. Geológicamente, la mayor parte de la cuenca está compuesta por materiales sedimentarios procedentes de la Cordillera Central y, en menor cantidad, por rocas ígneas y metamórficas (Reinoso, 2001). Distribuida en la zona de bosque seco tropical del bajo Magdalena, esta cuenca presenta suelos fértiles y condiciones ecológicas particulares que han permitido, a lo largo del tiempo, el establecimiento de grandes zonas de cultivo, pastos para ganadería y urbanización (CORTOLIMA, 2009). Se establecieron nueve estaciones de muestreo a lo largo de la cuenca, localizadas entre 351 y 1 057 m s.n.m. (tabla 1, figura 1), donde se tomaron muestras trimensuales por un año (de junio de 2012 a abril de 2013), incluyendo periodos de sequía, invierno y transiciones con base en los registros pluviométricos de los últimos 20 años reportados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (CORTOLIMA, 2009). Por lo tanto, se consideraron los muestreos bajo el siguiente esquema: M1 (sequía) = junio 2012; M2 (invierno) = septiembre 2012; M3 (invierno) = diciembre 2012; M4 (sequía) = abril 2013.

Colecta y determinación de los especímenes. La colecta se realizó con base en el método propuesto por Buss y Salles (2007); se empleó una red Surber (perímetro 30 cm x 30 cm, área 0.09 m² y luz de malla 250 micras) en los hábitats correspondientes en rápidos y remansos, teniendo en cuenta la disponibilidad de hábitat (arena, roca, grava/guijarro y hojarasca). En cada estación de muestreo, se tomaron tres submuestras aleatorias por sustrato a lo largo y ancho del tramo, y se integraron en una sola, para un área total de muestreo de 1.08 m², según la disponibilidad de hábitat referenciados dentro del cauce. El material se depositó en frascos plásticos debidamente etiquetados y se fijó con alcohol (70%).

Tabla 2. Abundancia relativa (%) de los taxones y especies de la familia Baetidae registrados en nueve estaciones de la cuenca del río Alvarado, Colombia, durante un ciclo anual.

Género (%)	Especie	% Abundancia
<i>Americabaetis</i> (9.47)	<i>A. robacki</i>	9.47
<i>Baetodes</i> (39.48)	<i>B. awa</i>	7.38
	<i>B. pseudospinae</i>	3.39
	<i>B. spinae</i>	4.78
	<i>Baetodes</i> sp.	23.93
<i>Camelobaetidius</i> (23.22)	<i>C. edmundsi</i>	19.70
	<i>C. patricki</i>	3.52
<i>Cloeodes</i> (0.88)	<i>C. redactus</i>	0.88
<i>Guajirolo</i> (12.70)	<i>G. queremba</i>	12.70
<i>Nanomis</i> (1.13)	<i>Nanomis</i> sp.	1.13
<i>Paracloeodes</i> (11.32)	<i>P. binodulus</i>	11.32
<i>Prebaetodes</i> (0.17)	<i>Prebaetodes</i> sp.	0.17
<i>Varipes</i> (1.63)	<i>V. minutus</i>	1.30
	<i>V. singuil</i>	0.34

Variables físicas, químicas y bacteriológicas. En cada sitio de muestreo se determinaron *in situ* la temperatura del agua (°C) y la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) con un equipo multiparámetro portátil handylab multi12/Set marca SCHOTT. Asimismo, se determinó la velocidad de la corriente y el caudal de acuerdo con la metodología propuesta por Elosegi y Sabater (2009). En el Laboratorio de Servicios de Extensión en Análisis Químico (Laserex) de la Universidad del Tolima, se evaluó: pH (unidades de pH), conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), oxígeno disuelto (mgO_2/L), porcentaje de saturación de oxígeno (% Sat. O_2), turbiedad (UNT), alcalinidad total y dureza (mgCaCO_3/L), cloruros ($\text{mg Cl}/\text{L}$), nitratos (mgNO_3/L), fosfatos ($\text{mg PO}_4/\text{L}$), fósforo total ($\text{mg P}/\text{L}$), sólidos suspendidos y sólidos totales (mg/L), DBO5 y DQO (mgO_2/L) y parámetros bacteriológicos como coliformes totales y fecales.

Análisis de datos. Se utilizaron matrices con información de la abundancia de especies por localidad, sustrato (roca, grava, arena y hojarasca) y muestreo para comparar la densidad (n/m^2) con los posibles efectos del periodo climático e influencia antrópica. Se calcularon los índices de riqueza de Margalef (Mgf) y diversidad de Shannon-Wiener (H') con el paquete estadístico Past, versión 2.13 (Hammer *et al.*, 2001) para comparar la diversidad entre estaciones, muestreos y sustratos. La representatividad del muestreo fue evaluada estimando el número de especies esperadas por medio de la curva de acumulación de especies, con el empleo de los estimadores Chao 1, ACE y Cole mediante el programa EstimateS 9.0 (Villarreal *et al.*, 2004).

Para explorar las relaciones de similitud entre la abundancia y la composición de especies por sustrato, se realizó un análisis de agrupamiento con la prueba de similitud no paramétrica Anosim. Para determinar diferencias en la composición de los taxones entre sitios y sustratos, dicha matriz de densidad se transformó con la función $\log(n+1)$ para homogeneizar valores muy altos respecto de muy bajos, y posteriormente, teniendo como criterio de separación el índice de similitud de Bray-Curtis, se realizó una ordenación NMDS (Non-metric multidimensional scaling) con el software PRIMER 6 (PRIMER-E, 2006.). Se realizó también un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) para determinar las relaciones entre las variables ambientales y los respectivos componentes bióticos, con el programa Canoco versión 4.5 (Braak & Smilauer, 2009). Para este análisis se requirió transformar los datos de las variables fisicoquímicas (excepto pH) utilizando $\log n+1$, y los de la matriz de los taxones a partir de la raíz cuadrada (\sqrt{x}).

RESULTADOS

Durante el periodo de estudio se colectó un total de 2386 organismos, distribuidos en 9 géneros y 14 especies. Las especies encontradas fueron: *Americabaetis robacki* (Lugo-Ortiz & McCafferty, 1996d), *Baetodes awa* (Salinas *et al.*, 2011), *Baetodes pseudospinae* (Salinas *et al.*, 2011), *Baetodes spinae* (Mayo, 1968), *Camelobaetidius edmundsi* (Dominique *et al.*, 2001), *Camelobaetidius patricki* (Dominique *et al.*, 2001), *Cloeodes redactus* (C. Waltz & McCafferty, 1987), *Guajirolo*

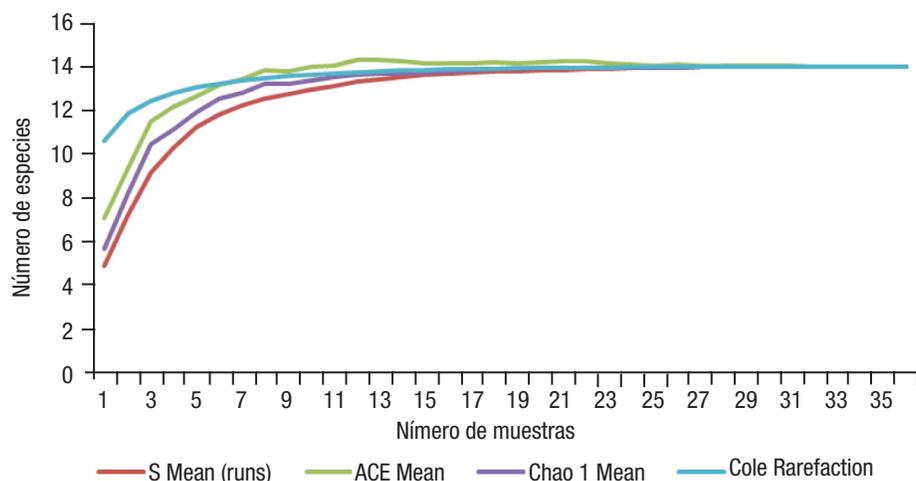


Figura 2. Estimación de la riqueza de especies de insectos de la familia Baetidae en nueve estaciones durante cuatro muestreos en la cuenca del río Alvarado, Colombia.

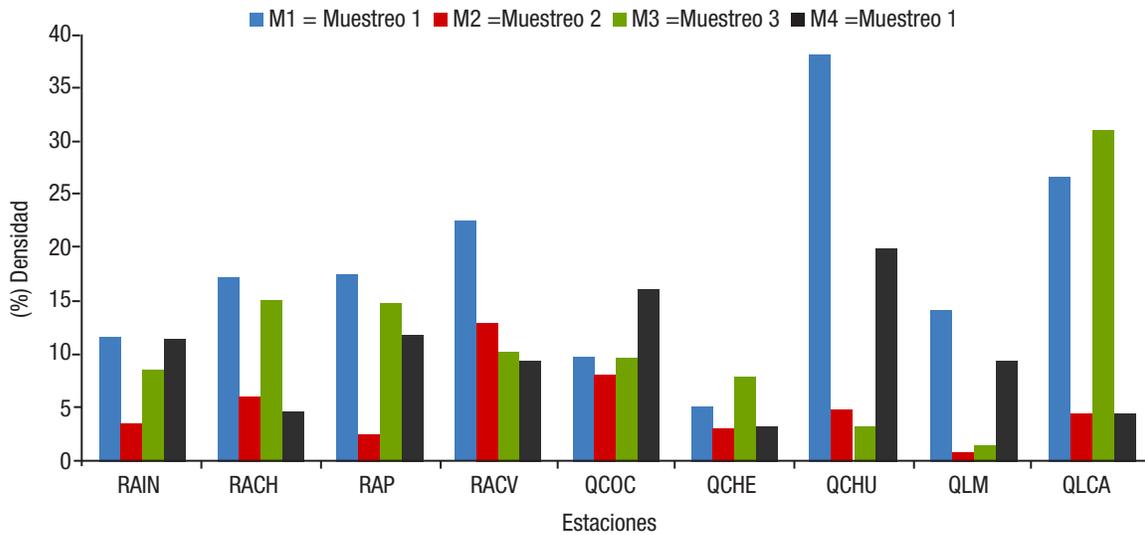


Figura 3. Porcentaje de densidad a nivel espacial y temporal de las especies de insectos de la familia Baetidae registrada durante cuatro muestreos en la cuenta del río Alvarado, Colombia. M1 = junio 2012; M2 = septiembre 2012; M3 = diciembre 2012; M4 = abril 2013. Para conocer los nombres de las estaciones ver tabla 1.

queremba (Nieto, 2003b), *Guajirolo queremba* (Nieto, 2003b), *Varipes minutus* (Nieto, 2004c), *Varipes singuil* (Nieto, 2004c), *Baetodes* sp., *Nanomis* sp. y *Prebaetodes* sp. En cuanto los estimadores de riqueza, se registró un número total de 14 especies observadas (Sobs) en las 9 estaciones evaluadas, lo que correspondió a 100% del valor esperado para los estimadores de riqueza Chao 1, ACE Cole y Rarefacción (Fig. 2); por lo anterior, puede asumirse que existe una buena representatividad de las especies de bétidos en las estaciones evaluadas durante los muestreos.

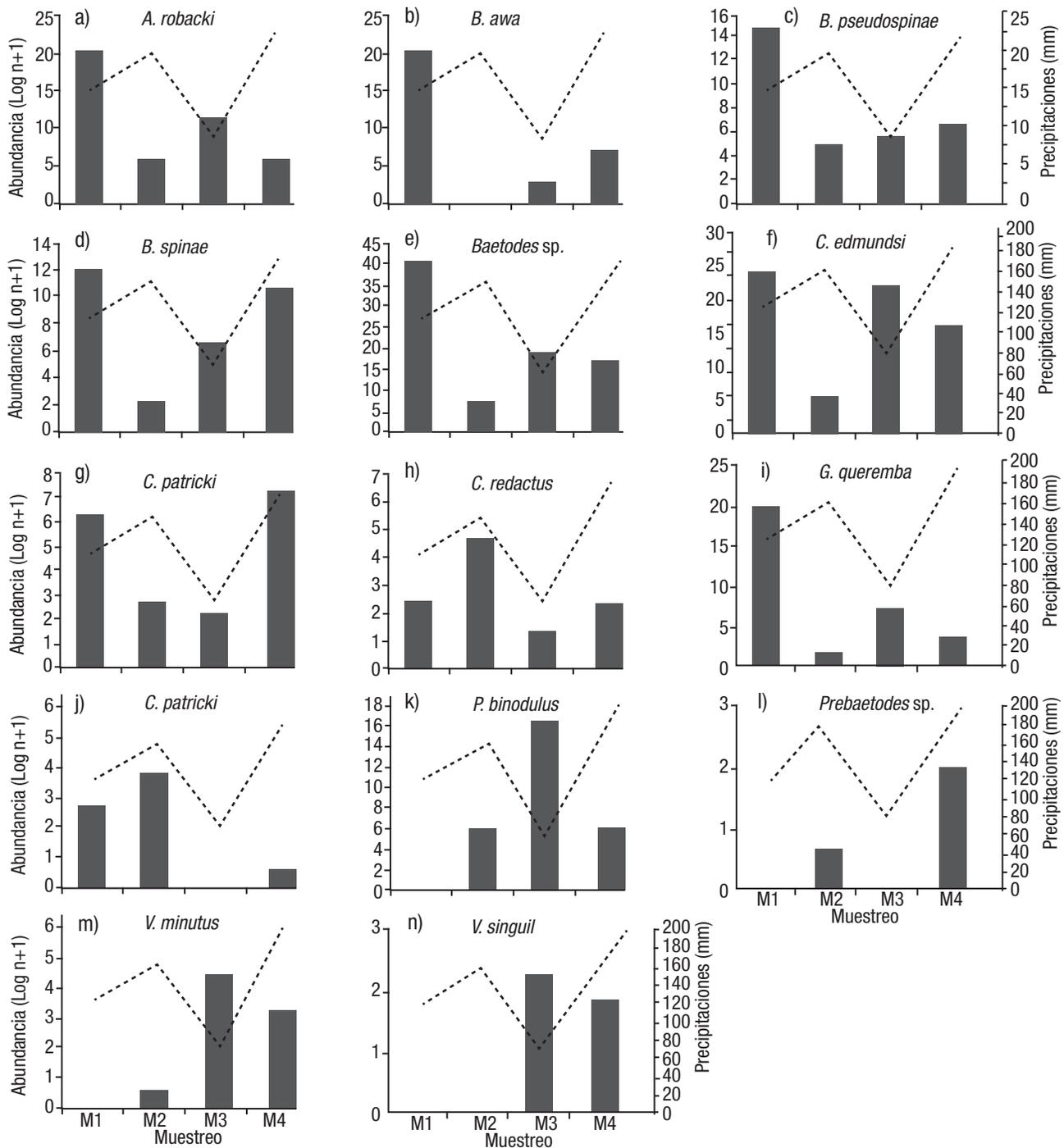
Distribución temporal y espacial de la familia Baetidae. Los géneros más abundantes fueron *Baetodes* (39.48%), *Camelobaetidius*

(23.22%), *Guajirolo* (12.70%) y *Paracloedes* (11.32%), mientras que las especies más abundantes fueron *Baetodes* sp. (23.93%), *Camelobaetidius edmundsi* (19.70%), *Guajirolo queremba* (12.70%) y *Paracloedes binodulus* (11.32%) (tabla 2). Del total de organismos colectados en el estudio, el mayor porcentaje de densidad se registró en el primer muestreo (M1 = 68.47%), mientras que en el segundo se registró el porcentaje más bajo (M2 = 3.85%). A nivel temporal, se encontró que las especies *A. robacki*, *B. pseudospinae*, *B. spinae*, *Baetodes* sp., *C. edmundsi*, *C. patricki*, *C. redactus* y *G. queremba* fueron las más abundantes en todos los periodos de estudio; contrario a esto, *Prebaetodes* sp. y *V. singuil* se registraron solamente en dos épocas de estudio (tabla 3, Fig. 3).

Tabla 3. Densidad de especies de insectos de la familia Baetidae colectados durante cuatro periodos de estudio en la cuenca del río Alvarado, (Tolima, Colombia). Mx: muestreos realizados. Se indica el valor total y el porcentaje respectivo entre paréntesis (%).

Taxón	Densidad (n total/m ²)			
	M1	M2	M3	M4
<i>Americabaetis robacki</i> Lugo-Ortiz y McCafferty (1996d)	1222.22 (7.52)	77.78 (0.48)	207.41 (1.28)	144.44 (0.89)
<i>Baetodes awa</i> Salinas, Dias, Salles, &. Bacca (2011)	633.33 (3.90)	0.00	22.22 (0.14)	418.52 (2.57)
<i>Baetodes pseudospinae</i> Salinas, Dias, Salles, &. Bacca (2011)	433.33 (2.67)	40.74 (0.25)	48.15 (0.30)	66.67 (0.41)
<i>Baetodes spinae</i> Mayo (1968)	577.78 (3.55)	14.81 (0.09)	48.15 (0.30)	166.67 (1.03)
<i>Baetodes</i> sp.	3677.78 (22.62)	118.52 (0.73)	481.48 (2.96)	288.89 (1.78)
<i>Camelobaetidius edmundsi</i> Dominique, Mathuriau & Thomas. (2001)	1577.78 (9.70)	48.15 (0.30)	877.78 (5.40)	288.89 (1.78)
<i>Camelobaetidius patricki</i> Dominique y Thomas (En Dominique <i>et al.</i> , 2001)	288.89 (1.78)	25.93 (0.16)	14.81 (0.09)	174.07 (1.07)
<i>Cloedes redactus</i> Waltz y McCafferty (1987)	33.33 (0.21)	40.74 (0.25)	7.41 (0.05)	18.52 (0.11)
<i>Guajirolo queremba</i> Nieto (2003b)	2633.33 (16.20)	14.81 (0.09)	144.44 (0.89)	85.19 (0.52)
<i>Nanomis</i> sp.	55.56 (0.34)	77.78 (0.48)	0.00	3.70 (0.02)
<i>Paracloedes binodulus</i> Lugo-Ortiz y McCafferty (1996b)	0.00	159.26 (0.98)	785.19 (4.83)	55.56 (0.34)
<i>Prebaetodes</i> sp.	0.00	3.70 (0.02)	0.00	11.11 (0.07)
<i>Varipes minutus</i> Nieto (2004c)	0.00	3.70 (0.02)	66.67 (0.41)	44.44 (0.27)
<i>Varipes singuil</i> Nieto (2004c)	0.00	0.00	14.81 (0.09)	14.81 (0.09)
TOTAL	11133.33 (68.47)	625.93 (3.85)	2718.52 (16.72)	1781.5 (10.96)

M1= junio 2012; M2 = septiembre 2012; M3= diciembre 2012; M4= abril 2013 los valores que están entre paréntesis equivalen al porcentaje (%) de densidad.



Figuras 4a-n. Variación temporal de la abundancia (Log n+1) de las especies de insectos acuáticos de la familia Baetidae registradas durante cuatro muestreos en la cuenca del río Alvarado (Tolima, Colombia), vs. precipitación (mm) (---) media anual registrada en la zona. M1= M2= M3= M4=

Al comparar la abundancia de cada una de las especies con la precipitación media mensual para cada uno de los muestreos, se observó que la mayoría de organismos presentaron los mayores valores durante el primer periodo de estudio (M1) correspondiente a sequía. Asimismo, especies como *Prebaetodes sp.*, *Varipes minutus* y *Varipes singuil* fueron más abundantes en el cuarto periodo de estudio (M4), el cual está relacionado con la época de invierno, y no se registraron durante el primer periodo de colecta (M1) (Fig. 4).

Con respecto a la distribución espacial, se encontró, en general, que tanto las estaciones a nivel del río RACV y RACH como las quebradas QLCA y QCHU registraron los mayores porcentajes de densidad de organismos (19.07% y 11.37% y 33.03% y 16.56%, respectivamente). Contrario a lo anterior, los menores porcentajes de densidad se registraron en las estaciones RAIN (3.19%) y QCHE (1.12%) (Fig. 5).

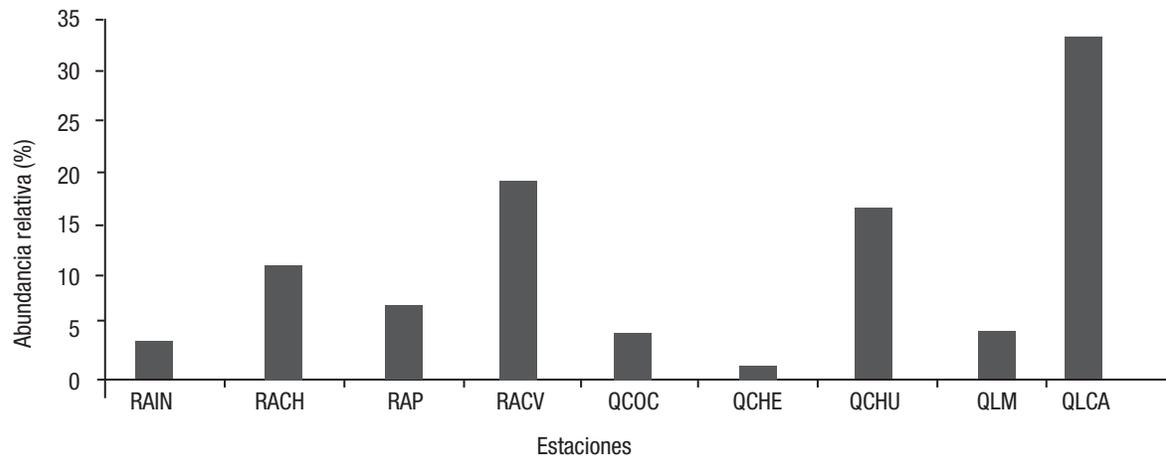


Figura 5. Porcentaje de densidad total de las especies de insectos acuáticos de la familia Baetidae en las estaciones evaluadas en el río Alvarado (Tolima, Colombia). Para conocer los nombres de las estaciones ver tabla 1.

A nivel de sustrato, se encontraron diferencias significativas (Anosim, $R = 0.07087$; $p < 0.05$). La mayoría de las estaciones del estudio presentaron los cuatro sustratos evaluados (roca, grava/guijarro, hojarasca y arena), y se registraron las mayores densidades de bétidos en roca y grava/guijarro, y en arena, los valores más bajos (Fig. 5).

La mayoría de especies de Baetidae se registraron en los cuatro sustratos evaluados, tal como *B. pseudospinae*, *B. spinae*, *Baetodes* sp., *C. edmundsi*, *C. patricki*, *C. redactus*, *P. binodulus* y *Prebaetodes* sp. con mayores densidades en grava y roca. Las especies *A. robacki*, *B. awa* y *G. queremba* estuvieron presentes en roca, grava/guijarro y hojarasca, y ausentes en el sustrato arena; *V. minutus* y *V. singuil* se encontraron en roca, grava/guijarro y arena, y *Nanomis* sp. se registró en roca y grava (tabla 4, figura 6).

Tabla 4. Porcentaje de densidad (%) de los géneros de la familia Baetidae en los sustratos evaluados, en la cuenca del río Alvarado, (Tolima, Colombia).

Especie	Arena	Grava/ Guijarro	Hojarasca	Roca
<i>Americabaetis robacki</i>	0.00	17.71	63.45	18.83
<i>Baetodes awa</i>	0.00	30.00	11.03	58.97
<i>Baetodes pseudospinae</i>	1.89	28.30	45.91	23.90
<i>Baetodes spinae</i>	6.42	20.18	48.17	25.23
<i>Baetodes</i> sp.	1.14	18.73	20.52	59.61
<i>Camelobaetidius edmundsi</i>	3.05	21.09	11.80	64.06
<i>Camelobaetidius patricki</i>	4.41	53.68	13.97	27.94
<i>Camelobaetidius redactus</i>	14.81	33.33	3.70	48.15
<i>Camelobaetidius queremba</i>	0.00	35.01	34.36	30.63
<i>Nanomis</i> sp.	0.00	24.32	0.00	75.68
<i>Paracloeodes binodulus</i>	33.33	35.93	1.85	28.89
<i>Prebaetodes</i> sp.	25.00	25.00	25.00	25.00
<i>Varipes minutus</i>	25.81	67.74	0.00	6.45
<i>Varipes singuil</i>	25.00	37.50	0.00	37.50

Diversidad de especies de la familia Baetidae por muestreo, tramo y hábitat. En el primer periodo de estudio (M1), correspondiente a bajas precipitaciones, se registró la mayor diversidad y riqueza de organismos para todas las estaciones evaluadas, mientras que en el segundo periodo (M2), en el que se prolongó el verano hasta la época de transición a lluvias y lluvias (agosto a septiembre de 2012), los valores de riqueza y diversidad disminuyeron drásticamente. Es importante resaltar que los dos siguientes periodos (M3 y M4) registraron alta diversidad y riqueza, a pesar de registrarse precipitaciones durante los muestreos (Fig. 7).

A nivel espacial, las estaciones QCHU, RACV y RAIN presentaron las diversidades y riquezas más altas en los cuatro periodos de estudio. Los sustratos roca y grava registraron los valores más altos de diversidad y riqueza en todas las estaciones y periodos de estudio, mientras que el sustrato arena, los valores más bajos (Fig. 7).

Ensamblaje de las especies de la familia Baetidae. La ordenación NMDS indicó cómo los diferentes sustratos se encuentran ubicados indistintamente en el plano sin mostrar agrupamientos (Fig. 8 a). Contrario a lo anterior, a nivel de estaciones se observan dos grupos: uno conformado por las estaciones que registran una influencia directa de la urbanización, como RAIN, QCOC y QCHE, y otro, por estaciones que presentan una fuerte influencia de la agricultura, como RACH, RACV, RAP, QLCA, y QLM. La estación QCHU se encuentra ubicada en el grupo con influencia agrícola y en el grupo con influencia de la urbanización (Fig. 8 b).

Asociación de las especies de la familia Baetidae con variables fisicoquímicas y ambientales. Con respecto a las variables fisicoquímicas y ambientales, el análisis de correspondencia canónica (ACC) explicó el 68% de la variación total de los datos; el primer factor explicó el 44.6%, y el segundo, el 24.2%. De acuerdo con el análisis de ordenación ACC, se puede deducir que la presencia de especies como *Americabaetis robacki*, *Baetodes* sp. y *Cloeodes redactus* se encuentra asociada con variables como alcalinidad, dureza, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura del agua, sólidos totales y fosfatos. La estación RAIN se relacionó mayormente con la presencia de materia orgánica. Especies como *Camelobaetidius edmundsi* y *Varipes singuil* se encontraron relacionadas con variables como DBO5, profundidad y

caudal. Y la especie *Camelobaetidium patricki* también se relacionó con variables como coliformes totales, DQO y turbiedad, las cuales se asocian con la presencia de materia orgánica (Fig. 9).

DISCUSIÓN

Composición y estructura de la familia Baetidae. El conocimiento de la diversidad de los artrópodos acuáticos en América del Sur es aún bajo, a pesar de los esfuerzos y las contribuciones aportadas por varios investigadores (Dominguez & Fernández, 2009). La fauna de efemerópteros reportada para el río Alvarado en el presente estudio es diversa, y los resultados coinciden con lo registrado a nivel de género por Vásquez y Reinoso (2012) para esta cuenca, en donde los géneros *Baetodes*, *Camelobaetidium* y *Paracloeodes* registraron la mayor cantidad de individuos. La identificación a nivel de especies es el nivel taxonómico apropiado para estudios ecológicos particulares que permiten avanzar en el conocimiento integral de éstas (Merritt *et al.*, 2008), ya que de este nivel taxonómico específico los estudios de referencia son escasos en Colombia (Roldán, 2003).

Para el departamento del Tolima no se tienen reportes a nivel específico de los bétidos (Dias *et al.*, 2009), aspecto que releva la importancia de los resultados del presente estudio, el cual demuestra que las 14 especies registradas representan un avance importante en el conocimiento taxonómico y ecológico de la fauna de la familia Baetidae en la región.

En cuanto al análisis de abundancia y densidad de la fauna de bétidos se encontró que *Baetodes* sp., *Camelobaetidium edmundsi*, *Guañiolus queremba* y *Paracloeodes binodulus* presentaron las mayores abundancias. Estas especies, como menciona Roldán (1996), colonizan una mayor diversidad de hábitats y son mayormente tolerantes al impacto humano. Contrario a lo anterior, las especies *C. redactus*, *Prebaetodes* sp. y *V. Singuil* fueron las menos abundantes durante el estudio, resultados que muestran que estas especies poseen requerimientos de hábitat muy particulares para el proceso de establecimiento y colonización, o que su presencia se encuentra restringida por la calidad

de los hábitats, el régimen de precipitación o la influencia de factores antrópicos (Roldán & Ramírez, 2008).

Se registró la mayor abundancia durante el primer periodo de estudio, correspondiente a la época histórica de bajas precipitaciones (junio), situación que se ha encontrado en otros estudios, relacionada con la mayor estabilidad y disponibilidad del hábitat, que facilita los procesos de colonización de sustratos (Baptista *et al.*, 2000). Es importante mencionar que durante el periodo de estudio (junio-septiembre) se prolongó el verano hasta la época de invierno (agosto a septiembre de 2012), lo que hizo que disminuyeran drásticamente el caudal, la velocidad de la corriente y los hábitats en esta época, lo cual influyó en la baja abundancia de bétidos, pues estas variables son factores estructuradores de los macroinvertebrados en ríos tropicales de zonas bajas (Vásquez *et al.*, 2013).

Un número importante de organismos de la familia Baetidae fue colectado en hábitats que se encuentran en el flujo rápido de la corriente y caudales de moderados a rápidos (Baptista *et al.*, 2000; Domínguez *et al.*, 2009), ambientes con altas concentraciones de oxígeno disuelto y ricos en nutrientes que facilitan el establecimiento de una fauna bética diversa (Baptista *et al.*, 2000). Durante el tercer muestreo (diciembre), se reportaron dos especies más con relación al primero, situación que fue favorecida por las lluvias atípicas que se registraron en esta época del año, las cuales incrementaron el caudal, la velocidad de la corriente y la oferta de nutrientes (Vásquez *et al.*, 2014). Durante el cuarto muestreo (abril, correspondiente a la época histórica de altas lluvias), se registraron cambios importantes en la abundancia y los reportes de especies; aumentó la presencia de *B. awa*, *B. pseudospinae*, *B. spinae*, *Baetodes* sp., *C. patricki*, *C. redactus*, y *Nanomis* sp., y se redujo el número de organismos de las especies *A. robacki*, *C. edmundsi*, *G. queremba*, *P. Binodulus*, *V. minutus* y *V. singuil*. Estos resultados son similares a lo reportado por Baptista *et al.* (2000), quienes mencionan que la abundancia de la fauna de macroinvertebrados es afectada por los periodos de lluvia. Con relación al orden Ephemeroptera, Pérez y Segnini (2005) resaltan que generalmente esta biota es abundante en ríos y quebradas en periodos de lluvias altas y bajas.

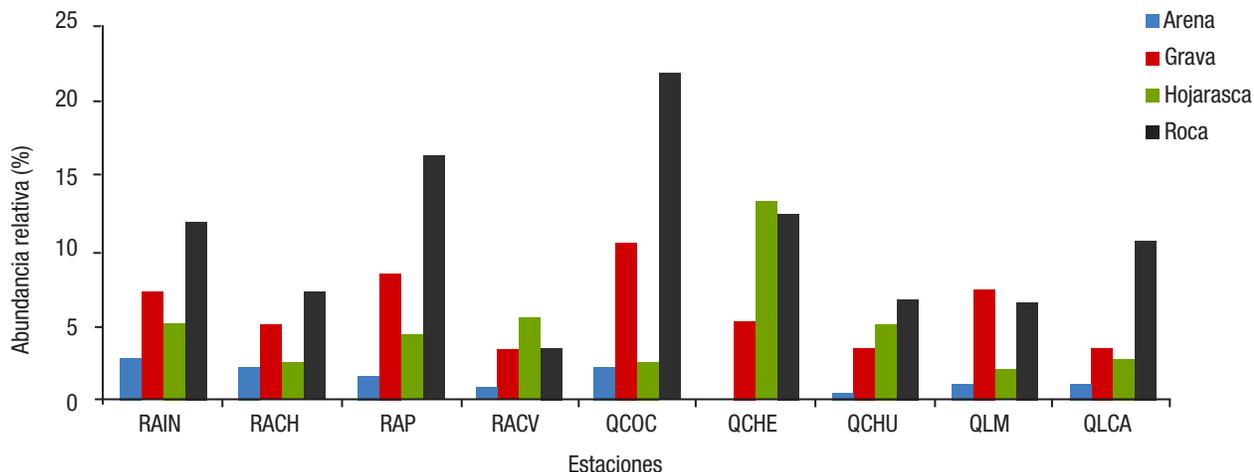
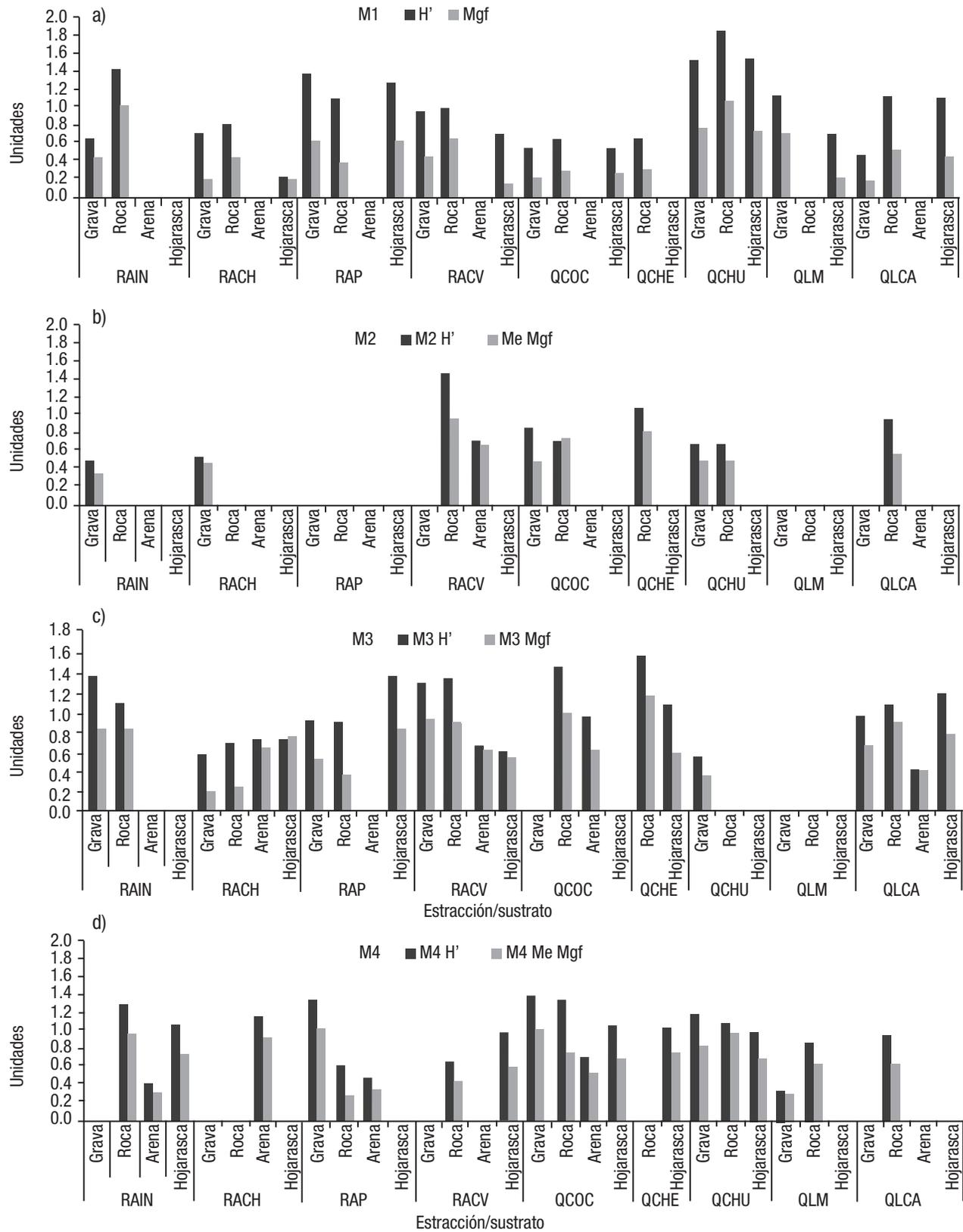


Figura 6. Abundancia relativa de la familia Baetidae por estación y microhábitat durante cuatro muestreos realizados en la cuenca del río Alvarado (Tolima, Colombia).

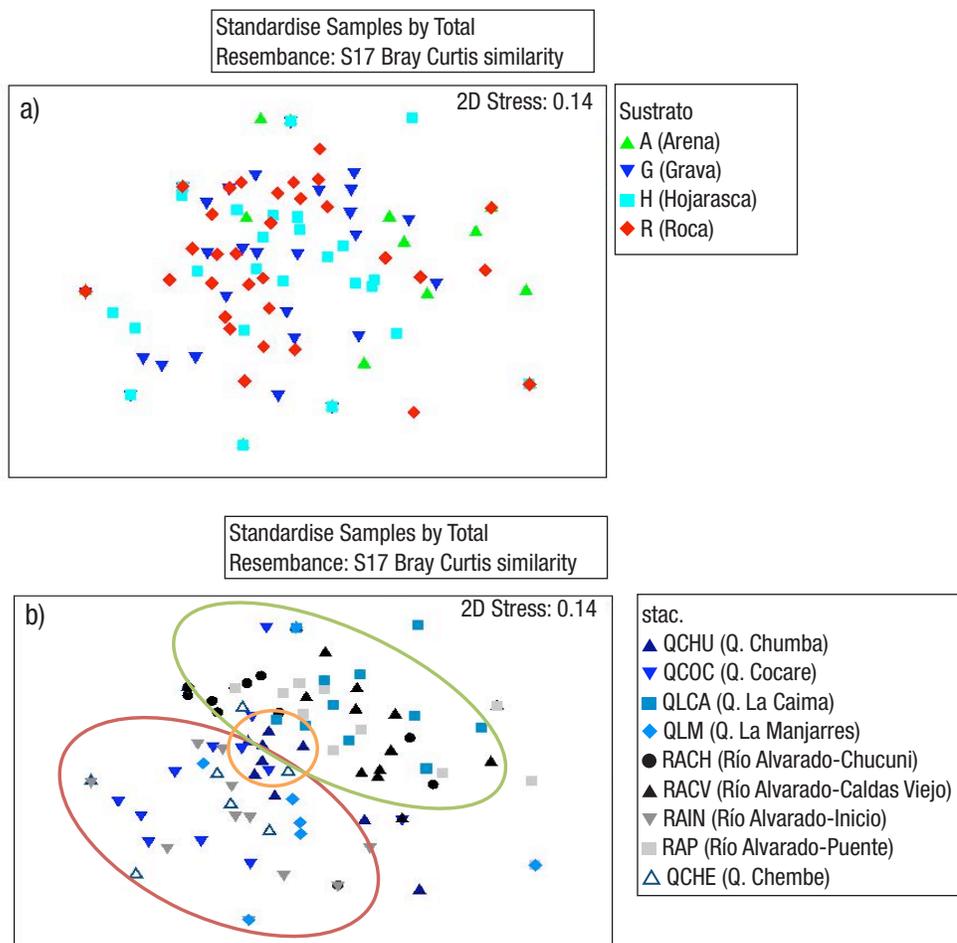


Figuras 7a-d. Valores de diversidad de Shannon-Wiener (H') y riqueza de Margalef (Mgf) de las especies de la familia Baetidae registrados en los sustratos encontrados en las estaciones de muestreo en el río Alvarado (Tolima, Colombia), durante cuatro periodos de estudio. M1= junio 2012; M2 = septiembre 2012; M3= diciembre 2012; M4= abril 2013. Para conocer los nombres de las estaciones de muestreo ver tabla 1.

A nivel espacial, las estaciones RACV, en el cauce principal, y la QLCA presentaron las mayores densidades de organismos. A pesar de que estas dos estaciones se localizan en la parte más baja de la cuenca, cerca de la desembocadura donde se produce deterioro en la calidad de las aguas producto de los múltiples efluentes recibidos (Ramírez & Viña, 1998), la presencia de la fauna de bétidos fue relevante en ambas, porque las quebradas tributarias aportan su biota, nutrientes y un volumen importante de agua, facilitando el establecimiento y la colonización de esta fauna béntica (Reinoso, 2001; Vásquez *et al.*, 2010). Contrario a lo anterior, la estación RAIN, en el cauce principal, y la QCHE (quebrada tributaria) presentaron la densidad más baja de organismos. Estas estaciones se encuentran expuestas a una fuerte intervención antrópica que se refleja en las descargas de aguas residuales domésticas, la presencia de basura y la extracción de arena, condición que altera el tipo y la calidad del hábitat para el desarrollo de esta fauna, la cual puede verse afectada de manera importante a medida que recibe las descargas de desechos domésticos y agrícolas (Roldán, 2003; Roldán & Ramírez, 2008).

A pesar de que la fauna de la familia Baetidae puede desarrollarse en diferentes sustratos, como roca, arena, barro, entre otros (Springer, 2010), en la cuenca del río Alvarado se registraron las más altas densidades de individuos en el sustrato roca. La mayoría de ninfas de bétidos son raspadoras o recolectoras de detritus (Springer, 2010) y presentan patas robustas y uñas con numerosos denticulos, lo cual facilita la colecta del alimento que se encuentra en el sustrato roca.

Es importante mencionar que la mayoría de las especies que fueron abundantes en el sustrato roca y en grava han sido reportadas como especies con adaptaciones morfológicas para resistir la presión hidráulica, como presencia de tubérculos en el abdomen y reducción del filamento medio, tal como lo evidencian *Baetodes* sp., *B. spinae*, *B. Seudospinae* y *B. awa*; (Buss & Salles, 2007; Domínguez *et al.*, 2006), y la presencia de uñas con numerosos denticulos, como en el caso de *C. Edmunsii* y *C. patricki*; *A. robacki*, *V. minutus*, *V. singuil*, *P. binodulus*, *Nanomis* sp., *G. queremba* y *Prebaetodes* sp. (Buss & Salles, 2007). Por el contrario, la especie *C. redactus* no presenta características morfológicas para resistir la corriente de agua rápida y colonizar fácilmente



Figuras 8a-b. Diagramas de ordenación NMDS basados en las abundancias de las especies de insectos acuáticos de la familia Baetidae registradas en cuatro muestreos en el río Alvarado (Tolima, Colombia). a) escala de sustrato. b) Ordenación a nivel de estación.

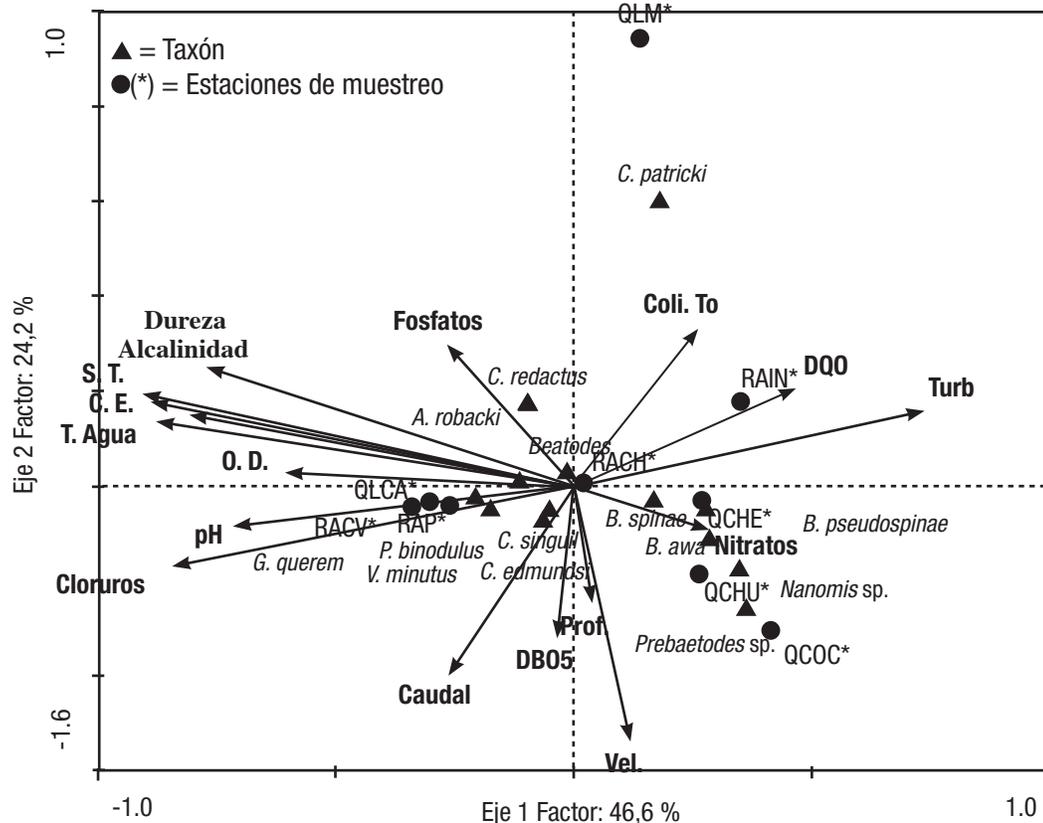


Figura 9. Diagrama de ordenación canónica de las especies de insectos acuáticos de la familia Baetidae en el río Alvarado (Tolima, Colombia), con relación a las variables fisicoquímicas y ambientales en las estaciones evaluadas. Donde Triángulo = Especies / Círculo = Estaciones. S. T. = Sólidos Totales, C. E. = Conductividad eléctrica, T. Agua = Temperatura del agua, DBO5 = Demanda Biológica de oxígeno, Coli. To = Coliformes Totales, DQO = Demanda química de oxígeno, Turb. = Turbiedad, Vel. = Velocidad de la corriente, Prof. = Profundidad. Para conocer el significado de las abreviaturas de las estaciones de muestreo consultar Tabla 1.

el sustrato roca y grava, ya que tiene piernas estrechas y garras sin denticulos (Domínguez *et al.*, 2006; Buss & Salles, 2007). El sustrato hojarasca también fue preferido por las especies *A. robacki*, *B. pseudospinae*, *B. spinae*, *G. Queremba* y *Prebaetodes* sp., ya que ofrece buenas condiciones de refugio y alimentación dada la alta heterogeneidad de hábitat y la alta riqueza de flora perifítica (Vásquez & Reinoso, 2012). A diferencia de lo anterior, el sustrato arena registró una densidad limitada de organismos. Generalmente este sustrato es inestable y presenta baja disponibilidad de materia orgánica que puede, en parte, conducir a una baja diversidad y riqueza de individuos (Hawkins, 1984).

Diversidad de la fauna de la familia Baetidae. En el presente estudio, los valores más altos de riqueza y diversidad para los cuatro periodos evaluados se encontraron en las estaciones RAIN, RACV y QCHU, las cuales reciben una fuerte influencia tanto de la urbanización como de la agricultura. Estos resultados contrastan con lo mencionado por Moore y Palmer (2005), quienes afirman que la mayor diversidad y riqueza de invertebrados se encuentra generalmente en sitios con influencia agrícola más que en sitios urbanizados. Por otra parte, la riqueza de invertebrados en las corrientes es estructurada puntualmente por eventos históricos y por las condiciones físicas y químicas únicas de cada lugar (Vinson & Hawkins, 1998). La alta diversidad se vio favorecida por la disponibilidad de sustrato, vegetación ribereña, entre otros (Vásquez & Reinoso, 2012).

Es de relevancia que estaciones como QCHE y QLM, donde se evidenció perturbación directa y continua, como extracción de arena, canalización y descarga de desechos domésticos, registraron los valores más bajos de riqueza y diversidad en todo el periodo de estudio. Se ha encontrado que la degradación de los ambientes lóticos por efectos antropogénicos (canalización, riego, embalses, entre otros) conduce por lo general a deficiencias o a la pérdida completa de las características de las estructuras naturales, creando uniformidad del medio ambiente y afectando de manera importante la diversidad y abundancia de su biota (Bauernfeind & Moog, 2000). Situación similar se registra en el presente estudio, donde la fauna Ephemeroptera se ve influenciada por las actividades antropogénicas a lo largo de la cuenca del río Alvarado.

Las diferencias en registro de especies y sus abundancias presentadas en el presente estudio a nivel temporal muestran que el caudal, el flujo de la corriente y la diversidad de sustratos influyen en la presencia de esta biota. Se ha encontrado que los valores altos de riqueza y diversidad de la fauna béntica se encuentran generalmente relacionados con el flujo rápido superficial sobre tramos rápidos y rocosos (Boyero & Bosch 2004; Vásquez & Reinoso, 2012). Durante la época de sequía (M1 y M3), se registraron los valores más altos de riqueza y diversidad, coincidiendo con los resultados de Baptista *et al.* (2000), quienes reportaron en ríos tropicales la mayor riqueza y diversidad en periodos de bajas precipitaciones. Entre tanto, durante el periodo co-

respondiente a lluvias (M4) disminuyó la riqueza y diversidad debido, en parte, a las fuertes crecientes presentadas antes y durante el muestreo, pues influyó de manera importante en la baja oferta de sustratos, zonas de rápidos fuertes y aumento de la velocidad. Varios trabajos han reportado una reducción en la abundancia de la fauna acuática durante periodos de lluvias; se destacan los de Baptista *et al.* (2000), Buss *et al.* (2004), Pérez y Segnini (2005) y Mesa (2010), quienes hallaron variaciones temporales en la abundancia y composición de los ensamblajes de macroinvertebrados acuáticos en los periodos de altas y bajas precipitaciones, al existir influencia negativa sobre esta fauna en los periodos de altas precipitaciones.

A nivel de sustrato, la mayor riqueza y diversidad se registró en roca y grava, sustratos preferidos por la mayoría de los efemerópteros (Baptista *et al.*, 2000; Buss & Salles, 2007), resultados que se pueden corroborar con los reportados por Pérez y Segnini (2005), Buss y Salles (2007) y Vásquez *et al.* (2012), quienes registraron los mismos valores en dichos sustratos. Estos datos pueden estar relacionados con la disponibilidad permanente de una variedad de sustratos que permiten el establecimiento y la colonización de una fauna béntica abundante y diversa (Bispo *et al.*, 2006; Boyero & Bosch, 2004; Buss *et al.*, 2004). Asimismo, Baptista (2000) relaciona estos sustratos con una alta disponibilidad de concentraciones de oxígeno disuelto. El sustrato arena registró la riqueza y diversidad más baja, lo cual coincide con los estudios de Vásquez *et al.* (2012) para la familia Baetidae. Es relevante mencionar que este sustrato es generalmente inestable y presenta baja disponibilidad de materia orgánica que puede en parte conducir a una baja diversidad y riqueza de individuos (Hawkins, 1984).

Ensamblaje de las especies de la familia Baetidae y asociación con variables fisicoquímicas y ambientales La familia Baetidae posee adaptaciones a los diferentes hábitats de los cuerpos de agua (Zúñiga *et al.*, 2004). La prueba de ordenación NMDS no mostró ningún agrupamiento que permitiera visualizar diferencias en la composición de especies por microhábitat, así que esto evidencia que no se registraron correlaciones significativas con respecto a la composición y estructura de la fauna de la familia Baetidae en cada sustrato, y las especies se distribuyen indistintamente en arena, roca, hojarasca y grava/guijarro. Posiblemente esto esté relacionado con lo mencionado por Allan (1995, citado por Pérez & Segnini, 2005), quien expuso que los hábitats con predominancia de sustratos rocosos de variado tamaño deben tener mayor diversidad de especies que los hábitats con sustratos arenosos, pero si ambos contienen grava las diferencias en la diversidad son realmente muy bajas.

A nivel espacial, la prueba de ordenación NMDS mostró dos agrupamientos; el primero reúne las estaciones donde predomina el impacto agrícola (RAP, RACV, QLCA, RACHU), y el segundo donde predomina el impacto de la urbanización (RAIN, QCOC, QCHE); mientras que la estación QCHU, localizada entre los dos grupos, es una estación ubicada en la parte media de la cuenca, con un mayor impacto agrícola que urbanístico. Estos resultados permiten visualizar diferencias en la composición de especies por estación y evidencian que existen correlaciones significativas con respecto a la composición y estructura de la fauna de la familia Baetidae en cada estación, mostrando en parte que las especies se distribuyen según el tipo de impacto recibido (Vásquez *et al.*, 2013; Forero & Reinoso, 2013).

Al relacionar las variables ambientales con la fauna de la familia Baetidae registrada en este estudio, se encontró que las especies

A. robacki, *C. redactus* y *Baetodes* sp. están relacionadas con altos valores de dureza, alcalinidad, conductividad eléctrica, sólidos totales, temperatura del agua, oxígeno disuelto y fosfatos, lo cual denota que su presencia está restringida a estas variables asociadas con procesos de mineralización (Ramírez & Viña, 1998).

Por otro lado, las especies *B. awa*, *B. pseudospinae*, *B. spinae*, *Nanomis* sp. y *Prebaetodes* sp. se encontraron relacionadas positivamente con valores medios de nitratos y negativamente con los fosfatos. Estas especies fueron registradas en las estaciones RACHU, QCHE, QCHU y QCOC, de gran influencia antrópica, lo cual evidencia que los impactos humanos influyen sobre las características fisicoquímicas de las corrientes; en particular, los nitratos se han encontrado relacionados a cuencas con una fuerte influencia de la urbanización y la agricultura, situación que influye sobre la composición y estructura de la fauna acuática (Mesa, 2010; Forero *et al.*, 2013; Vásquez *et al.*, 2014).

Es importante mencionar que la especie *Prebaetodes* sp., en el análisis ACC, se localizó entre las estaciones QCOC y QCHU, ya que sólo se registró en éstas. Igualmente, las mayores abundancias de las especies *Nanomis* sp., *B. awa*, *B. pseudospinae* y *B. spinae*, se encontraron en dichas estaciones. Estas quebradas tributarias del río Alvarado registran altas concentraciones de oxígeno disuelto, abundante vegetación riparia y oferta de los cuatro sustratos evaluados, aspectos que contribuyen de manera importante a la presencia de esta biota, que ha sido registrada en otros estudios en zonas poco intervenidas (Dominguez *et al.*, 2006).

La especie *C. patricki* se encontró relacionada con las variables coliformes totales, DQO y turbiedad, las cuales son propias de procesos de oxidación-reducción de la materia orgánica, lo cual refleja una fuerte intervención antrópica (Ramírez & Viña, 1998). Cabe resaltar que esta especie se encontró en las estaciones QLM y RAIN, las cuales evidenciaron descargas directas de aguas residuales domésticas, basura y procesos de extracción de arena. Su presencia en estas estaciones denota su tolerancia a los impactos antropogénicos. El género *Camelobaetidius* ha sido reportado en diferentes tipos de hábitats a lo largo de los ecosistemas acuáticos (Dominguez *et al.*, 2006). Entre tanto, las especies *V. minutus*, *V. singuil*, *P. binodulus*, *G. queremba* y *C. edmundsi* se encontraron relacionadas con las variables pH, oxígeno disuelto, cloruros, DBO5 y caudal; estas variables fisicoquímicas generalmente se relacionan con la presencia de materia orgánica (Ramírez & Viña, 1998; Roldán & Ramírez, 2008), características presentadas por las estaciones QLCA, RACV y RAP (con fuerte intervención agrícola y sustratos arenosos y rocosos), donde se registraron las especies, evidenciando tolerancia a cambios en sus microambientes. Hay que resaltar que tanto el género *Varipes* como el *Guajirolus* y *Camelobaetidius* han sido colectados en diferentes tipos de ambientes con variedad de sustrato (Dominguez *et al.*, 2006). Las actividades antropogénicas aportan una alta concentración de materia orgánica e iones que influyen en la determinación de los ensamblajes de los bétidos a lo largo de la cuenca. Algunos estudios han mostrado que, en general, la familia Baetidae se relaciona con aguas de buena calidad (Roldán, 2003; Zúñiga *et al.*, 2004; Dominguez *et al.*, 2006; Gutiérrez & Reinoso, 2010); sin embargo, los resultados de este estudio ponen de manifiesto que es a nivel de especie que se puede evaluar con más solidez la calidad del agua, ya que la respuesta de las especies a factores como precipitaciones, uso del suelo, caudales, variables fisicoquímicas y ambientales difieren en la mayoría de los casos. Tal como se detectó en los organismos del

género *Camelobaetidius*, en donde la especie *C. edmundsi* se encontró relacionada con las variables oxígeno disuelto, pH, cloruros, caudal y DBO5, mientras que *C. patricki* estuvo relacionado con las variables pH, turbiedad y coliformes totales. Lo anteriormente mencionado evidencia la necesidad de llegar a niveles específicos en la taxonomía de Baetidae para establecer los requerimientos ecológicos de cada especie en particular.

En el ecosistema acuático, cada especie en particular vive en un medio determinado y está “adaptada” a las condiciones ambientales propias de ese medio; por lo tanto, cualquier alteración de alguno de los factores de su entorno puede afectarla de manera directa e indirecta, e incluso provocar su desaparición (Roldán & Ramírez, 2008). Cuando llega una fuente de contaminación al ecosistema, ya sea doméstica, agrícola o industrial, las condiciones fisicoquímicas del agua cambian, y para muchas especies la única alternativa es adaptarse, y las que no se adaptan mueren (Roldán & Ramírez, 2008).

Los resultados obtenidos permiten evidenciar cómo la composición y estructura de la familia Baetidae depende de diversos factores, como disponibilidad y calidad de los microhábitats, régimen de precipitación, variables fisicoquímicas y ambientales, entre otros, los cuales son fundamentales en la determinación de los ensamblajes de macroinvertebrados acuáticos. Se evidencia además cómo estos factores y la intervención humana pueden influir de manera marcada en la dinámica ecológica de las especies (Buss *et al.*, 2004). La dramática pérdida de la biodiversidad global motiva a aunar esfuerzos de científicos e instituciones ambientales para la preservación de estas comunidades (Galbraith *et al.*, 2008, citado por Vásquez, 2012).

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen al Comité Central de Investigaciones y al Grupo de Investigación en Zoología de la Universidad del Tolima por el soporte financiero. De manera especial, a los doctores Rafael Boldrini, Luke Jacobus y Boris Kondratieff, por el apoyo en la confirmación taxonómica de los organismos. A Francisco Villa, Jesús Vásquez, Tatiana Parra, Edison Duarte, Leonardo Lozano, Laura Rojas, Diana Jiménez, Jonathan Gordillo, Gabriel Albornoz y Cristhian Conde, por su apoyo en campo y laboratorio. La primera autora agradece a Colciencias por la beca 525-2011 y 566-2012 del programa Jóvenes Investigadores e Innovadores “Virginia Gutiérrez de Pineda”, contribución 471 del Grupo de Investigación en Zoología de la Universidad del Tolima.

REFERENCIAS

- ALLAN, D. J. 1995. Stream ecology. Structure and function. Chapman and Hall. London. 388 p.
- BACCA, T., G. CASTILLO, M. RODRÍGUEZ & L. G. DIAS. 2008. Inventarios de los Ephemeroptera de Nariño. In: Resúmenes del XXXV Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología-SOCOLEN. Santiago de Cali, Colombia.
- BAPTISTA, D. F., D. F. BUSS, L. F. M. DORVILLE & J. NESSIMIAN. 2001. Diversity and habitat preference of aquatic insects along the longitudinal gradient of the Macaé river basin, Rio de Janeiro, Brazil. *Revista Brasileira de Biologia* 61 (2): 249-258. DOI: 10.1590/S0034-71082001000200007
- BAUERNFEIND, E. & O. MOOG. 2000. Mayflies (Insecta: Ephemeroptera) and the assessment of ecological integrity: a methodological approach. *Hydrobiologia* 422 (423): 71-83. DOI: 10.1007/978-94-011-4164-2_6
- BISPO, P. C., L. G. OLIVEIRA, L. M. BINI & K. G. SOUSA. 2006. Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera assemblages from riffles in mountain streams of Central Brazil: environmental factors influencing the distribution and abundance of immatures. *Brazilian journal of biology Revista Brasileira de Biologia*, 66 (2B): 611-622. DOI: 10.1590/S1519-69842006000400005
- BOLDRINI, R., P. V. CRUZ, F. F. SALLES, E. L. BELMONT & N. HAMADA. 2012. Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) from northeastern Brazil. *Check List*, 8 (1): 88-94. DOI: 10.15560/8.1.088
- BOYER, L. & J. BOSCH. 2004. The effect of riffle-scale environmental variability on macroinvertebrate assemblages in a tropical stream. *Hydrobiologia* 524 (1): 125-132. DOI: 10.1023/B:HYDR.0000036127.94781.3c
- TER BRAAK, C. J. F. & P. SMILAUER. 2009. Canoco. Wageningen: Biometris-Plant Research International.
- BUSS, D. F., D. F. BAPTISTA, J. L. NESSIMIAN, & M. EGLER. 2004. Substrate specificity, environmental degradation and disturbance structuring macroinvertebrate assemblages in neotropical streams. *Hydrobiologia* 518 (1-3): 179-188. DOI: 10.1023/B:HYDR.0000025067.66126.1c
- BUSS, D. F. & F. F. SALLES. 2007. Using Baetidae species as biological indicators of environmental degradation in a Brazilian River Basin. *Environmental Monitoring and Assessment* 130 (1-3): 365-372. DOI: 10.1007/s10661-006-9403-6
- CORTOLIMA. 2009. Plan de ordenación y manejo de la Cuenca hidrográfica mayor del río Totare, convenio CORTOLIMA, CORPOICA, SENA y UNIVERSIDAD DEL TOLIMA. Disponible en línea en: <http://www.cortolima.gov.co/cuenca-gual/gesti-n-integral-recurso-h-drico>.
- DE SOUZA, M. R., F. F. SALLES & J. L. NESSIMIAN. 2011. Three new species of *Baetodes* Needham & Murphy (Ephemeroptera: Baetidae) from Espírito Santo State, Brazil. *Aquatic Insects* 33 (2): 93-104. DOI: 10.1080/01650424.2011.576118
- DIAS, L., M. C. ZÚÑIGA & T. BACCA. 2009. Estado actual del conocimiento del orden Ephemeroptera en Colombia. In: Memorias XXXVI Congreso Sociedad Colombiana de Entomología-SOCOLEN. Simposio de Invertebrados. Medellín, Colombia. pp. 236-253.
- DOMÍNGUEZ, E. & H. R. FERNÁNDEZ (Eds.). 2009. *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: sistemática y biología*. 1a. Ed. Fundación Miguel Lillo. Tucumán, Argentina. 656 p.
- DOMÍNGUEZ, E., M. DEL CARMEN ZÚÑIGA & C. MOLINERI. 2002. Estado actual del conocimiento y distribución del Orden Ephemeroptera (Insecta) en la región amazónica. *Caldasia*. 24 (2): 459- 469.
- DOMÍNGUEZ, E., C. MOLINERI, M. PESCADOR, M. HUBBARD, & C. NIETO. 2006. *Ephemeroptera of South America*. Pensoft Publishers. 646 p.
- DOMÍNGUEZ, E. C. MOLINERI, & C. NIETO. 2009. Ephemeroptera. In: Domínguez, E. y H. R. Fernández (Eds.). *Macroinvertebrados bentónicos*

- sudamericanos: sistemática y biología*. 1a ed. Fundación Miguel Lillo. Tucumán, Argentina. pp. 55-93.
- DOMINIQUE, Y., C. MATHURIAU, & A. THOMAS. 2001. Étude systématique du genre *Camelobaetidius* Demoulin, 1966 en Colombie [Ephemeroptera, Baetidae]. *Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Toulouse* 137: 17-32.
- ELOSEGI, A., S. SABATER. (Eds.) 2009. *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Fundación BBVA. 448 p.
- FERNÁNDEZ, H. & E. DOMÍNGUEZ. 2001. *Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos*. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, Argentina. 282 p.
- FLOWERS, R. W. 1985. *Guajiroilus*, a new genus of Neotropical Baetidae (Ephemeroptera). *Studies on the Neotropical Fauna and Environment* 20 (1): 27-31. DOI: 10.1080/01650528509360667
- FORERO-CÉSPEDES, A. M. & G. REINOSO-FLÓREZ. 2013. Estudio de la familia Baetidae (Ephemeroptera: Insecta) en una cuenca con influencia de la urbanización y agricultura: río Alvarado-Tolima. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 25: 12-21.
- GALBRAITH, H. S., C. C. VAUGHN, & C. K. MEIER. 2008. Environmental variables interact across spatial scales to structure trichopteran assemblages in Ouachita Mountain rivers. *Hydrobiologia* 596 (1): 401-411. DOI: 10.1007/s10750-007-9124-z
- GOULART, M. & M. CALLISTO. 2005. Mayfly diversity in the Brazilian tropical Headwaters of Serra do Cipó. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 48 (6): 983-996. DOI: 10.1590/S1516-89132005000800015
- GUTIÉRREZ, C. & G. REINOSO. 2010. Géneros de ninfas del orden Ephemeroptera (Insecta) del departamento del Tolima, Colombia: listado preliminar. *Biota Colombiana* 11 (1-2): 23-32.
- GUTIÉRREZ, Y., L. G. DIAS & F. F. SALLES. 2013. *Paracloeodes caldensis* (Ephemeroptera: Baetidae), an atypical new species from the Colombian Andes. *Zootaxa* 3721 (3): 291-295. DOI: 10.11646/zootaxa.3721.3.6
- HAMMER, Ø., D. A. T. HARPER & P. D. RYAN. 2001. PAST: Paleontological Statistics software: Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4 (1): 1-9.
- HAWKINS, C. P. 1984. Substrate associations and longitudinal distributions in species of Ephemerellidae (Ephemeroptera: Insecta) from western Oregon. *Freshwater Invertebrate Biology* 3 (4):181-188. DOI: 10.2307/1467122
- LUGO-ORTIZ, C. R. & W. P. McCAFFERTY. 1996a. *Aturbina georgei* gen et sp-n.: A small minnow mayfly (Ephemeroptera: Baetidae) without turbinate eyes. *Aquatic Insects* 18 (3): 175-183. DOI: 10.1080/01650429609361619
- LUGO-ORTIZ, C. R. & W. P. McCAFFERTY. 1996b. The genus *Paracloeodes* (Insecta: Ephemeroptera: Baetidae) and its presence in South America. *Annales de Limnologie* 32 (3): 161-169. DOI: 10.1051/limn/1996015
- LUGO-ORTIZ, C. R. & W. P. McCAFFERTY. 1996c. Phylogeny and classification of the *Baetodes* complex (Ephemeroptera: Baetidae), with description of new genus. *Journal of the North American Benthological Society* 15 (3): 367-380. DOI: 10.2307/1467283
- LUGO-ORTIZ, C. R. & W. P. McCAFFERTY. 1996d. Taxonomy of the neotropical genus *Americabaetis*, new status (Insecta: Ephemeroptera: Baetidae). *Studies Neotropical Fauna and Environment* 31 (3-4): 156-169. DOI: 10.1076/snfe.31.3.156.13341
- LUGO-ORTIZ, C. R. & W. P. McCAFFERTY. 1998. Five new genera of Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) from South America. *Annales de Limnologie* 34 (1): 57-73. DOI: 10.1051/limn/1998007
- LUGO-ORTIZ, C. R. & W. P. McCAFFERTY. 1999. Three new genera of small minnow mayflies (Insecta: Ephemeroptera: Baetidae) from the Andes and Patagonia. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 34 (2): 88-104. DOI: 10.1076/snfe.34.2.88.2102
- MAYO, V. K. 1968. Two new species of the genus *Baetodes* from Ecuador (Ephemeroptera: Baetidae). *Pan-Pacific Entomologist* 44 (3): 251-257.
- MAYO, V. K. 1973. Four new species of the genus *Baetodes* (Ephemeroptera: Baetidae). *Pan-Pacific Entomologist* 49 (4): 308-314.
- MESA, L. M. 2010. Effect of spates and land use on macroinvertebrate community in Neotropical Andean streams. *Hydrobiologia* 641 (1): 85-95. DOI: 10.1007/s10750-009-0059-4
- MERRITT, W., W. CUMMINS & M. B. BERG (Eds.). 2008. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. 4^{ta} Ed. Kendall/Hunt Publishing Company. 1157 p.
- MOHAMMAD, B., R. GARZA, V. GARZA, & J. LANDEROS. 2005. Los Indicadores Biológicos en la Evaluación de la Contaminación por Agroquímicos en Ecosistemas Acuáticos y Asociados. *Centro Universitario de Investigación Científica y Tecnológica (CUICyT)* 6: 4-20.
- MOORE, A. A. & M. A. PALMER. 2005. Invertebrate biodiversity in agricultural and urban headwater streams: Implications for conservation and management. *Ecological Applications* 15 (4): 1169-1177. DOI: 10.1890/04-1484
- MUÑOZ, D. & R. OSPINA. 1999. Guía para la identificación genérica de los Ephemeropteros de la Sabana de Bogotá, Colombia, Ninfas y algunos géneros de adultos. *Actualidades Biológicas* 21 (70): 47-60.
- FALCÃO, J. N., F. F. SALLES & N. HAMADA. 2011. Baetidae (Insecta, Ephemeroptera) ocorrentes em Roraima, Brasil: novos registros e chaves para gêneros e espécies no estágio ninfal. *Revista Brasileira de Entomologia* 55 (4): 516-548. DOI: 10.1590/S0085-56262011005000048
- NIETO, C. 2003a. El género *Camelobaetidius* (Ephemeroptera: Baetidae) en la Argentina. *Acta Zoológica Mexicana* 88: 233-255.
- NIETO, C. 2003b. A new species of *Guajiroilus* (Ephemeroptera: Baetidae) from Argentina and description of a new genus from Bolivia. *Systematics, Taxonomy and Phylogeny of Ephemeroptera* 153-158.
- NIETO, C. 2004a. The Genus *Baetodes* (Ephemeroptera: Baetidae) in South America with the Description of New Species from Argentina, Bolivia and Peru. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 39 (1): 63-79. DOI: 10.1080/01650520412331270990

- NIETO, C. 2004b. South American Baetidae (Ephemeroptera): a New Generic Synonymy. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 39 (2): 95-101. DOI: 10.1080/01650520412331333747
- NIETO, C. 2004c. Redescription of *Varipes* (Ephemeroptera: Baetidae), with the description of new species from Bolivia and Argentina. *Aquatic Insects* 26 (3-4): 161-173. DOI: 10.1080/01650420412331327240
- NIETO, C. & F. F. SALLES. 2006. Revision of the Genus *Paracloeodes* (Ephemeroptera: Baetidae) in South America. *Zootaxa* 1303: 1-33.
- NIETO, C. 2010. Cladistic analysis of the family Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) in South America. *Systematic Entomology* 35 (3): 512-525. DOI: 10.1111/j.1365-3113.2010.00523.x
- NORRIS, R. H. & C. P. HAWKINS. 2000. Monitoring river health. *Hydrobiología* 435 (1-3): 5-17.
- PÉREZ, B. & S. SEGNINI. 2005. Variación espacial de la composición y diversidad de géneros de Ephemeroptera (Insecta) en un río tropical altianoandino. *Entomotropica* 20 (1): 49-57.
- RAMÍREZ GONZÁLEZ, A. & G. VIÑA VIZCAÍNO. 1998. *Limnología Colombiana: aportes a su conocimiento y estadística de análisis*. Fundación universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 293 p.
- REINOSO, G. 2001. *Estudio bioecológico de los tricópteros del río Alvarado en el trayecto comprendido entre El Salado y Alvarado Tolima*. Universidad del Tolima, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. 79 p.
- ROLDÁN PÉREZ, G. 2003. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col*. Editorial Universidad Antioquia. Medellín, Colombia. 170 p.
- ROLDÁN PÉREZ, G. & J. J. RAMÍREZ RESTREPO. 2008. *Fundamentos de Limnología neotropical*. 2ª ed. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín. 440 p. Salinas, L. G., L. G. Dias, F. F. Salles, & T. Bacca. 2011. Three new species of Baetodes Needham & Murphy (Ephemeroptera: Baetidae) from Colombia. *Zootaxa* 3110: 61-68.
- SALLES, F. F. & C. R. LUGO-ORTIZ. 2003a. Um novo gênero e espécie de Baetidae (Ephemeroptera) do Estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. *Iheringia Série Zoologia* 93 (2): 201-206. DOI: 10.1590/S0073-47212003000200012
- SALLES, F. F. & C. R. LUGO-ORTIZ. 2003b. Nova Espécie de *Cloeodes* Traver (Ephemeroptera: Baetidae) do Estado do Rio de Janeiro. *Neotropical Entomology* 32 (3): 449-452. DOI: 10.1590/S1519-566X2003000300011
- SALLES, F. F., C. N. FRANCISCHETTI, F. O. ROQUE, M. PEPINELLI & S. TRIVINHO STRIXINO. 2003a. Levantamento preliminar dos gêneros e espécies de baetidae (Insecta: Ephemeroptera) do estado de são paulo, com ênfase em coletas realizadas em córregos florestados de baixa ordem. *Biota Neotropica* 3 (2): 1-7. DOI: 10.1590/S1676-06032003000200011
- SALLES, F. F., E. R. DA-SILVA & C. R. LUGO-ORTIZ. 2003b. Descrição da ninfa e redescricao dos adultos de *Callibaetis radiatus* Navás (Insecta: Ephemeroptera: Baetidae). *Lundiana* 4 (1): 13-18.
- SALLES, F. F. & L. G. DIAS. 2004. Descrição dos adultos de *Camelobaetidius billi* (Ephemeroptera, Baetidae). *Iheringia Série Zoologia* 94 (3): 269-270. DOI: 10.1590/S0073-47212004000300007
- SALLES, F. F. & C. N. FRANCISCHETTI. 2004. *Cryptonympha* dasilvai sp. nov. (Ephemeroptera: Baetidae) do Brasil. *Neotropical Entomology* 33 (2): 213-216. DOI: 10.1590/S1519-566X2004000200011
- SALLES, F. F., E. R. DA-SILVA, M. D. HUBBARD & J. E. SERRÃO. 2004a. As espécies de Ephemeroptera (Insecta) registradas para O Brasil. *Biota Neotropica* 4 (2): 1-34. DOI: 10.1590/S1676-06032004000200011
- SALLES, F. F., J. D. BATISTA, & H. R. S. CABETTE. 2004b. Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) de Nova Xavantina, Mato Grosso, Brasil: Novos registros e descrição de uma nova espécie de *Cloeodes* Traver. *Biota Neotropica* 4 (2): 1-8. DOI: 10.1590/S1676-06032004000200004
- SALLES, F. F., E. R. DA-SILVA, J. E. SERRÃO & C. N. FRANCISCHETTI. 2004c. Baetidae (Ephemeroptera) from Southeastern Brazil: New records and key to nymph genera. *Neotropical Entomology* 33 (6): 725-735. DOI: 10.1590/S1519-566X2004000600010
- SALLES, F. F., & J. E. SERRÃO. 2005. The nymphs of the genus *Camelobaetidius* Demoulin (Ephemeroptera : Baetidae) in Brazil : new species, new records, and key for the identification of the species. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* 41 (4): 267-279. DOI: 10.1051/limn/2005014
- SALLES, F. F., M. B. ANDRADE & E. R. DA-SILVA. 2005a. *Camelobaetidius franciscchetti*: a new species of Baetidae (Ephemeroptera) from Brazil. *Zootaxa* 1027: 47-53.
- SALLES, F. F. 2011. Uso da família Baetidae (Ephemeroptera) como bioindicador no Brasil. In: *Memórias Congresso XXXVIII. Congresso Sociedade Colombiana de Entomologia-SOCOLEN*.
- SALLES, F. F., S. M. PEREIRA, J. E. SERRÃO. 2005b. Redescription of *Camelobaetidius* leentvaari Demoulin, 1966 from Suriname and Brazil [Ephemeroptera: Baetidae]. *Ephemera* 5 (2): 69-75.
- SALLES, F. F. 2007. The presence of Chane Nieto and Guajirolus Flowers (Ephemeroptera, Baetidae) in Brazil with the description of a new species. *Revista Brasileira de Entomologia* 51 (4): 404-409. DOI: 10.1590/S0085-56262007000400002
- SALLES, F. F. & C. M. POLEGATTO. 2008. Two new species of *Baetodes* Needham & Murphy (Ephemeroptera: Baetidae) from Brazil. *Zootaxa* 1851: 43-40.
- SALLES, F. F. & R. BOLDRINI. 2008. Male Imago Description of *Americabaetis* longetron Lugo-Ortiz & McCafferty (Ephemeroptera: Baetidae), and First Key to Adults of the Genus. *Neotropical Entomology* 37 (5): 564-566. DOI: 10.1590/S1519-566X2008000500010
- SALLES, F. F. & C. NIETO. 2008. Los estados adultos de *Nanomis* y *Spiritiops* (Ephemeroptera: Baetidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 67 (1-2): 35-39.
- SALLES, F. F. & J. M. CAVALCANTE DO NASCIMENTO. 2009. The genus *Rivudiva* Lugo-Ortiz and McCafferty (Ephemeroptera: Baetidae): First generic description of adults, new combinations, and notes on the nymphs. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 45 (4): 231-235. DOI: 10.1051/limn/2009023
- SALLES, F. F., E. A. RAIMUNDI, R. BOLDRINI & G. M. SOUZA-FRANCO. 2010a. The genus *Americabaetis* Kluge (Ephemeroptera: Baetidae) in Brazil: new species, stage description, and key to nymphs. *Zootaxa* 2560: 16-28.

