



ARTÍCULO ORIGINAL

## Uso de suelo y su influencia en la calidad del agua de la microcuenca El Sapanal, Ecuador

*Soil use and its influence on the water quality of the El Sapanal micro watershed, Ecuador*

Norma María Guerrero Chuez<sup>1</sup>, Mariela Alexi Díaz Ponce<sup>1</sup>, Juan Pablo Urdanigo Zambrano<sup>1</sup>, Cecilia Carolina Tayhing Cajas<sup>1</sup>, Raquel Verónica Guerrero Chuez<sup>2</sup> y Ángel Joel Yepez Rosado<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Av. Quito km. 1½ vía a Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Pecuarias, Finca Experimental "La María", Universidad Técnica Estatal de Quevedo

\* Autor para correspondencia:  
[nguerrero@uteq.edu.ec](mailto:nguerrero@uteq.edu.ec)

### RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar la calidad de agua a partir de la evaluación del efecto en el cambio del uso de suelo, basadas en el estudio de la dinámica de los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, en la microcuenca "El Sapanal". Se realizó una descripción y levantamiento de áreas con distintos usos de suelo (pastizal, bosque secundario y cultivos agrícolas) mediante la observación directa, recopilación de datos de campo tomados con GPS, y aplicación del programa AutoCAD Map3D. Se tomaron muestras de macroinvertebrados acuáticos con una red tipo "D" en diferentes tipos de hábitat, para su identificación por medio de estereoscopios hasta nivel de familia. Los macroinvertebrados identificados fueron utilizados en el índice *Biological Monitoring Working Party* modificado para Costa Rica (BMWP-Cr). El índice mostró que el uso de suelo del bosque posee aguas de calidad excelente, a diferencia del uso de suelo agrícola y pastizal con aguas de calidad regular. Esto demuestra que la reducción de la franja ribereña contribuye a la degradación del hábitat interior y de la calidad del agua de la microcuenca.

**Palabras clave:** Macroinvertebrados acuáticos, bioindicador, calidad del agua, contaminación, Índice BMWP-Cr

### ABSTRACT

The objective of this research was to determine the water quality from the evaluation of the effect on the change of the soil use, based on the study of aquatic macroinvertebrate dynamics as bioindicators, in the "El Sapanal" microbasin. A description and survey of areas with different soil uses (pasture, secondary forest and agricultural crops) was carried out by direct observation, field data collection using GPS, and applying AutoCAD Map 3D. Samples of aquatic macroinvertebrates was taken with a D type net in different habitat types, and identified up to the family level, using stereoscopic microscopy. The identified macroinvertebrates were used in the modified Biological

Recibido: 2016-10-29

Aceptado: 2017-01-08

Monitoring Working Party index for Costa Rica (BMWP-Cr). The index showed that the use of forest soil has excellent water quality, unlike the use of agricultural land and pasture with regular quality water. This shows that the reduction of the riparian strip contributes to the degradation of the interior habitat and the water quality of the micro watershed.

**Keywords:** Aquatic macroinvertebrates, bioindicator, water quality, pollution, BMWP-Cr Index

## INTRODUCCIÓN

La cuenca hidrográfica es una unidad morfológica integral, así como de planificación territorial en la gestión de los recursos hídricos. El sistema integra diversos componentes: físicos, biológicos y antropogénicos, elementos que determinan un mosaico de distintas clases de uso/cobertura de suelo, tales como bosques, pastizales, humedales, zonas agrícolas y áreas urbanas (Peña, Escalona, Pincheira, & Rebolledo, 2011). A nivel de cuenca, la vegetación cumple con un gran número de funciones que ayudan a mantener la estabilidad y el correcto funcionamiento del intercambio de materia y energía cuenca arriba-cuenca abajo. La pérdida y degradación de la vegetación natural, así como la velocidad a la que están ocurriendo dichos cambios, compromete los servicios ecosistémicos en las cuencas, como la estabilización del suelo, la regulación del volumen y periodicidad de los caudales y la purificación e infiltración del agua (Cuevas *et al.*, 2010).

Los contaminantes de los sistemas acuáticos provocan una serie de modificaciones y alteraciones físico-químico en el agua, lo cual repercute en la composición, distribución y estructura de las comunidades que sirven como indicadores biológicos (Abarca, 2007). Por su parte Auquilla (2005) considera a los macroinvertebrados como indicadores debido a que su período de vida es lo suficientemente largo para mostrar cómo son afectados por la presencia de agentes contaminantes, además de que pueden orientar sobre las causas de contaminación de la zona de muestreo. Estos organismos son relativamente inmóviles y fáciles de coleccionar; y tienden a formar comunidades características que se asocian con condiciones físicas y químicas (Roldán, 1988).

De acuerdo a Meza *et al.* (2012), en un estudio de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos utilizados como bioindicadores de calidad del agua, mostraron que las zonas provistas de vegetación ribereña presentan mejor estado de calidad del agua que las zonas sin vegetación. Por otra parte Cárdenas *et al.* (2007) en un estudio realizado en la subcuenca del

río Bul Bul en Nicaragua, mencionan que los usos de suelo con mayor densidad de árboles y menor intervención del hombre mejoran el hábitat acuático albergando mayor diversidad de especies indicadoras de buena calidad de agua.

La microcuenca "El Sapanal", en Ecuador, por su ubicación e importancia hídrica, presta beneficios directos como la dotación de agua para el consumo humano a más de 2000 familias de 32 comunas de la Junta de Agua Potable y Alcantarillado del Sistema Regional Chipe Hamburgo, así como también indirectos como el refugio de especies del bosque tropical, la regulación del microclima y ciclo hidrológico, y captación de CO<sub>2</sub>. Además, tiene un alto potencial ecoturístico aprovechado principalmente para la recreación familiar. La deforestación y la degradación de suelo forestal son de los mayores problemas que enfrenta la zona de la microcuenca "El Sapanal", cuyas consecuencias son la erosión, sedimentación, disminución en la captación de agua y recarga de mantos acuíferos, reducción del potencial productivo por la pérdida paulatina de fertilidad de suelos, y los impactos negativos en la biodiversidad. Todo esto sumado al excesivo uso de agroquímicos como pesticidas y fertilizantes que causan daño a las personas, a la fauna, y a los ecosistemas acuáticos.

Por todo lo anterior, el objetivo de este estudio fue caracterizar el uso de suelo y evaluar su influencia en la calidad de agua en la microcuenca "El Sapanal", Ecuador, por medio de la descripción de la dinámica de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. Con base a la información obtenida se podrían ejecutar alternativas de manejo por la población asentada en el lugar, para la conservación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La microcuenca "El Sapanal" posee 675,35 ha, y se encuentra ubicada en la parroquia Estero Hondo del cantón Pangua, provincia de Cotopaxi, Ecuador (entre

las latitudes 00°59'21" – 01°01'30" y las longitudes 79°14'40" – 79°13'12"). El clima es húmedo tropical y la zona baja va desde los 100 a 500 msnm, con una temperatura promedio de 23,0°C a 25,0°C y una precipitación promedio de 2500 mm. Además, su relieve está marcado por terrenos ondulados, con pendientes moderadas. Mientras que la zona media, se encuentra marcada por una altitud que va desde los 500 a los 1000 msnm. Esta zona posee precipitaciones promedio de 2000 mm y una temperatura que oscila entre el 18°C y 22°C, con suelos que tienen pendientes que van desde del 20 al 50 %, con procesos de erosión no muy marcados (Bajaña, 2010).

En la microcuenca se encuentran remanentes de formaciones boscosas pertenecientes al bosque húmedo tropical influenciadas por la Cordillera de los Andes. Además, existen diferentes usos de suelo donde predomina el pastizal ocupado por *Penisetum* (pasto). Otros usos de suelo presentes son la agricultura, dedicada al cultivo de *Manihot esculenta* (yuca), y *Theobroma cacao* (cacao), y las plantaciones forestales de *Ochroma pyramidale* (Balsa).

### Caracterización de los usos de suelo

Para establecer las categorías de uso de suelo se realizó una descripción y levantamiento de áreas con distintos usos de suelo (pastizal, bosque secundario y cultivos agrícolas) mediante la observación directa y recopilación de datos de campo tomados con GPS diferencial, debido a que el área de investigación estuvo ubicada en una zona nubosa imposibilitando el uso de otras herramientas e imágenes satelitales. Se empleó cartografía temática en formato .shp escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar del Ecuador correspondiente a las cartas topográficas: La Mana N III-F4-3791-II y El Corazón N IV-B2-3790-I. El mapa te-



**Figura 1:** Mapa de uso actual de suelo de la microcuenca "El Sapanal", provincia Cotopaxi, Ecuador (Fuente: Guerrero, 2014).

Figure 1: Current land use map in micro watershed "El Sapanal" Cotopaxi province, Ecuador (Source: Guerrero, 2014).

mático de uso actual de suelo fue elaborado con el programa AutoCAD Map 3D 2014 (Autodesk, 2014) aplicando las técnicas de geoprocetamiento.

### Monitoreo de macroinvertebrados acuáticos

Se establecieron cuatro puntos de monitoreo de macroinvertebrados acuáticos por cada categoría de uso de suelo (12 muestras), el mismo que se realizó mensualmente durante la época seca (septiembre a diciembre de 2014) debido a la facilidad de acceso al arroyo "El Sapanal". Para la colecta se utilizó la red de mano tipo "D" de 350 cm<sup>2</sup>, con un intervalo de 2 h para cada unidad de muestreo.

**Tabla 1:** Nivel de calidad del agua en función del puntaje total obtenido aplicando el índice BMWP-Cr. (MINAE, 2007).

Table 1: Water quality level as function of total score obtained by using BMWP-Cr index. (MINAE, 2007).

NIVEL DE CALIDAD	BMWP-Cr	Color Representativo
Aguas de calidad excelente	> 120	Azul
Aguas de calidad buena, no contaminadas alteradas de manera sensible	101-119	Azul
Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada	61-100	Verde
Aguas de calidad mala, contaminadas	36-60	Amarillo
Agua de calidad mala, muy contaminadas	16-35	Naranja
Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas	< 15	Rojo

La zona de biomonitoreo incluyó diferentes tipos de hábitat como: vegetación emergente, empaques de hojas, madera sumergida y microhábitat como: pozas, y rápidos (Alba-Tercedor, 1996).

Las muestras extraídas se preservaron en alcohol al 70 %. La identificación, hasta el nivel de familia, se llevó a cabo con un microscopio estereoscópico y las claves taxonómicas de Domínguez y Fernández (2009).

### Efecto de los usos de suelo sobre la calidad del agua

Para determinar el efecto de los distintos usos de suelo sobre la calidad del agua se utilizó el Índice Biológico Monitoring Working Party (BMWP-Cr), modificado para Costa Rica (MINAE, 2007), medido en cada unidad de muestreo. El índice obtiene valores comprendidos entre 0 y un máximo que, no suele superar 200. De acuerdo al puntaje se establecen seis niveles de calidad de agua, cuyas características se especifican en la tabla 1.

### Diseño estadístico

El análisis de datos se realizó mediante análisis de varianza (ANOVA). Para la prueba de separación de medias se aplicó la Prueba de Tukey al 5% de probabilidad entre los puntos de muestreo de la zona de estudio con el uso del software STATISTICA versión 8.0 (StatSoft, 2007). En cuanto a la estimación de la diversidad de las familias de macroinvertebrados bentónicos se utilizó el índice de equidad de Shannon—Wiener (Moreno, 2001).

Posteriormente se analizó la composición de las familias de macroinvertebrados encontradas en los puntos de muestreo con un análisis de agrupamiento, con el índice de Jaccard. Por otra parte, para la variable de respuesta del índice BMWP- Cr, se empleó un diseño estratificado con tres tratamientos (categorías de uso de suelo) y cuatro repeticiones (puntos de muestreo)

## RESULTADOS

### Uso de suelo actual de la microcuenca “El Sapanal”

El uso actual del suelo en la microcuenca “El Sapanal” está conformado principalmente por un área de pastizal que abarca los 287,907 ha (Fig. 1), ocupado por *Pennisetum ssp* (pasto), presente en la parte central, sureste y suroeste del área de estudio. Los habitantes de la zona realizan esta práctica desde hace más de

una década ejecutando prácticas de manejo como la rotación de áreas de pastoreo, aplicación de herbicidas, siembra de plantas forrajeras, en algunos casos quema de vegetación y control manual de malezas. En cuanto al consumo de agua por el ganado en su mayoría lo toman directamente del arroyo, por lo que no cuentan con otro tipo de método, que abastezca al ganado del líquido vital. Mientras, el bosque secundario ocupa un total de 197,332 ha, con formaciones boscosas ocupados en su mayoría por *Guarea* sp (manzano colorado), *Grias* sp. (membrillo) *Aspidosperma* sp, *Carica* sp, y *Pouteria caimito* (cauje). Actualmente la población en general utiliza estos espacios como sitios de recreación, al igual que las cascadas de la microcuenca.

Finalmente, el uso de suelo agrícola ocupó 177,561 ha del área de la microcuenca, dedicada al cultivo de *Manihot esculenta* (yuca), *Theobroma cacao* (cacao), especies frutales como: *Carica papaya* (papaya), *Citrus sinensis* (naranja), *Citrus reticulata* (mandarina), *Psidium* (guayaba), *Citrus citrus* (limón) y plantaciones forestales de *Ochroma pyramidale* (balsa). Por su parte, los pobladores utilizan técnicas manuales para preparar el terreno razón por la cual no utilizan ningún tipo de mecanización del suelo. En cuanto a los insumos utilizados se destacan los fertilizantes químicos, abonos orgánicos que también los combinan con diferentes técnicas de conservación de suelo como cortinas rompe viento, barreras orgánicas contra pendientes y abonos verdes.

### Entomofauna acuática

A partir de la identificación de las familias de macroinvertebrados dentro de la microcuenca “El Sapanal” durante la época seca (septiembre a diciembre) en los diferentes usos de suelo cultivos agrícolas, pastizal y bosque se determinó que los órdenes con mayor abundancia fueron: Trichoptera familia Hydropsychidae (47) y Leptoceridae (38), seguido del orden Coleoptera correspondiente a la familia Elmidae (47), y el orden Hemiptera, familia Naucoridae (41). Algo similar fue reportado por Yong (2015), en tres sitios de estudio, ubicados en el Bosque Protector Murocomba en la provincia de Los Ríos del Ecuador, donde se obtuvo como más abundante a las familias Hydropsychidae con 632, y Elmidae con 500 respectivamente. Los órdenes menos abundantes fueron Lepidoptera, familia Pyralidae (7) y el orden Diptera familia Stratiomyidae (12).

Se colectaron en total 8224 individuos distribuidos en 32 familias y 10 ordenes (Anexo 1) siendo las familias más representativas en función al total del número de individuos dentro de los diferentes usos de suelo *Hydropsychidae* con 1388 individuos seguido de *Elmidae* con 1085 y *Leptoceridae* con 865 individuos respectivamente. Las familias que registraron menor número de individuos fueron *Pyralidae* con 17 y *Stratiomyidae* con 23 individuos.

Duarte (2014), menciona que la familia *Hydropsychidae* es una de las dominantes en aguas corrientes, tanto por su número, como por su diversidad, dada su capacidad para colonizar diferentes tipos de sustratos (roca, arena, grava, hojarasca) además afirma que posee una capacidad para tolerar diferentes tipos de ambientes, desde aguas completamente limpias hasta aguas con algún grado de intervención antrópica.

Los macroinvertebrados dulceacuícolas son un eslabón importante en la estructura trófica de los ambientes acuáticos por participar activamente en el reciclamiento de los nutrientes. Las proporciones encontradas de cada grupo funcional están en relación a la disponibilidad de los recursos (Peralta et al., 2007).

Los puntos de monitoreo por mes y uso de suelo que mostraron mayor número de individuos fueron de bosque tanto para octubre-4 con 467 individuos seguido de octubre-2 con 453 individuos, como para diciembre-1 con 435 individuos. Los puntos que presentaron menor número de individuos se concentraron en el uso de suelo agrícola, octubre-4 con 15 individuos y octubre-3 con 16 individuos respectivamente, coincidiendo con Alonso (2006), quien explica que la ausencia de la vegetación ribereña empobrece la composición de macroinvertebrados bentónicos.

#### Índice de Shannon-Wiener

El uso de suelo bosque presentó el mayor número de familias dentro de los meses de septiembre (25),

octubre (25), noviembre (25) y diciembre (28) a diferencia de cultivos agrícolas generándose un menor número de familias para el mes de noviembre (18) (Tabla 2). De igual forma, el bosque mostró una alta cantidad de individuos durante todos los meses de muestreo septiembre (386.25), octubre (438), noviembre (391) y diciembre (397) mientras que el sitio cultivos agrícolas mostró un menor número de individuos para el mes de octubre (25,25).

Por otra parte el índice de diversidad de Shannon mostró que el uso de suelo por pastizal presentó una diversidad baja (2,32), indicando que el sistema acuático presenta tensión por actividades antrópicas, esto se atribuye posiblemente a la poca vegetación marginal y por ende al deficiente aporte de hojarasca por parte de la vegetación ribereña y en algunos de los sitios nula. Algo similar fue reportado por Yong (2015), el mismo que obtuvo un rango de 2,2 a 2,3 para el índice de Shannon-Wiener en los arroyos La Victoria, La Damita y El Congo ubicados en el bosque protector Murocomba en Ecuador. De acuerdo a trabajos realizados por Rúa y Roldán (2008), la vegetación ribereña aporta recurso alimenticio, que determina la disponibilidad de nutrientes, afectando la abundancia y diversidad de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.

El cambio de bosques nativos a pastizal afecta las cuencas de drenaje, lo cual repercute en los organismos acuáticos de cada río, además la ganadería provoca disminución de la vegetación ribereña, lo que ocasiona pérdida de protección por sombreado y aporte de materia orgánica gruesa (Kutschker et al., 2009).

Contrariamente los usos de suelo por cultivos agrícolas (2,69) y bosque (2,83), difieren notablemente indicando que en estos sitios existe una alta diversidad en las familias de macroinvertebrados debido a la combinación de sustrato de rocas con vegetación ribereña de bosque y cultivos perennes como el de ca-

**Tabla 2:** Familias, número de individuos e Índices de diversidad entre los diferentes usos de suelo y meses de muestreo de macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca "El Sapanal", provincia Cotopaxi, Ecuador

Table 2: Families, number of individuals and diversity indexes among land uses and sampling month of aquatic macroinvertebrates in microcuenca "El Sapanal", Cotopaxi province, Ecuador.

ÍNDICE	CULTIVO AGRÍCOLA				BOSQUE				PASTIZAL			
	Sep	Oct	Nov	Dic	Sept	Oct	Nov	Dic	Sept	Oct	Nov	Dic
Riqueza de taxos	22	26	18	19	25	25	25	28	21	23	22	22
No. de individuos	40	25.25	26.5	29.25	386.25	438	391	397	105.5	72.5	73.25	70.5
Índice H	2.65	2.90	2.54	2.70	2.68	2.83	2.85	2.95	2.21	2.18	2.35	2.54

cao aportando mayor cantidad de hojarasca. Según Meza *et al.* (2012) los fondos arenosos tanto en sistemas lóticos como lénticos albergan pocas especies, con pocos individuos por especie. Los fondos pedregosos suelen ser más ricos, en especial cuando las rocas son grandes y cuando hay vegetación ribereña la fauna es aún más diversa. Además, argumentan que los sustratos dominados por hojarasca brindan una mayor disponibilidad de recursos, por lo que además de presentar una alta riqueza de especies permiten sostener una mayor densidad de organismos.

### Índice de Similitud de Jaccard

Existen diferencias en el porcentaje de similitud de las familias encontradas entre los meses de muestreo de los diferentes usos de suelo, obteniendo como resultado que los puntos de muestreo cultivo agrícola septiembre y noviembre (0,379) seguido de cultivo agrícola noviembre y bosque septiembre (0,387) presentaron menor similitud entre los sitios en función de las familias de macroinvertebrados encontradas debido posiblemente a las condiciones ambientales de los sitios durante los meses de muestreo. De acuerdo a Kutschker *et al.* (2009), las alteraciones físicas a nivel de cuenca, influyen en la dinámica de las comunidades acuáticas, y en el equilibrio natural de los cuerpos de agua.

A diferencia de los puntos bosque octubre y noviembre los mismos que presentaron mayor similitud (1) seguidos por bosque octubre y diciembre (0,893) y bosque noviembre y diciembre (0,893) (Tabla 3), pro-

bablemente se debe a la cercanía entre sitios y las características físico-bióticas similares que poseen presentando un bosque ribereño exuberante con una reducida perturbación. Tal suceso es apoyado por el estudio de Pino y Bernal (2009), realizado en el río Santa María en la provincia de Veraguas, donde encontraron una gran diversidad de insectos en un área bien reforestada.

Según el dendrograma (Fig. 2) se forman cuatro grupos bien diferenciados al 70 % de similitud, estando formado el primero por bosque correspondiente a los meses de septiembre, octubre, noviembre, y diciembre, el segundo por cultivos agrícolas en octubre y septiembre, el tercero por cultivos agrícolas en noviembre y diciembre y finalmente el grupo cuatro integrado por pastizal en todos los meses. Como fue mencionado anteriormente estos resultados se deban posiblemente a las condiciones ambientales y a la influencia de la vegetación ribereña de cada uno de los sitios durante los meses de muestreo.

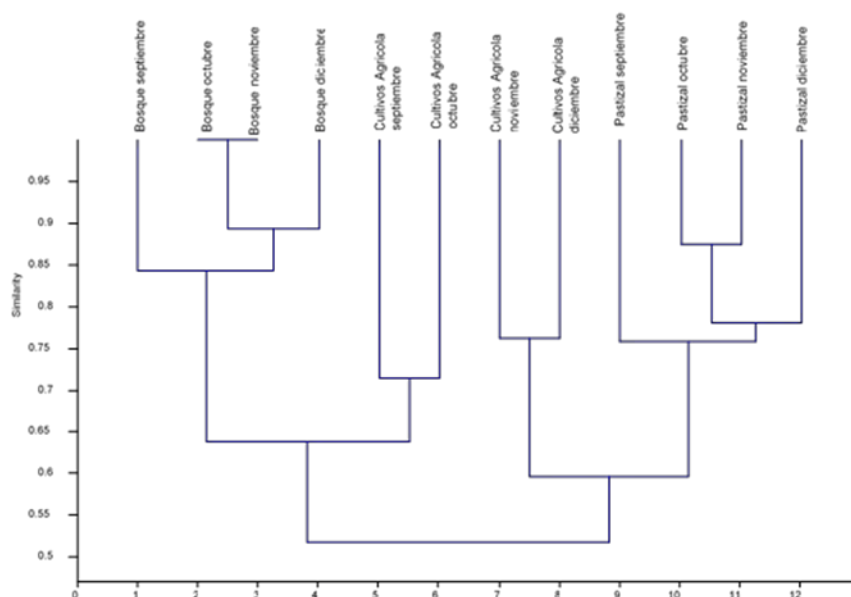
### Índice BMWP-Cr y calidad del agua en los diferentes usos de suelo

Al evaluar la calidad del agua en los diferentes puntos de muestreo y uso de suelo dentro de la microcuenca "El Sapanal" se determinó que al aplicar el Índice BMWP-Cr en cultivos agrícolas y pastizal presentó varios valores en un rango de 36-60, al igual que pastizal lo que corresponde a aguas de calidad mala, contaminadas. Algo similar se dio en un estudio realizado al este de Australia por Kutschker *et al.*, (2009)

**Tabla 3:** Índice de Similitud de Jaccard entre los diferentes uso de suelo y meses de muestreo de macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca "El Sapanal" cantón Pangua, provincia Cotopaxi, Ecuador.

Table 3: Jaccard similarity index among different land uses and sampled months using aquatic macroinvertebrates in micro watershed "El Sapanal", canton Pangua, Cotopaxi province, Ecuador.

		CULTIVO AGRÍCOLA				BOSQUE				PASTIZAL			
		Sept	Oct	Nov	Dic	Sep	Oct	Nov	Dic	Sep	Oct	Nov	Dic
CULTIVO AGRÍCOLA	Septiembre		0.714	0.379	0.414	0.621	0.567	0.567	0.563	0.536	0.552	0.571	0.467
	Octubre			0.571	0.500	0.700	0.700	0.700	0.688	0.621	0.690	0.655	0.655
	Noviembre				0.762	0.387	0.433	0.433	0.438	0.560	0.640	0.600	0.538
	Diciembre					0.419	0.419	0.419	0.469	0.600	0.680	0.577	0.577
BOSQUE	Septiembre						0.852	0.852	0.828	0.438	0.500	0.469	0.516
	Octubre							1.000	0.893	0.533	0.548	0.516	0.567
	Noviembre								0.893	0.533	0.548	0.516	0.567
	Diciembre									0.581	0.594	0.563	0.613
PASTIZAL	Septiembre										0.833	0.720	0.720
	Octubre											0.875	0.800
	Noviembre												0.760
	Diciembre												



**Figura 2:** Análisis de similitud entre los diferentes uso de suelo y meses de muestreo de macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca “El Sapanal” cantón Pangua, Ecuador.

*Figure 2: Cluster analysis by similarities among land uses and sampling month of aquatic macroinvertebrates in micro watershed “El Sapanal”, cantón Pangua, Ecuador.*

donde la ganadería y agricultura conducida con deficientes prácticas de manejo ha generado la degradación de las zonas ribereñas, afectando el hábitat interior de los ríos y la calidad del agua. Además, con la entrada del ganado a las quebradas y ríos para tomar agua y en su paso entre potreros, se genera deterioro de los cauces por pisoteo incrementando la erosión. A esto se agrega el aporte de materia fecal y lixiviación de fertilizantes y pesticidas contribuyendo a deteriorar la calidad del agua (Chará *et al.*, 2006).

De acuerdo a Meza *et al.* (2012), la contaminación agroquímica generada por el uso deficiente de agroquímicos afectan a los recursos hídricos generando una degradación de la calidad del agua, además de un incremento de la carga orgánica y de la sedimentación. Específicamente en la ganadería, especialmente los sistemas tradicionales que emplean sistemas sin árboles y un alto uso de insumos externos, se provoca la degradación de las pasturas y de los suelos.

El uso de suelo bosque presentó valores mayores a 120 correspondientes a agua de calidad excelente (tabla 4). Estos resultados posiblemente se deban al hecho de poseer una alta diversidad y abundancia de familias de macroinvertebrados que solo habitan en lugares de buena condición ecológica como la familia

Perlidae del orden Plecóptera. Estos organismos sólo se pueden encontrar en un hábitat libre de alguna contaminación, pues son muy susceptibles al deterioro de un ecosistema acuático (Pino y Bernal, 2009). Esto expresa la interacción existente entre el ecosistema terrestre y acuático, siendo la vegetación ribereña la que conecta ambos ambientes siendo elemento importante para la conservación ecológica de los ríos (Kutschker *et al.*, 2009).

Según el análisis de varianza existen diferencias significativas entre los usos de suelo, que podrían ser atribuidas a las condiciones particulares de cada hábitat, sean estos lénticos o lóticos, presentes en los diferentes usos de suelo, todo esto sumado a las actividades antropogénicas que se realizan a las orillas del arroyo “El Sapanal” (Tabla 5). Según estudios realizados por Guevara (2011), los cambios en el ambiente de la zona ribereña, influyen en la diversidad, distribución, riqueza y abundancia de los macroinvertebrados acuáticos. Por otra parte no existieron diferencias significativas entre los meses de evaluación debido a la similitud de macroinvertebrados acuáticos presentes por cada uso de suelo.

Hubo diferencias significativas entre las diferentes uso de suelo, para el Índice BMWP-Cr, difiriendo el



**Tabla 4:** Nivel de calidad del agua en los diferentes usos de suelo de la microcuenca “El Sapanal” cantón Pangua durante los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre.

Table 4: Water quality level in different land uses at the micro watershed “El Sapanal” cantón Pangua, during september, october, november and december.

Uso de Suelo	Meses/ Repeticiones	BMWP-Cr	Nivel de Calidad
Cultivos Agrícolas	Septiembre	1 84	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		2 55	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		3 70	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		4 65	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
	Octubre	1 95	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		2 77	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		3 49	Aguas de calidad mala, contaminadas
		4 45	Aguas de calidad mala, contaminadas
	Noviembre	1 64	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		2 35	Aguas de calidad mala, contaminadas
		3 64	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		4 36	Aguas de calidad mala, contaminadas
	Diciembre	1 71	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		2 49	Aguas de calidad mala, contaminadas
		3 73	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		4 57	Aguas de calidad mala, contaminadas
Pastizal	Septiembre	1 62	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		2 59	Aguas de calidad mala, contaminadas
		3 70	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		4 79	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
	Octubre	1 76	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		2 61	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		3 79	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		4 49	Aguas de calidad mala, contaminadas
	Noviembre	1 82	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		2 56	Aguas de calidad mala, contaminadas
		3 87	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		4 66	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
	Diciembre	1 65	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		2 66	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		3 70	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		4 79	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
Bosque	Septiembre	1 116	Aguas de calidad buena, no contaminadas alteradas de manera sensible
		2 106	Aguas de calidad buena, no contaminadas alteradas de manera sensible
		3 117	Aguas de calidad buena, no contaminadas alteradas de manera sensible
		4 112	Aguas de calidad buena, no contaminadas alteradas de manera sensible
	Octubre	1 123	Aguas de calidad excelente
		2 142	Aguas de calidad excelente
		3 121	Aguas de calidad excelente
		4 139	Aguas de calidad excelente
	Noviembre	1 144	Aguas de calidad excelente
		2 137	Aguas de calidad excelente
		3 135	Aguas de calidad excelente
		4 146	Aguas de calidad excelente
	Diciembre	1 158	Aguas de calidad excelente
		2 153	Aguas de calidad excelente
		3 157	Aguas de calidad excelente
		4 160	Aguas de calidad excelente

uso de bosque con 135,3750, del uso de suelo agrícola y pastizal con 61,8125 y 69,1250 respectivamente, sin diferencias significativas entre sí, según la prueba de Tukey. De acuerdo al nivel de calidad del agua, la interpretación para el promedio del Índice BMWP-Cr

en uso de suelo bosque (135,37) es que posee aguas de calidad excelente, a diferencia del uso de suelo agrícola (61,81) y pastizal (69,12) los cuales presentaron aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada (Tabla 6). Algunos autores mencionan el



**Tabla 5:** Análisis de Varianza (ANOVA) del Índice BMWP-Cr en los puntos de muestreo de los diferentes usos de suelo en la microcuenca El Sapanal, provincia Cotopaxi, Ecuador.*Table 5: Variance analysis (ANOVA) of BMWP-Cr index in sampling sites in micro watershed El Sapanal, Cotopaxi province, Ecuador.*

Fuentes de variación	Grados de Libertad	BMWP-Cr SS	BMWP-Cr MS	BMWP-Cr F	BMWP-Cr P
Intercept	1	378252,5	378252,5	1704,198	0,000000
Tratamiento	2	52554,5	26277,3	118,391	0,000000
Bloque	3	1149,9	383,3	1,727	0,176067
Error	42	9322	222		
Total	47	63026,5			

Nota: SS: Suma de cuadrados; MS: Cuadrados medios; F: F calculada; P: Probabilidad.

impacto que tienen las actividades agropecuarias en las cuencas hídricas y la importancia del bosque ribereño como zona de amortiguamiento, ya que reduce la escorrentía, estabiliza los suelos, y atrapa los contaminantes provenientes de cultivos y suelos descubiertos protegiendo los cuerpos de agua (Meza *et al.*, 2012)

Se concluye que la contaminación del agua y las alteraciones en la dinámica de los macroinvertebrados acuáticos de la cuenca “El Sapanal” están asociadas en forma directa a los cambios en el ecosistema natural cuando el uso del suelo es transformado por el hombre. El uso de macroinvertebrados para el establecimiento de los efectos causados por los distintos usos de suelo sobre la calidad del agua, indicó que, la cantidad de individuos y familias tuvo diferencias en cada una de las zonas de colecta, siendo más abundantes y diversos en la zona de bosque secundario. Cabe indicar que la modificación en el sistema ya sea por causas humanas o ambientales, repercute en las especies que se encuentran en un punto y momento dado. Esto genera un proceso de adaptación a dichos cambios, lo que genera la desaparición de ciertos grupos por su intolerancia y el aumento de otros.

**Tabla 6:** Prueba de Tukey del Índice BMWP-Cr para los usos de suelo de la microcuenca “El Sapanal”, Cantón Pangua, Ecuador.*Table 6: Tukey test for BMWP-Cr indexes in land uses of micro watershed “El Sapanal”, Canton Pangua, Ecuador.*

Nº	Tratamiento	BMWP-Cr Media
1	C. Agrícola	61,8125 b
2	Pastizal	69,125 b
3	Bosque	135,375 a

La calidad del agua, estimada mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos, tuvo alteraciones negativas importantes debido al uso de suelo, factor principal que influye en la vulnerabilidad del recurso. La aplicación del Índice BMWP-Cr, proporcionó información rápida sobre el estado del ecosistema acuático y los factores que lo perturban; por su parte este mostró, que en los sitios de muestreo ubicados en el uso de suelo bosque poseen aguas de calidad excelente, mientras que el uso de suelo agrícola y pastizal presentaron aguas de calidad regular, eutrofizadas, contaminación moderada.

Esto se atribuye posiblemente a la disminución de la franja ribereña en la microcuenca y al incremento del área agrícola o de pastura, con el consecuente acceso de los animales al cauce, lo que aumenta el aporte de materia contaminante.

Los resultados indican que la cuenca “El Sapanal” presenta degradación y deterioro de sus recursos naturales, pero esta situación no es crítica aún, por lo tanto, es posible desarrollar acciones de conservación, protección y de recuperación, para controlar y mitigar los efectos mediante la ejecución de acciones a corto, mediano y largo plazo, basados en un ordenamiento territorial que respeta los principios de la sustentabilidad.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan sus agradecimientos a la Universidad de Geisenheim y al Departamento Federal de Investigación y Educación (BMBF) de Alemania por la financiación brindada para el proyecto “Biodiversidad, bioseguridad y biotecnología para la protección de plantas en ecosistemas amigables y sostenibles en Cuba”, según BMBF subvención 01DN14020.

## LITERATURA CITADA

- Abarca, H. (2007). El uso de macroinvertebrados como bioindicadores de la Calidad del Agua. *Revista Biocenosis*, 20(10): 95–104.
- Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. In *IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA) Almería (II)*: 203–213
- Alonso, A. (2006). Valoración del efecto de la degradación ambiental sobre los macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares. *Revista Científica de Ecología Y Medio Ambiente*. <http://www.redalyc.org/pdf/540/54015213.pdf>
- Auquilla, R. C. (2005). *Uso del suelo y calidad del agua en quebradas de fincas con sistemas silvopastoriles en la subcuenca del Río Jabonal, Costa Rica*. Catie Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Bajaña, L. S. (2010). *Influencia del proceso de colonización en la capacidad de retención y abastecimiento de agua en la microcuenca "El Sapanal". Cantón Pangua, provincia de Cotacachi*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Cárdenas, A., B. Reyes, M. López, A. Woo, E. Ramírez y M. Ibrahim (2007). Biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos y la calidad del agua en la subcuenca de los ríos Bul Bul y Paiwas, Matiguás, Nicaragua. *Encuentro*, (77), 83–93.
- Chará, J., G. Pedraza, L. Giraldo, y D. Hincapié (2006). Efecto de los corredores ribereños sobre el estado de quebradas en la zona ganadera del río La Vieja, Colombia. *Agroforestería en Las Américas*, (45): 72–78.
- Cuevas, M., A. Garrido, J. Perez y D. Iura (2010). Procesos de cambio de uso de suelo y degradación de la vegetación natural. *Las Cuencas Hidrográficas de México. Diagnóstico Y Priorización*, 96–103.
- Duarte, E. (2014). *Análisis faunístico de las larvas de insectos del orden Trichoptera en la cuenca del río Alvarado, Departamento del Tolima*. [Doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004](https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004)
- Guevara, M. (2011). Insectos acuáticos y calidad del agua en la cuenca y embalse del río Peñas Blancas, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 59(2): 635–654.
- Kutschker, A., C. Brand y M. L. Miserendino (2009). Evaluación de la calidad de los bosques de ribera en ríos del No del Chubut sometidos a distintos usos de la tierra. *Ecología Austral*, 19(1): 19–34
- Meza, A. M., J. Rubio, L. Días y J. Walteros (2012). Calidad del agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. *Caldasia*, 34(2), 443–456.
- MINAE. (2007). *Reglamento para la evaluación y clasificación de cuerpos de agua superficiales. Apéndice III: El Índice BMWP-CR. La Gaceta Digital, Diario Oficial. San José de Costa Rica* (178).
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. *M&T - Manuales y Tesis SEA*, 1, 84. [Doi.org/10.1371/journal.pone.0103709](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103709)
- Peña, F., Escalona, M., Pincheira, J., & Rebolledo, G. (2011). Cambio de uso del suelo en los geosistemas de la cuenca costera del río Boroa (Chile) entre 1994 y 2004 Land use change in the geosystem coastal basin of the Boroa river (Chile) between 1994 and 2004. *FCA ANCUYO* 43(2): 1–20.
- Peralta, L., C. Deloya y P. Moreno (2007). Insectos acuáticos asociados a lagos interdunarios de la región central del Estado de Veracruz, México. *Neotropical Entomology* 342–355.
- Pino, R., y J. Bernal (2009). Diversidad, distribución de la comunidad de insectos acuáticos y calidad del agua de la parte alta-media del río David, provincia de Chiriquí, República de Panamá. *Gestión y Ambiente*, (3), 73–84
- Rúa, J., y G. Roldán (2008). Estudio de emergencia de insectos acuáticos en las zonas de bosque ripario, bosque plantado y pastos, abejorral (Antioquia, Colombia). *Rev. Acad. Colomb. Cienc*, 32(122), 105–123
- Yong, R. E. (2015). *Influencia de la cobertura vegetal ribereña sobre los macroinvertebrados acuáticos y la calidad hídrica en ríos del bosque protector Murocomba, cantón Valencia, Ecuador*. De: <http://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/288/1/T-UTEQ-0007.pdf>

• • •

Editor para correspondencia: Dr. Dennis Denis Ávila

**ANEXO:** Distribución de las familias de macroinvertebrados acuáticos, en los diferentes uso de suelo en la microcuenca “El Sapanal” cantón Pangua, Ecuador.

ORDEN	Familia	CULTIVOS AGRICOLAS								BOSQUE								PASTIZAL								Total	
		SEPT		OCT		NOV		DIC		SEP		OCT		NOV		DIC		SEP		OCT		NOV		DIC			
		No. indiv.	Frec.	No. indiv.	Frec.	No. indiv.	Frec.	No. indiv.	Frec.	No. indiv.	Frec.	No. indiv.	Frec.	No. indiv.	Frec.	No. indiv.	Frec.	No. indiv.	Frec.	No. indiv.	Frec.	No. indiv.	Frec.	No. indiv.			
Odonata	Gomphidae	4	2	1	1	1	1	1	1	1	6	2	8	3	13	4	19	4	0	0	2	1	4	2	1	1	60
	Calopterygidae	1	1	2	1	0	0	0	0	38	3	52	4	37	4	37	4	37	4	2	2	2	4	3	1	1	176
	Megapodagrionidae	4	2	1	1	0	0	0	0	16	2	17	3	18	3	21	4	0	0	0	0	3	2	2	1	82	
	Libellulidae	8	3	1	1	0	0	0	0	22	2	32	2	38	4	32	4	0	0	0	0	0	0	0	0	133	
	Coenagrionidae	3	1	1	1	0	0	0	0	45	4	44	4	36	4	32	4	0	0	1	1	1	1	0	0	163	
Ephemeroptera	Baetidae	12	3	3	2	0	0	1	1	83	4	72	4	62	4	49	4	4	1	9	3	0	0	3	2	298	
	Leptohyphidae	19	4	9	3	0	0	0	0	173	4	190	4	137	4	131	4	48	3	0	0	0	0	0	0	707	
	Eutropocidae	0	0	0	0	0	0	0	0	41	4	48	4	40	4	42	4	0	0	0	0	0	0	0	0	172	
	Leptophlebiidae	15	3	1	1	0	0	0	0	63	4	68	4	68	4	72	4	29	3	1	1	6	2	6	2	329	
	Leptoceridae	13	4	3	2	0	0	0	0	129	4	132	4	115	4	130	4	108	4	89	4	90	4	56	4	865	
Trichoptera	Hydropsychidae	31	3	18	4	17	4	17	4	306	4	305	4	263	4	233	4	67	4	51	4	44	4	36	4	1388	
	Philopotamidae	2	1	3	2	0	0	0	0	65	4	82	4	68	4	63	4	0	0	0	0	0	0	0	0	283	
	Hydrobiosidae	6	2	4	2	1	1	0	0	24	3	42	4	34	4	36	4	0	0	3	2	4	3	3	1	147	
	Calamoceratidae	0	0	1	1	2	2	2	2	18	2	30	3	32	4	30	4	10	2	3	2	4	3	3	1	135	
	Helicopsychidae	0	0	2	1	1	1	1	1	70	4	73	4	59	4	60	4	15	3	3	1	0	0	6	1	290	
Hemiptera	Glossosomatidae	0	0	0	0	0	0	0	0	25	3	38	3	43	4	35	4	0	0	0	0	0	0	0	0	141	
	Gerridae	3	1	6	4	8	3	8	4	2	1	18	4	14	4	22	4	1	1	9	3	11	4	24	4	126	
	Naucoridae	3	2	5	3	8	3	11	4	18	4	27	4	33	4	40	4	12	3	8	3	12	3	22	4	199	
	Elmidae	18	4	8	3	14	4	11	4	196	4	208	4	197	4	184	4	87	4	66	4	48	4	48	4	1085	
	Dryopidae	0	0	1	1	3	1	10	4	3	1	22	3	16	2	25	4	0	0	0	0	0	0	0	0	80	
Coleoptera	Philodactylidae	0	0	1	1	3	2	7	3	21	2	50	3	45	3	55	4	8	3	6	3	3	2	5	2	204	
	Psephenidae	2	1	2	1	3	2	7	4	0	0	12	1	10	2	14	3	3	1	4	1	5	1	11	2	73	
	Scirtidae	0	0	0	0	6	3	5	2	0	0	8	1	6	1	13	3	3	2	5	2	7	3	7	3	60	
	Staphylinidae	0	0	0	0	0	0	11	4	0	0	0	0	0	0	2	2	1	7	3	11	2	10	2	43		
	Tipulidae	6	4	7	4	15	4	6	3	3	2	0	0	0	0	0	0	0	3	2	3	3	5	2	2	48	
Diptera	Ceratopogonidae	3	1	3	2	6	3	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	3	1	4	2	2	1	29	
	Chironomidae	4	1	7	4	11	4	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	4	3	13	3	15	4	61	
	Stratiomyidae	3	2	4	3	4	2	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	1	3	1	0	0	23	
	Corydalidae	1	1	0	0	1	1	1	1	75	4	74	4	65	4	83	4	4	2	2	2	1	1	0	0	307	
	Pyrilidae	1	1	0	0	0	0	3	2	5	2	0	0	0	0	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	17	
Plecoptera	Perlidae	2	1	1	1	0	0	0	0	98	4	100	4	115	4	115	4	10	3	7	2	11	3	10	4	469	
	Pachychilidae	0	0	6	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	2	2	3	2	5	1	8	3	31	
	TOTAL	16	4	101	4	106	4	117	4	1545	4	1752	4	1564	4	1588	4	422	4	290	4	293	4	282	4	8224	