

Caracterización de hábitats fluviales en estratos superiores de las Yungas mediante el análisis de los rasgos biológicos del grupo EPT Characterization of fluvial habitats in upper strata of Yungas through analysis of biological traits of the EPT group

ALEXANDRA BUITRAGO-GUACANEME¹ , MARÍA CELINA REYNAGA¹, DANIEL ANDRÉS DOS SANTOS^{1,2} 

¹Instituto de Biodiversidad Neotropical (CONICET-UNT)

²Universidad Nacional de Tucumán - Facultad de Ciencias e Instituto Miguel Lillo

E-mail: buigua@gmail.com

RESUMEN. Los arroyos de montaña forman un complejo de hábitats eco-hidráulicos que funcionan como filtro ecológico. Dicho filtro actúa sobre las características de las especies, condicionando la estructura de las respectivas comunidades. El ensamble EPT (Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera) es diverso en arroyos localizados en estratos superiores de las Yungas del Noroeste Argentino. Se estudió la estructura de dicho ensamble y la combinación de rasgos biológicos asociados con diferentes hábitats en sitios altimontanos de las Yungas durante períodos contrastantes del ciclo hidrológico. Se logra delinear la configuración de rasgos incidentes en los siguientes hábitats: a) corredera (zona energética), b) orgánico (material heterogéneo de hojarasca, tallos y material particulado grueso) y c) somero (zona léntica marginal deposicional o poza interna de escaso desarrollo en profundidad). Sobre la base de esta caracterización se podrá avanzar en el monitoreo a futuro de la respuesta de la entomofauna frente a impulsores directos del cambio global que operan en los pisos superiores de las Yungas.

Palabras clave: Bosque nublado montano, insectos acuáticos, rasgos funcionales.

ABSTRACT. Mountainous streams form a complex of eco-hydraulic habitats that function as an ecological filter. This filter acts on the characteristics of species, conditioning the structure of their respective communities. The EPT assemblage (Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera) is diverse in streams located in the upper strata of the Argentinean Northwest Yungas. The structure of this assemblage and the combination of biological traits associated with different habitats in high-altitude Yungas sites during contrasting periods of the hydrological cycle were studied. The configuration of incident traits in the following habitats is achieved: a) riffle (energetic zone), b) organic (heterogeneous litter, stems, and coarse particulate material), and c) shallow (depositional marginal lentic zone or poorly developed inner pool in depth). Based on this characterization, future monitoring of the response of the insect fauna to direct drivers of global change operating in the upper Yungas can be enhanced.

Keywords: Aquatic insects, functional traits, montane cloud forest.

INTRODUCCIÓN

Los rasgos biológicos refieren a las tácticas o combinaciones de adaptaciones de los organismos seleccionadas en correspondencia con los cambios que operan en el ambiente. Un rasgo puede mostrar diferentes expresiones o atributos; estos atributos pueden ser medidos en varios niveles de resolución y expresados en categorías o rangos (Tachet *et al.*, 2002). Una combinación específica de atributos define un tipo funcional (grupos de especies que comparten adaptaciones con una función específica). La identificación y evaluación de estos tipos funcionales es importante para describir los mecanismos bajo los cuales la comunidad responde a diferentes factores ambientales. Contribuye además al conocimiento de la función de un ecosistema y sirve como herramienta predictiva ante los cambios introducidos por el hombre.

Los taxones incluidos en los órdenes de insectos Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (grupo EPT) han sido reconocidos por su sensibilidad ante la variación ambiental, particularmente en los ríos de regiones montañosas. Esta característica justifica su empleo como indicadores de calidad de ambientes (Reynaga & Dos Santos, 2012). El presente artículo indaga sobre la aptitud del grupo para diferenciar hábitats en arroyos de estratos superiores que difieren entre sí según sus características energéticas tanto hidráulicas como de metabolismo ecosistémico (ambientes de corredera, someros y paquetes de hojarasca).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos campañas de muestreo en 2017 y 2018 en 16 sitios de estratos superiores de las Yungas (Bosque Nublado Montano y Pastizales de altura), a lo largo de tramos de arroyos localizados a una altitud promedio de 2028 msnm, con un rango de elevación entre 1607 y 2796 msnm, dentro del Noroeste de Argentina. Los puntos de muestreo incluyeron arroyos en las áreas de Santa Bárbara (Jujuy,

Finca Hídrica Las Costas (Salta), Parque Nacional Aconquija, Tafí del Valle y Hualinchay (Tucumán). Se realizó colecta de organismos bentónicos mediante red D y esfuerzo de muestreo estandarizado de 5 minutos en los siguientes hábitats: corredera (sustrato mineral, flujo continuo de agua), somero (sustrato mineral/detrítico, con características remansadas del agua, tanto en márgenes como pozas internas en el cauce) y orgánico (conjunto heterogéneo de hojarasca, tallos y material particulado grueso depositado, ya sea en intersticios rocosos en contexto lótico, o fondo de zonas lénticas). Los taxones se identificaron hasta el máximo grado de resolución taxonómica usando a tal efecto claves regionales. Se consultó también con especialistas para confirmar determinaciones. Los sitios fueron visitados en diferentes épocas del ciclo hidrológico (después de los episodios de crecidas y en fechas de aguas bajas), procurando capturar el amplio espectro de variabilidad ecológica del sistema. A partir de los datos obtenidos en campo, se compuso una tabla faunística (F) de abundancia de sitios muestreados por taxón (especies/géneros), representando cada fila una unidad espacio-temporal (sitio-fecha) de análisis. Se construyó también una tabla biológica de rasgos (B), empleando a tal fin una codificación fuzzy (Chevenet *et al.*, 1994). En la Tabla 1 se detallan los rasgos estudiados y sus modalidades. Tras multiplicar las matrices respectivas (F X B), se accedió a una tabla de sitios-x-rasgos (R) que cruza la información de sitios-x-taxones y taxones-x-rasgos. Dicha tabla de rasgos se sometió a un análisis discriminante de correspondencias (DCA por sus siglas en inglés) mediante la función *discrimin.coa* del paquete "ade4" (Chessel *et al.*, 2004), siendo el tipo de hábitat muestreado el vector de clasificación. Mediante este análisis es posible identificar la combinación de rasgos que conducen a una mejor diferenciación de los hábitats. Con los datos de 2018 se construyó la función discriminante, y la validación del modelo se puso a prueba con los datos muestrales de 2017. Se cuantificó el coeficiente Kappa de Cohen para medir la concordancia entre clases predichas y observadas (McHugh, 2012).

Tabla 1. Rasgos funcionales de insectos acuáticos del grupo EPT de Bosques Subtropicales Nublados de Montaña.

Table 1. Functional traits of aquatic insects of the EPT group from Subtropical Montane Cloud Forests.

Rasgo	Modalidad	Código
Tamaño máximo del cuerpo (mm)	<5	BS1
	5-10	BS2
	10-15	BS3
	15-20	BS4
	> 20	BS5
Forma del cuerpo	Cilíndrico	BF1
	Nadadora	BF2
Flexibilidad del cuerpo (grados)	Ninguna (< 10)	FI1
	Baja (10-45)	FI2
	Alta (> 45)	FI3
Dureza del exoesqueleto	Baja	HE1
	Moderada (esclerotizado o habitáculo con seda)	HE2
	Alta	HE2
Hábitos alimentarios	Colector-recolector	FH1
	Colector-filtrador	FH2
	Triturador	FH3
	Raspador	FH4
	Predador	FH5
	Suctor	FH6
Respiración	Tegumento	R1
	Branquias	R2
	Plastrón	R3
	Estigmas	R4
Locomoción	Nado	L1
	Rastrera	L2
	Temporalmente fija	L3
	Cavadora epibentónica	L4
Adaptación específica al flujo constante de agua	Ventosas	AF1
	Glándulas (SG)	AF2
	Habitáculo de material mineral (MM)	AF3
	Ganchos anales o tarsales (H)	AF4
	Sin adaptaciones	AF5

También se realizaron 10000 repeticiones de asignación al azar de los hábitats y se estudió la distribución estadística de la precisión global ante estos esquemas nulos de clasificación.

RESULTADOS

Las especies identificadas se listan a continuación. Ephemeroptera: *Americabaetis alphus* Lugo-Ortiz & McCafferty, 1996; *Americabaetis longetron* Lugo-Ortiz & McCafferty, 1996; *Andesiops peruvianus* (Ulmer, 1920); *Baetodes cochunaensis* Nieto, 2004; *Baetodes copiosus* Nieto, 2004; *Baetodes huaico* Nieto, 2004; *Caenis ludicra* Navás, 1920; *Camelobaetidius penai* (Traver & Edmunds, 1968); *Cloeodes penai* (Moriyama & Edmunds, 1980); *Leptohiphes eximius* Eaton, 1882; *Meridialaris tintinnabula* Pescador & Peters, 1987; *Nanomis galera* Lugo-Ortiz & McCafferty, 1999; *Thraulodes consortis* Domínguez, 1987; *Tricorythodes popayanicus* Domínguez, 1982; Plecoptera: *Anacroneuria* sp. Klapálek, 1909, *Claudioperla tigrina* (Klapálek, 1904); Trichoptera:

Anomalocosmoecus sp. Schmid, 1957; *Atopsyche* sp. Banks, 1905; *Banyallarga* sp. Navás, 1916; *Cailloma* sp. Ross & King, 1951; *Chimarra* sp. Stephens, 1829; *Cynrellus* sp. Banks, 1913; *Helicopsyche obscura* Rueda-Martín & Águeda, 2015; *Helicopsyche* sp. Siebold, 1856; *Hydroptila* sp. Dalman, 1819; *Leucotrichia* sp. Mosely, 1934; *Leptonema* sp. Guérin-Méneville, 1843; *Metrichia* sp. Ross, 1938; *Metrichia argentinica* Schmid, 1958; *Mortoniella* sp. Ulmer, 1906; *Nectopsyche* sp. Müller, 1879; *Phylloicus* sp. Müller, 1880; *Polycentropus* sp. Curtis, 1835; *Smicridea* sp. McLachlan, 1871; *Xiphocentron* sp. Brauer, 1870. Al ser tres los grupos de interés clasificatorio (corredera, somero y orgánico), se retuvieron sólo dos ejes del DCA. Los 60 puntos de estudio fueron exitosamente clasificados (~90% de precisión global). Las elipses de confianza al 95% dibujadas alrededor de los puntos proyectados en el mapa factorial no se solapan o lo hacen de forma marginal, permaneciendo los centroides excluidos de elipses extra-grupales (Figura 1). El patrón general indica que corredera se segrega fácilmente de somero a lo largo del eje

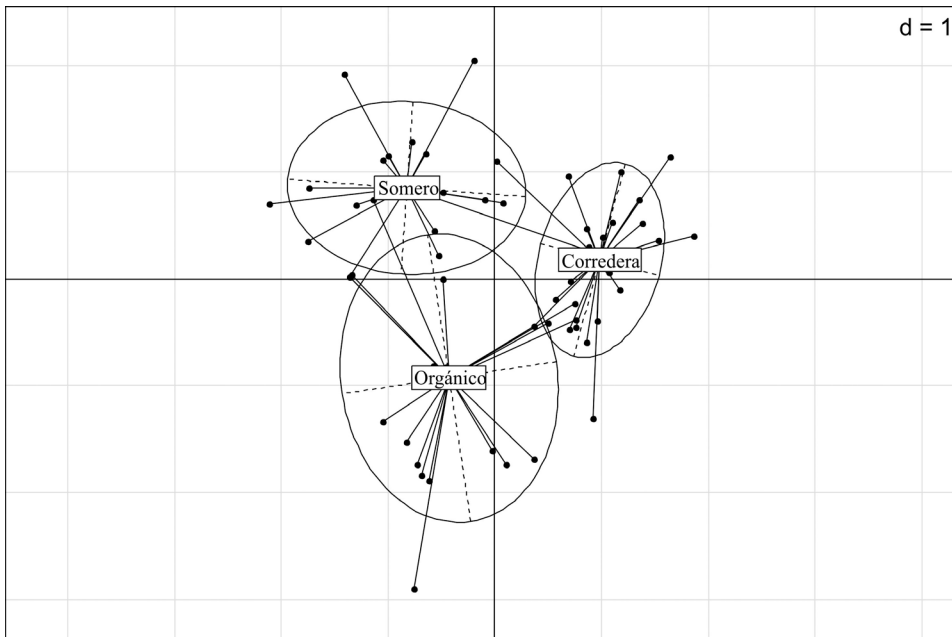


Figura 1. Mapa factorial correspondiente al Análisis Discriminante de Correspondencias. Corredera se separa de somero a lo largo del eje 1. Orgánico se separa del resto a lo largo del eje 2.

Figure 1. Factor map corresponding to the Discriminant Correspondence Analysis. Corredera is separated from shallow along axis 1. Organic is separated from the rest along axis 2.

1, mientras que orgánico se separa del resto a lo largo del eje 2. Considerando la correlación de los rasgos con los ejes (Figura 2), podemos indicar la siguiente combinación diagnóstica para cada hábitat (se señalan modalidades protagónicas):

- Corredera (Figura 2a): asociado a BS3, BF2, FI2, FH4, L4 y AF3
- Somero (Figura 2a): BS2, BF1, FH3, L2 y AF4
- Orgánico (Figura 2b): BS5, FH5, L2 y AF3

El modelo discriminante se puso a prueba con los datos de 2017 (12 observaciones equidistribuidas en los 3 hábitats). La matriz de confusión arrojó una precisión global de 67%, quedando la ambigüedad expresada en la clasificación del hábitat orgánico. El coeficiente Kappa fue 0,5 (concordancia moderada entre lo observado y lo predicho). La tasa exitosa de clasificación del 67% es significativa ($p < 0,01$) cuando se contrasta con la distribución estadística al azar según el modelo nulo.

DISCUSIÓN

Los hábitats aquí delimitados reflejan diferencias en las condiciones energéticas del flujo, la provisión de recursos alimentarios y oportunidades para el refugio y condiciones de apoyo sobre el sustrato (residencia pasiva). Los resultados sugieren que los taxones se separan por ambiente según el tamaño, lo cual puede ser indicativo de que los diferentes estados del ciclo de vida no compiten por el nicho ecológico a medida que el organismo progresa en su ciclo de vida (Dijkstra *et al.*, 2014). Contrariamente a lo esperado, no prevalecen los trituradores en hojarasca sino organismos de mayor talla y hábito depredador. Como era de esperar, las formas nadadoras y cilíndricas habitaron los ambientes poco energéticos, mientras que los aplanados y provistos de especializaciones para contrarrestar el arrastre se encontraron en corredera. El tipo alimentario colector se encontró en ambientes someros

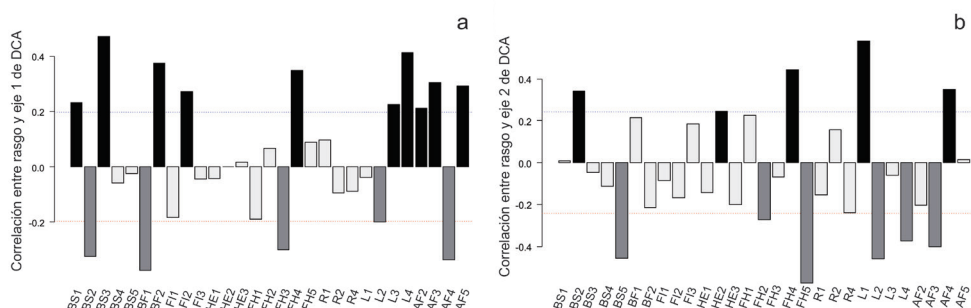


Figura 2. Asociación entre modalidades de los rasgos y ejes del DCA. (a) Correlación entre afinidad de los sitios hacia rasgos y sus scores a lo largo del eje 1. (b) Correlación entre afinidad de los sitios hacia rasgos y sus scores a lo largo del eje 2. Las líneas punteadas representan el valor promedio que sirve de umbral para aislar las contribuciones más relevantes en la composición de los ejes. De negro, rasgos que se expresan con mayor frecuencia hacia el dominio positivo de un eje; de gris oscuro, al revés. El perfil de correlaciones en (a) sirve para describir la oposición entre corredera y somero, mientras que la oposición entre orgánico y el resto se destaca en (b).

Figure 2. Association between modalities of the traits and axes of the DCA. (a) Correlation between affinity of sites for traits and their scores along axis 1. (b) Correlation between affinity of sites for traits and their scores along axis 2. The dotted lines represent the average value that it serves as a threshold to isolate the most relevant contributions in the composition of the axes. In black, traits that are expressed more frequently towards the positive domain of one axis; dark grey, reversed. The correlation profile in (a) serves to describe the opposition between corredera and shallow, while the opposition between organic and the rest is highlighted in (b).

y los raspadores de algas que crecen sobre superficies rocosas, en corredera. Se ha logrado predecir el tipo de ambiente conociendo el perfil de ocurrencia de rasgos en un sitio. Se predice que, al cambiar la disponibilidad de hábitat según el ciclo hidrológico, cambiará la representatividad de los rasgos asociados. Este conocimiento contribuye a una mejor valoración de la composición y funcionamiento de los arroyos de estratos superiores de las Yungas.

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto de la unidad ejecutora del IBN PUE 099, por la financiación en las salidas de campo. A los guardaparques de Parques Nacionales de Argentina de la Reserva Hídrica Finca de las Costas y Parque Aconquija y a la reserva privada Ecoportal de Piedra, por su apoyo logístico y en campo durante el trabajo allí realizado.

REFERENCIAS

- Chevenet, F, S Dolédec & Chessel, D. (1994). A fuzzy coding approach for the analysis of long-term ecological data. *Freshwater Biology*, 31:295-309.
- Chessel, D., Dufour, A. B., & Thioulouse, J. (2004). The ade4 package-I-One-table methods. *R news*, 4(1), 5-10.
- Dijkstra, K. D. B., Monaghan, M. T., & Pauls, S. U. (2014). Freshwater biodiversity and insect diversification. *Annual review of entomology*, 59, 143. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011613-161958>
- McHugh, M. L. (2012). Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochemia medica*, 22(3), 276-282. <https://hrcak.srce.hr/89395>
- Reynaga, M. C., & Dos Santos, D. A. (2012). Rasgos biológicos de macroinvertebrados de ríos subtropicales: patrones de variación a lo largo de gradientes ambientales espacio-temporales. *Ecología austral*, 22(2), 112-120. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1667-782X2012000200004&script=sci_arttext&lng=pt
- Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M., & Usseglio-Polatera, P. (2002). *Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie* (Vol. 15). Paris: CNRS éditions.
- <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1994.tb01742.x>