

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Evaluación de la calidad de agua de las fuentes  
hidrográficas del Bosque Protector Río Guajalito  
(BPRG) a través de la utilización de  
macroinvertebrados acuáticos, Pichincha, Ecuador.**

D. Carolina Arroyo Jaramillo

**Proyecto Final presentado como requisito para la  
Obtención del título Baccalaureus Scientiae en  
Ecología Aplicada**

Quito, Ecuador  
Abril de 2007

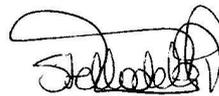
**Universidad San Francisco de Quito  
Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales**

**HOJA DE APROVACION DE PROYECTO FINAL**

**Evaluación de la calidad de agua de las fuentes hidrográficas del Bosque Protector Río Guajalito (BPRG) a través de la utilización de macroinvertebrados acuáticos, Pichincha, Ecuador.**

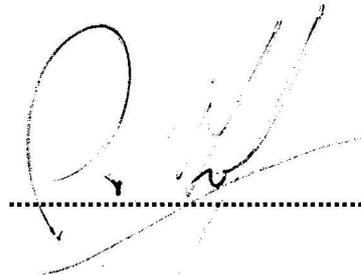
Carolina Arroyo Jaramillo

**Stella de la Torre, Ph. D.**  
Directora de Proyecto



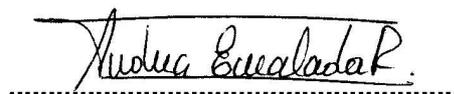
---

**Nelson Zabala, Ph. D.**  
Miembro del comité de Proyecto



---

**Andrea Encalada, Ph. D.**  
Miembro del comité de Proyecto



---

**Hugo Valdebenito, Ph. D.**  
Decano Colegio de Ciencias  
Biológicas y Ambientales



---

Quito, Abril de 2007

© Derechos de autor

Dolores Carolina Arroyo Jaramillo

2007

## Agradecimientos

A mis padres, por su comprensión, cariño, esfuerzo y trabajo. Por ser mi pilar de apoyo e inspiración, por confiar y creer siempre en mí y enseñarme que la perseverancia y el esfuerzo son el camino para lograr objetivos.

A mi directora de proyecto, Stella de la Torre, por su ayuda, guía, paciencia y valiosas sugerencias y acertados aportes.

A Andrea Encalada, por su calidez, paciencia, invaluable ayuda y colaboración. Gracias por su generosidad, por tantos conocimientos brindados y por darme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica.

A Nelson Zabala, por su colaboración, ayuda y consejos desde el desarrollo de este trabajo.

A Vlastimil Zak, por su permanente disposición, desinteresada ayuda, amistad y por dejarme ser parte de Guajalito.

A Carlos Fabara, por su colaboración y facilidades brindadas en el laboratorio de Química de la USFQ.

A Javier Robayo, por su ayuda durante el trabajo de campo, por su constante estímulo, apoyo y compañía en todos los momentos importantes.

A Juan Calles, por su colaboración y paciencia durante el trabajo de laboratorio e identificación de macroinvertebrados.

A mi familia y amigos, por su continuo y afectuoso aliento.

## Resumen

Los macroinvertebrados bentónicos han sido muy utilizados como bioindicadores de la calidad de fuentes de agua. Esto se debe a sus características y requerimientos especiales que hacen a estos organismos muy sensibles a diversos impactos sobre las fuentes hidrográficas, como contaminación orgánica, química, desaparición de vegetación ribereña, entre otros. Se realizó un muestreo de macroinvertebrados bentónicos en los ríos Guajalito, Palmeras y Brincador, los cuales cruzan a través del Bosque Protector Río Guajalito, con el fin de estimar la calidad de las aguas de los mismos. Además se realizó una caracterización física y química para validar la información biológica obtenida. Las estaciones de muestreo se ubicaron en zonas con cobertura vegetal sobre el río y zonas sin cobertura. Las familias más representativas fueron Hydropsychidae, Chironomidae y Helicopsychidae. Se encontraron diferencias en la diversidad de invertebrados bentónicos, además de las puntuaciones de índices biológicos de calidad del agua: BMWP, IBMWP, BMWP/Col e índice de Sensibilidad relacionadas con el impacto humano sobre las cuencas. No existieron diferencias en la abundancia, riqueza y diversidad de macroinvertebrados entre estaciones cubiertas por vegetación y estaciones descubiertas. Índices biológicos diseñados para zonas templadas, como el BMWP e IBMWP calificaron a los ríos estudiados con calidad dudosa y aceptable, mientras que los índices adaptados a zonas tropicales, las calificaron de aceptables y buenas. Las proporciones de grupos funcionales tróficos de macroinvertebrados no presentaron diferencias entre ríos, ni entre estaciones cubiertas y no cubiertas.

## Abstract

In the last years, benthic macroinvertebrates have been used as bioindicators for water quality because of their characteristics and special requirements, which make them very sensitive to diverse impacts on the hydrographic sources, like organic, chemical pollution, riparian forest deforestation, and others. A sampling of macroinvertebrates was carried out at Guajalito, Palmeras and Brincador rivers, that run through the private reserve Bosque Protector Río Guajalito, with the purpose of using macroinvertebrates as bioindicators of water quality. In addition, physical and chemical characterization was made to validate the biological data. The sampling stations were located in zones with riparian forest and in zones without riparian forest. The most representative families of macroinvertebrates were Hydropsychidae, Chironomidae, and Helicopsychidae. There were significant differences of invertebrate diversity and water quality biological indices scores like: BMWP, IBMWP, BMWP/Col and index of Sensitivity, related to human impact on rivers. There were no differences in the abundance and diversity of macroinvertebrates between stations with and without riparian forest. Biological indices of temperate zones like BMWP and IBMWP described the water quality of the studied rivers as doubtful and acceptable, whereas indices adapted to tropical zones described them as acceptable and good. The proportions of functional feeding groups of macroinvertebrates did not show differences between rivers with and without riparian forest.

## Tabla de Contenido

Derechos de autor .....	III
Agradecimientos.....	IV
Resumen .....	V
Abstract .....	VI
Tabla de Contenido .....	VII
Lista de Tablas .....	VIII
Lista de Figuras .....	IX
1. Introducción.....	1
2. Justificación.....	4
3. Objetivos .....	5
3.1. Objetivo General .....	5
3.2. Objetivos Específicos.....	5
4. Área de estudio .....	5
5. Métodos .....	7
6. Resultados .....	12
6.1. Caracterización físico-química .....	12
6.2. Macroinvertebrados .....	14
6.3. Índices de diversidad .....	15
6.4. Índices de Calidad de Agua .....	15
7. Discusión.....	16
8. Conclusiones.....	20
9. Recomendaciones.....	21
10. Referencias .....	23
11. Tablas.....	26
12. Figuras.....	30
13. Anexos.....	34

## Lista de Tablas

Tabla 1. Coordenadas de estaciones de muestreo ubicadas en los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B) en el BPRG, Ecuador. Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D).....	26
Tabla 2. Valores medios y desviación estándar (entre paréntesis) de características físicas y químicas de los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B). Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D) en el BPRG, Ecuador. ....	26
Tabla 3. Valores medios y desviación estándar (entre paréntesis) de características físicas de los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B). Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D) en la BPRG en Ecuador. (Sustrato %arena/%grava/%canto s/%bloques). ....	27
Tabla 4. Riqueza de Ordenes, Familias, número de individuos y densidad de macroinvertebrados registrados en los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B) en la BPRG Ecuador. Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D). ....	27
Tabla 5. Número total de individuos de cada taxa colectados en los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B) en el BPRG Ecuador. Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D). Grupo trófico funcional asignado a cada taxa: Pred=Predador, Rasp=Raspador, Trit=Triturador, Col=Colector, Fil=Filtrador, Perf=Perforador, ?=No determinado. ....	28
Tabla 6. Valores medios y desviación estándar (entre paréntesis) de puntajes de índices de diversidad de Simpson (S) y Shannon (H') los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B) en el BPRG Ecuador. Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D). ....	28
Tabla 7. Valores medios y desviación estándar (entre paréntesis) de puntajes de índices biológicos BMWP, IBMWP, BMWP/Col y de Sensibilidad los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B) en el BPRG Ecuador. Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D).....	29
Tabla 8. Valores máximos permisibles de características físicas y químicas, establecidos por la Legislación Ambiental Ecuatoriana (TULAS). ....	29
Tabla 9. (a) Significado e interpretación de valores de índices biológicos BMWP, IBMWP, BMWP/Col y de Sensibilidad (b) Puntajes medios y desviación estándar (entre paréntesis) de puntajes de índices biológicos BMWP, IBMWP, BMWP/Col y de Sensibilidad para los ríos Guajalito, Palmeras y Brincador. ....	29

## Lista de Figuras

Figura 1. Ubicación Bosque Protector Río Guajalito (BPRG), provincia de Pichincha, Ecuador. Escala 1:5000 (Ecociencia 2002).....	30
Figura 2. Ubicación de estaciones de muestreo en los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B) en el BPRG Ecuador. Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D). Sin escala. ....	30
Figura 3. Análisis de componentes principales de características químicas de los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B). Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D). ....	31
Figura 4. Número total de taxa y abundancia relativa de individuos de macroinvertebrados colectados en los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B). ....	31
Figura 5. Proporción en términos de abundancias de los grupos tróficos funcionales más representativos: Predadores, Colectores, Filtradores y Raspadores en los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B) según Merrit y Cummings 1996. Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D). Error Estándar representado por barras. ....	32
Figura 6. (a) Índice de diversidad de Simpson (b) Índice de diversidad de Shannon registrados en los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B). Error Estándar representado por barras.....	32
Figura 7. Puntajes de índices biológicos BMWP, IBMWP, BMWP/Col y de Sensibilidad los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B). Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D).....	33

## 1. Introducción

Las sociedades humanas han usado los ríos, aguas subterráneas y humedales para varias actividades como desarrollo urbano, agricultura, industria entre otras. Sin embargo, al usar este recurso no han tomado en cuenta el valor de los ecosistemas acuáticos, por lo cual se han generado varios problemas ambientales como contaminación de fuentes de agua, disminución de caudales base, pérdida de diversidad biológica (Jacobsen 1998, Baron *et al.* 2002), entre otros. Por esta razón, la degradación de los recursos acuáticos ha sido motivo de preocupación del hombre en las últimas décadas (Toro *et al.* 2003).

A pesar de que la contaminación del agua es esencialmente un problema de tipo biológico, tradicionalmente la evaluación de calidad de aguas ha sido realizada mediante la utilización de análisis químicos y bacteriológicos, que mostraban debilidades en cuanto a la detección de cambios en las condiciones naturales de cuerpos de agua en caso de existir perturbaciones no puntuales y de origen difuso (Zuñiga de Cardoso 2001, Segnini 2003).

En los últimos años, se ha valorizado el uso del monitoreo biológico (biomonitoreo), el cual reemplaza o complementa a las pruebas químicas. La teoría detrás del biomonitoreo es el uso sistemático de organismos vivos con requerimientos específicos, donde se toman en cuenta sus reacciones y su capacidad natural de respuesta hacia perturbaciones, con el fin de determinar la calidad del ecosistema acuático, tanto en sus características abióticas como bióticas (Byl *et al.* 1994, Merrit y Cummings 1996, Day 2000, Segnini 2003, Jones *et al.* 2004).

Los grupos de organismos que son comúnmente utilizados como bioindicadores en medios acuáticos son los peces, algas y plantas acuáticas, zooplancton, bacterias, protozoarios y macroinvertebrados, siendo estos últimos, el grupo más empleado (Byl *et al.* 1994, Merrit y Cummings 1996).

Los macroinvertebrados son uno de los indicadores biológicos más utilizados en la evaluación de ecosistemas fluviales del mundo (Figuroa *et al.* 2003), debido a sus características, requerimientos especiales y adaptaciones evolutivas a determinadas condiciones ambientales, que los convierten en organismos con límites de tolerancia específicos a las diferentes alteraciones de su hábitat (Alba-Tercedor 1996, Zuñiga de Cardoso 2001, Pino *et al.* 2003).

A continuación se incluyen algunas de las características y ventajas por las cuales los macroinvertebrados son ampliamente utilizados:

- Son universalmente abundantes, relativamente fáciles de coleccionar, de condición sedentaria y generalmente tienen el tamaño suficiente como para ser observados a simple vista (Alba-Tercedor 1996, Toro 2003).
- Son extremadamente sensibles a perturbaciones, por lo que variaciones inesperadas de la composición y estructura de sus comunidades pueden interpretarse como consecuencia directa de algún tipo de contaminación (Klemm *et al.* 1990, Alba-Tercedor 1996, Merritt y Cummings 1996, Rosenberg *et al.* 1997).
- Sus ciclos de desarrollo son lo suficientemente largos dentro de las fuentes de agua y permiten su permanencia en estos el tiempo necesario para detectar cualquier alteración y muestran una respuesta inmediata ante dicho impacto (Alba-Tercedor 1996, Merritt y Cummings 1996, Figuroa 2003, Toro *et al.* 2003).
- Tras cada perturbación a su hábitat, requieren un tiempo mínimo de recolonización, por lo que los efectos causados por cualquier impacto pueden ser detectados por varias semanas o incluso meses, después de que esta haya sucedido (Alba-Tercedor 1996).
- La alta diversidad existente de macroinvertebrados permite la existencia de una amplia gama de tolerancia frente a diferentes parámetros de contaminación (Alba-Tercedor 1996, Figuroa 2003)
- Existen varios métodos de evaluación y conocimiento sobre taxonomía en algunas regiones del mundo acerca de estos organismos (Toro 2003).

Los métodos que consideran a los macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua han sido empleados en Europa por alrededor de un siglo

(Figuroa *et al.* 2003, Segnini 2003, Rosenberg *et al.* 1996). A raíz de estos trabajos, se han desarrollado alrededor del mundo varios índices o sistemas que relacionan la fauna bentónica con la calidad de las aguas, como por ejemplo el Trent Biotic Index (TBI), Biological Monitoring Working Party (BMWP), The River Invertebrate Prediction and Classification System (RIVPACS), el Índice Biótico de Familias (IBF), entre otros (Zimmerman 1993, Alba-Tercedor 1996, Figuroa 2003, Roldán 2003). En América Latina se cuenta con pocos estudios puntuales realizados en Venezuela, Colombia, México, Colombia, Ecuador, Bolivia, Argentina y Chile (Segnini 2003). En algunos casos, como en Colombia y Argentina, se cuenta con adaptaciones e índices biológicos propios (Jacobsen *et al.* 1997, Jacobsen 1998, Ríos y Prat 2004), aunque aun es común el uso de índices desarrollados para zonas templadas.

En el Ecuador existe poca información relacionada a índices biológicos, taxonomía y metodologías apropiadas para el estudio de fauna bentónica (Jacobsen *et al.* 1997, Jacobsen 1998, Ríos y Prat 2004). Además, los macroinvertebrados acuáticos no son empleados oficialmente para la evaluación y monitoreo de la condición de los ríos y arroyos. Algunos estudios han sido realizados localmente en este ámbito, en su mayoría realizados en regiones altas (> 2000 m), siendo muy pocos los estudios para tierras bajas (Domínguez-Granda *et al.* 2005).

El objetivo del presente proyecto es evaluar la calidad de las aguas de tres ríos: Palmeras, Brincador y Guajalito, los cuales cruzan por el Bosque Protector Río Guajalito, reserva ubicada en la zona centro-occidental de la provincia de Pichincha, a través de análisis de comunidades de macroinvertebrados bentónicos. Además, se realizaron análisis químicos, como complemento del estudio de invertebrados acuáticos. Esta información será utilizada a manera de línea base, para apoyar al manejo y conservación de la reserva.

## 2. Justificación

El sistema fluvial del Bosque Protector Río Guajalito (BPRG) se encuentra formado por el río Las Palmeras, del cual son tributarios los ríos Guajalito y Brincador. Este sistema cruza por la mitad de la reserva y recoge las aguas de muchas quebradas y vertientes del sistema montañoso. El río Brincador nace de las faldas occidentales de Tandapi. El río Guajalito recoge las aguas de las montañas aledañas a la población del mismo nombre y es alimentado por diferentes quebradas a lo largo de su trayecto (Robayo *et al.* 2004).

Este sistema fluvial constituye un recurso del cual dependen innumerables especies de flora y fauna; además, tanto el río Guajalito y Palmeras recorren zonas pobladas y son directamente utilizados por los colonos del área. A pesar de la importancia de este sistema dentro del BPRG para el mantenimiento de la biodiversidad y uso humano, hasta el momento no se ha realizado ningún tipo de caracterización o estudio integral sobre calidad de aguas, o sobre la integridad ecológica de estos ecosistemas lóticos (Robayo *et al.* 2004, Vlastimil Zak com. pers.). Los únicos estudios existentes de la calidad de agua de la zona fueron realizados hace más de diez años, y corresponden a análisis de parámetros básicos, como presencia de oxígeno disuelto y coliformes totales (Robayo *et al.* 2004).

El BPRG es una reserva muy importante, al ser una de las pocas zonas que poseen ecosistemas bien conservados en los alrededores de la ciudad de Quito. En la actualidad, se busca dar un manejo sustentable a los recursos naturales existentes dentro del BPRG, además de cumplir con los objetivos de conservación de la reserva. La información generada por esta investigación, proporcionará herramientas útiles para el manejo y protección de fuentes hidrográficas de la reserva, además de constituir una línea base que apoyará a la conservación del lugar, ante la constante amenaza de su cercanía con el Sistema de Oleoducto TransEcuatoriano (SOTE).

### 3. Objetivos

#### 3.1. Objetivo General

Utilizar a macroinvertebrados bentónicos presentes en las fuentes hidrográficas del BPRG como bioindicadores de calidad de agua, apoyados en parámetros físico-químicos para validar esta información.

#### 3.2. Objetivos Específicos

1. Caracterizar la calidad físico-química del agua de los ríos: Palmeras, Guajalito y Brincador.
2. Caracterizar la calidad biológica con base en análisis comunitarios de macroinvertebrados bentónicos de los ríos: Palmeras, Guajalito y Brincador mediante la aplicación de índices biológicos e índices de diversidad.
  - Comparar las comunidades de invertebrados acuáticos entre regiones de los ríos que rodeadas de vegetación ribereña y regiones deforestadas.
  - Comparar las comunidades de invertebrados acuáticos en un gradiente de contaminación orgánica.
3. Comparar la utilización de índices biológicos de calidad de aguas a través de macroinvertebrados que han sido desarrollados para regiones templadas, con índices desarrollados para regiones tropicales.

### 4. Área de estudio

El Bosque Protector Río Guajalito (BPRG) (00° 14' 57''S 78° 48'22''O) es una reserva privada, con una extensión de 710 ha y se encuentra localizada en las faldas de la cordillera del Atacazo en la zona centro occidental de las estribaciones del volcán Pichincha en el kilómetro 59 de la antigua vía Quito – San Juan – Chiriboga – Santo Domingo de los Colorados (Robayo *et al.* 2004) (Figura 1).

De acuerdo a Sierra (1999) y Holdridge (1978), la reserva corresponde al ecosistema calificado como Bosque de Neblina Montano que la convierte en una región importante de provisión fuentes de agua. Su rango altitudinal comprende desde los 1800 a los 2300 msnm (Robayo *et al.* 2004).

El BPRG experimenta una estación seca o verano, que va desde el mes de junio hasta noviembre, con lluvias no muy constantes. La estación lluviosa va desde el mes de diciembre hasta mayo, en esta época las lluvias son constantes y la humedad ambiental sube considerablemente. La precipitación anual varía entre 3700 y 2800 mm aproximadamente. La temperatura promedio es de 16.4 °C, con ligeras variaciones durante el año (Robayo *et al.* 2004).

La reserva posee bosque primario en su mayoría (78,3 %), además de bosque secundario (16,1 %) y zonas de pastizal (5,6 %), que se encuentran en proceso de recuperación natural y reforestación (Robayo *et al.* 2004). Además, el Sistema de Oleoducto Transecuatoriano atraviesa la reserva, creando un corredor de aproximadamente 20m de ancho, el cual es manejado por Petroecuador, entidad gubernamental responsable del oleoducto (Robayo *et al.* 2004). Dicho oleoducto representa una amenaza constante, en el año 1992 ocurrió un derrame de aproximadamente 8000 barriles de crudo y en el año 2003 se derramaron cerca de 500 galones de diesel (Vlastimil Zak com. pers.).

El BPRG se encuentra en un área muy diversa. La reserva alberga 236 especies de aves de las cuales 14 son endémicas para la zona y cuatro se encuentran en peligro de extinción de acuerdo a las listas de la UICN. Tiene además, 45 especies de mamíferos como el oso andino (*Tremarctus ornatus*), tapir andino (*Tapirus pinchaque*) y puma (*Puma concolor*); y 47 especies entre anfibios y reptiles. En el año 2000, la reserva fue declarada como un Área de importancia para la conservación de aves (AICA) por Birdlife International, denominada "AICA del Centro Occidente del Pichincha" conformada por Tinalandia, La Hesperia y el BPRG (Robayo *et al.* 2004).

De acuerdo a un trabajo preliminar realizado por Grijalva (1991) en el BPRG se han encontrado 85 familias de Angiospermas repartidas en 217 géneros y 345 especies. En las Pteridophytas, 22 familias, 42 géneros y 74 especies. Además, se puede encontrar en el BPRG más de 150 plantas medicinales y aproximadamente 200 especies de plantas útiles (Robayo *et al.* 2004).

Los ríos Guajalito, Palmeras y Brincador corresponden a cuencas secundarias, es decir, son el resultado de la reunión de afluentes pequeños originados de deshielos o en los páramos, y conforman un arroyo o río de montaña. Los ríos de montaña se caracterizan por poseer piedras de gran tamaño en sus cauces, lo cual les proporciona oxigenación debido al choque del agua contra estas, además de trituración mecánica de sedimentos (Sarmiento 1987).

La cuenca hidrográfica de estos ríos se encuentra a aproximadamente a  $0^{\circ} 15' S$  y  $78^{\circ} 48' O$  (coordenadas de cada río en la Tabla 1). No se posee información sobre fauna acuática en los ríos Guajalito, Palmeras y Brincador, excepto por tres registros de individuos de peces del género *Astroblepus* (R. Barriga com. pers.), comúnmente conocidos como “preñadillas” o “bagre de río”, que fueron encontrados durante la realización de este estudio.

## 5. Métodos

Se establecieron seis estaciones de muestreo, dos en cada uno de los ríos: Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B) (Figura 2). En cada río, se estableció una estación con cobertura vegetal sobre el cauce (GC, PC y BC) y otra con poca o sin cobertura vegetal (GD, PD y BD). Cada estación comprendió un tramo de 10 m de longitud sobre el río y en cada una de ellas se registraron las coordenadas geográficas (GPS Garmin 12XL), así como la altitud (altímetro SUUNTO E203). Las estaciones de muestreo fueron escogidas tomando en cuenta el grado de cobertura vegetal sobre el río y accesibilidad a la zona de ribera. Los muestreos se realizaron a finales del mes de Septiembre de 2005, durante la época seca.

Para los tres ríos analizados G, P y B, se estableció un gradiente de impacto humano, de acuerdo al número de seres humanos establecidos alrededor de las cuencas y uso del agua. Siendo tres el valor correspondiente al mayor impacto y uno al menor, los ríos fueron clasificados como:

- Medianamente Impactado = 1: - Río Guajalito – aproximadamente 25 familias habitan en sus riberas, usado por fincas para ganadería y

agricultura, además existe actividad piscícola (truchas). Derrames de petróleo y derivados.

- Levemente Impactado = 2: - Río Palmeras – Cerca de 8 familias viven cerca de sus riberas, utilizan el río para actividades agrícolas y ganaderas. Cruza por la reserva BPRG.
- No impactado = 3: - Río Brincador – Se estima que alrededor de 2 familias hacen uso de sus aguas, usado para agricultura y ganadería. Lindero natural de la reserva BPRG.

### 5.1. Características físico-químicas

En cada una de las estaciones se realizaron cuatro muestreos de oxígeno disuelto (método Winkler, kit LaMotte), temperatura y pH (medidor de pH, Hanna Instruments 8519). Además, se tomaron tres muestras de agua de 250 ml, que fueron llevadas al laboratorio de Química de la Universidad San Francisco de Quito donde se realizaron análisis de conductividad (Medidor OAKTON TDS Testr WD-35661-13) y sólidos totales (Medidor OAKTON TDS testr WD-00606-10).

El ancho y la profundidad del río, y la caracterización de sustrato se registraron escogiendo tres transectos al azar dentro de cada estación. La profundidad y sustrato se midieron en cinco puntos en cada transecto. Los tipos de sustrato mineral fueron clasificados de acuerdo a las categorías de arena (< 2 mm de diámetro), grava (2 - 64 mm de diámetro), piedras (65 – 256 mm de diámetro) y rocas (> 256 mm de diámetro) (Klemm 1990).

La velocidad de corriente superficial fue estimada utilizando un objeto flotante, el cual se dejó caer durante tres ocasiones en cada estación y fue seguido río abajo en el tramo de diez metros, midiendo el tiempo transcurrido desde el inicio hasta el final del recorrido. El volumen de descarga fue calculado multiplicando el ancho, la profundidad y velocidad de corriente superficial.

El grado de cobertura de dosel (%) en cada una de las estaciones fue caracterizado a través de un apartado del Índice de Evaluación de Hábitat Fluvial (IHF) (Pardo *et al.* 2002) donde se estima el porcentaje de sombra sobre

el cauce del río a través de una estimación visual y se asigna un puntaje de acuerdo a las siguientes categorías:

- Sombreado con ventanas
- Totalmente sombreado
- Grandes claros
- Expuesto.

## **5. 2. *Invertebrados Acuáticos***

Para los muestreos de fauna bentónica se utilizó de una red Surber de 0,3 m<sup>2</sup> de superficie, con un haz de luz de red de 500 micras. En cada una de las estaciones, se realizaron de manera aleatoria cuatro muestreos o réplicas con duración de un minuto, manteniendo siempre el mismo esfuerzo de muestreo.

Las muestras de macroinvertebrados fueron colocadas en recipientes de un litro de capacidad, rotuladas y se fijaron con etanol al 95%, y dos gotas de glicerina. Posteriormente, se llevaron al laboratorio, donde fueron lavadas para retirar el máximo de impurezas.

Una vez extraídos, los macroinvertebrados fueron identificados con un estereoscopio Olympus SZ40 a magnificación de 10x – 40x. La identificación fue realizada hasta el nivel taxonómico de Familia, utilizando diversas claves taxonómicas para invertebrados acuáticos (Roldan-Pérez 1988, Merritt y Cummins 1996). Una vez identificados, se colocaron los invertebrados en frascos pequeños debidamente rotulados, con etanol al 70%, para ser preservados.

Además, los invertebrados acuáticos fueron clasificados de acuerdo a su forma de alimentación y sistema de conseguir alimento en sus respectivos Grupos Tróficos Funcionales (Vannote *et al.* 1980, Merrit y Cummings 1996, Wallace y Webster 1996):

- Raspadores: animales adaptados para raspar materiales adheridos a materia mineral o a otro sustrato.

- Trituradores: organismos que se alimentan principalmente madera, material vegetal vivo o en descomposición con tamaño mayor a un milímetro de diámetro.
- Colectores: animales que se alimentan de partículas finas de materia orgánica, menores de un milímetro de diámetro.
- Filtradores: animales con adaptaciones anatómicas especiales u órganos secretores de seda o sustancias similares que actúan como tamiz para remover partículas de materia orgánica que se encuentra en suspensión.
- Predadores: animales que se alimentan de tejido animal (Meritt y Cummings 1996, Wallace y Webster 1996).

Las familias de macro-invertebrados existentes en los ríos del BPRG fueron evaluadas a través de los siguientes índices:

1) *BMWP (Biological Monitoring Working Party) (Armitage et al. 1983)*.- Este índice biológico asigna una puntuación del 1 al 10 que se obtiene sumando las puntuaciones asignadas a los distintos taxa encontrados en las muestras de macroinvertebrados y que se citan en una lista elaborada al respecto. La mayor o menor puntuación asignada a un taxón está en función de su mayor o menor sensibilidad a la contaminación orgánica y al déficit de oxígeno que este tipo de contaminación suele provocar en la mayor parte de los ríos y quebradas (Alba-Tercedor et al. 1978, Alba-Tercedor 1996, Pino 2003).

2) *IBMWP (Alba-Tercedor 1996, Jaiméz-Cuéllar et al. 2002)*.- Índice BMWP adaptado para España. Este índice usa la misma puntuación y criterio del BMWP (Armitage et al. 1983).

3) *BMWP/Col (Roldán 2003)*.- Índice BMWP adaptado para Colombia. Este índice usa la misma puntuación y criterio del BMWP (Armitage et al. 1983).

4) *Sensibilidad*.- Índice basado en el IBMW/Col (Carrera et al. 2001). Esta metodología fue desarrollada y adaptada para la realización de biomonitoreo de aguas mediante la utilización de macroinvertebrados en algunas comunidades en ríos de la costa ecuatoriana.

Además, se evaluó la diversidad de las familias encontradas en los ríos del BPRG a través del índice de diversidad de Shannon ( $H'$ ) y Simpson ( $S$ ) (Iannacone *et al.* 2003, Pino *et al.* 2003).

### **5.3. Análisis estadístico**

Todas las variables físico químicas y biológicas fueron analizadas en cuanto a su normalidad con las pruebas estadísticas de Shapiro - Wilk (MINITAB, versión 12.2). Las variables que no presentaron una distribución normal fueron transformadas a logaritmo natural. Las variables que no se normalizaron aun después de la transformación fueron analizadas con pruebas no paramétricas.

Para analizar si existen diferencias de los diferentes parámetros físico-químicos entre los diferentes ríos y las diferentes estaciones se realizaron análisis de Varianza de una vía (ANOVA) y en el caso de variables con distribución no normal, se utilizó el test no paramétrico de Kruskal Wallis (MINITAB, versión 12.2), donde las variables respuestas fueron cada uno de los parámetros y las variables explicatorias fueron el río (3 niveles: G,P,B) y la cobertura de dosel (2 niveles: cubierto y no cubierto). Además, se realizó un análisis multivariable de componentes principales (PCA) (Primer, versión 6.1.5) con las variables físico-químicas, con el fin de resumir los ejes de variación y agrupación de las mismas.

Además, se realizaron correlaciones de Pearson (MINITAB) para medir las correlaciones entre las variables físico-químicas y la abundancia relativa de macroinvertebrados y riqueza de familias.

Para analizar la comunidad de invertebrados acuáticos se realizaron análisis de Varianza de una vía (ANOVA) (MINITAB, versión 12.2) para comprobar la existencia de diferencias significativas entre las variables respuesta, correspondientes a cada uno de los parámetros (riqueza, índices de diversidad, densidad de individuos) y las variables explicatorias, que fueron el río y la cobertura del dosel, de igual manera que en el análisis de parámetros físico-químicos.

## 6. Resultados

### 6.1. Caracterización físico-química

Varias de las características físicas medidas presentaron diferencias significativas entre los ríos estudiados, mas no entre estaciones con presencia de dosel sobre el cauce y sin presencia de este. La temperatura registró un rango de 13,7 a 16,0 °C (Tabla 2) y existieron diferencias significativas entre los ríos G, P y B ( $F_{2,21}= 15,48$ ;  $P= 0,0001$ ), siendo P donde se encontró la mayor temperatura. Sin embargo, no hubo diferencias significativas en la temperatura entre regiones cubiertas por dosel y no cubiertas en cada uno de los ríos.

Los valores de sólidos totales para los ríos G, P y B presentaron diferencias significativas (Kruskal Wallis  $H=15,360$ ;  $DF=2$ ;  $P=0,0005$ ), y se mantuvieron dentro del rango de 20,0 a 30,0 ppm (Tabla 2). El río B presentó el menor valor de sólidos totales. No existieron diferencias significativas entre estaciones con dosel y sin dosel en valores de sólidos totales.

La profundidad fue diferente entre los tres ríos analizados (Kruskal Wallis  $H= 6,92$ ;  $DF=2$ ;  $P= 0,031$ ) y presentó una fluctuación entre 0,16 y 0,39 m, donde el río P fue el más profundo. El ancho de las estaciones estudiadas presentó un rango de variación desde 4,49 a 7,73 m. El ancho difirió significativamente en los diferentes ríos analizados (Kruskal Wallis  $H= 7,48$ ;  $DF=2$ ;  $P= 0,024$ ) (Tabla 3).

La velocidad de corriente mostró un rango de 0,28 a 0,44 m/s y fue mayor en P aunque estas diferencias no fueron significativas. Por otro lado, la descarga presentó un rango de variación de 0,22 a 0,69 m<sup>3</sup>/s sin que las diferencias entre ríos fueran significativas (Tabla 3).

Todas las estaciones presentaron las cuatro categorías de sustrato: arena (14,44%), grava (22,22%), cantos (37,78%) y bloques (25,56%) (Tabla 3), pero no se registraron diferencias significativas entre los ríos G, P y B en cuanto a la estructura de sustrato.

Con respecto al porcentaje de sombra en el cauce, todas las estaciones (GD, PD y BD) categorizadas como carentes de cobertura de dosel sobre el río, correspondieron a la categoría de expuestas, con un puntaje de tres. La estación GC correspondió a la categoría de sombreada con ventanas, mientras que las estaciones PC y BC pertenecieron a la categoría de grandes claros.

De las características químicas, el pH, ligeramente ácido, se mantuvo dentro del rango de 6,07 a 6,41 (Tabla 2) en los ríos G, P y B, y presentó diferencias significativas entre los ríos antes mencionados ( $F_{2,21} = 15,48$ ;  $P = 0,0001$ ). El río P registró los mayores valores de pH, siendo ligeramente menos ácido de los otros ríos. No existió variación de pH entre estaciones con cobertura y sin cobertura de dosel.

La conductividad fluctuó entre 30,0 y 60,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Tabla 3) y difirió entre los tres ríos estudiados ( $F_{2,21} = 142,74$ ;  $P = 0,0001$ ), siendo G donde se registró la mayor conductividad. Este parámetro no varió entre estaciones con dosel y sin dosel.

El rango de valores de oxígeno disuelto para los ríos G, P y B fue de 9,31 a 10,25 ppm (Tabla 2). No existieron variaciones significativas en la concentración de oxígeno disuelto entre G, P y B ni entre estaciones con cobertura vegetal y estaciones sin cobertura.

Las estaciones ubicadas en el río G y el río P presentan parámetros fisicoquímicos muy similares entre sí, mientras que los parámetros en las estaciones del río B difieren de los antes mencionados, como se puede observar de acuerdo a la agrupación de variables en los diferentes ejes de la Figura 3.

Las correlaciones de Pearson entre la abundancia relativa de macroinvertebrados y las variables físico-químicas no fueron significativas, mientras que la riqueza de familias se correlacionó inversamente de forma significativa con las variables de conductividad ( $\text{Corr} = -0,42$ ,  $p = 0,04$ ) y sólidos totales ( $\text{Corr} = -0,43$ ,  $p = 0,04$ ).

## 6.2. Macroinvertebrados

La comunidad de invertebrados acuáticos de los ríos G, P y B fue numerosa y diversa con 8807 individuos ( $4077,3 \text{ ind/m}^2$ ), distribuidos en 10 órdenes y 29 familias (Tabla 4), de las cuales 28 corresponden a familias de insectos. A nivel de órdenes, los más representativos fueron Trichoptera con 3781 individuos (44%), seguido por Diptera con 2564 individuos (29%) y Ephemeroptera con 1387 individuos (16%). Las familias más abundantes fueron Hydropsychidae (Trichoptera) con 1821 individuos (21%), seguida de Chironomidae (Diptera) con 1787 individuos (20 %) y Helicopsychidae (Trichoptera) con 1472 individuos (17%) (Figura 4).

En la estación GC se registró un total de 832 individuos ( $385,2 \text{ ind/m}^2$ ) repartidos en nueve órdenes y 21 familias. Las familias más abundantes fueron Helicopsychidae (40%), Baetidae (16%) y Hydropsychidae (11%). Por otro lado, en la estación GD se colectaron 2036 individuos en total ( $938,9 \text{ ind/m}^2$ ), distribuidos en nueve órdenes y 22 familias. Hydropsychidae (39%), Chironomidae (24%), Elmidae y Baetidae (8% cada una), fueron las familias más abundantes (Tabla 5).

La estación PC registró un total de 1662 individuos ( $769,4 \text{ ind/m}^2$ ), distribuidos entre 10 órdenes y 23 familias. Las familias más representativas fueron Chironomidae (26%), Helicopsychidae (24%) e Hydropsychidae (13%). En la estación PD se colectaron 1256 individuos ( $581,5 \text{ ind/m}^2$ ), repartidos en ocho órdenes y 21 familias, siendo las más abundantes Chironomidae con (41%), Helicopsychidae (17%) e Hydropsychidae (11%) (Tabla 5).

En la estación BC fueron colectados 1724 individuos en total ( $798,2 \text{ ind/m}^2$ ), pertenecientes a 10 órdenes y 25 familias. Las familias con mayor abundancia fueron Helicopsychidae (24%), Hydropsychidae (23%) y Leptohipidae (10%). En la estación BD fueron registrados un total de 1305 individuos ( $604,2 \text{ ind/m}^2$ ), distribuidos en órdenes y 25 familias. Las familias Leptohipidae (16%), Chironomidae (15%), Hydropsychidae (14%), Empididae (14%) y Elmidae (14%) fueron las más abundantes (Tabla 5).

La riqueza de familias varió significativamente en los ríos G, B y P ( $F_{2,21}=4,25$ ;  $P=0,02$ ), siendo el río B donde se registró la mayor riqueza a nivel de familia.

La abundancia y densidad relativa de macroinvertebrados variaron significativamente entre estaciones cubiertas y estaciones descubiertas ( $F_{1,22}=4,94$ ;  $P=0,04$ ), siendo las estaciones descubiertas donde se encontró mayor abundancia de individuos, y por tanto mayor densidad. No existieron diferencias significativas entre los ríos G, P y B en abundancia de organismos y densidad relativa de los mismos.

Los grupos tróficos funcionales más representativos fueron los filtradores (32,25%) y los raspadores (29,95%) en los ríos G, P y B. No se presentaron diferencias entre ríos y estaciones con y sin dosel en cuanto a grupos tróficos funcionales de macroinvertebrados (Figura 5).

### *6.3. Índices de diversidad*

El índice de diversidad de Simpson (S) se mantuvo dentro del rango de 0,670 a 0,833 y Shannon (H') entre 1,297 a 2,167. No existieron diferencias significativas para S entre los ríos G, P y B, y de igual manera no existieron diferencias de S y H' entre estaciones con y sin dosel. H' difirió significativamente entre G, P y B (Kruskal Wallis  $H= 7,48$ ;  $DF=2$ ;  $P= 0,023$ ), donde B presentó la mayor diversidad (Tabla 6 y Figura 6).

### *6.4. Índices de Calidad de Agua*

Los valores mínimos y máximos para los índices BMWP, IBMWP y BMWP/Col fueron 38,0 a 67,75; 50,25 a 81,25 y 79,7 a 129,0, respectivamente (Tabla 7). Existieron diferencias significativas entre los ríos G, P y B para los índices BMWP ( $F_{2,21}=9,253$ ;  $P=0,001$ ), IBMWP ( $F_{2,21}=5,287$ ;  $P=0,014$ ) y BMWP/Col ( $F_{2,21}=4,78$ ;  $P=0,02$ ), siendo el río B donde se obtuvieron los mayores puntajes (Tabla 7 y Figura 7). No se registraron diferencias para los antes mencionados índices entre estaciones con y sin presencia de dosel.

El índice de sensibilidad fluctuó entre 61,20 y 104,25 (Tabla 7). Se registraron diferencias significativas entre los ríos G, P y B ( $F_{2,21}=3,729$ ;  $P=0,0411$ ) en el

índice de sensibilidad, de igual manera entre las estaciones con y sin presencia de cobertura vegetal sobre el cauce ( $F_{1,22}=4,890$ ;  $P=0,037$ ). Los mayores puntajes para este índice fueron registrados en el río B y en las estaciones sin cobertura vegetal.

De las 29 familias registradas, la versión original del BMWP incluyó 14 familias (48,28%) de invertebrados, la versión ibérica de este índice incluyó 24 familias (82,76%), la versión colombiana incluyó 28 familias (97%) y finalmente el índice de sensibilidad incluyó 18 familias (62,1%).

## 7. Discusión

Los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) presentaron características físico-químicas similares, mientras que el río Brincador (B) difirió de los antes mencionados, especialmente en los parámetros de conductividad y sólidos totales, con valores inferiores. Estos patrones de agrupación también pudieron ser observados en el análisis de componentes principales.

La conductividad puede ser considerada una buena medida de contaminación (Jacobsen 1998, Nirel y Revaclier 2003) al estar directamente relacionada a la concentración de iones en el agua. Los ríos Guajalito y Palmeras registraron valores de conductividad ligeramente mayores que los encontrados en el río Brincador, probablemente debido a la relativa mayor concentración de asentamientos humanos existentes alrededor de dichas fuentes de agua, las cuales pueden encontrarse vertiendo desechos orgánicos, fertilizantes o pesticidas provenientes de actividades domésticas, agrícolas o ganaderas. Los valores de conductividad de los ríos G, P y B coincidieron con el gradiente de impacto humano establecido previamente.

Otro parámetro que diferenció a los ríos estudiados fue la concentración de sólidos totales en el agua, donde al igual que con la conductividad, el río B registró valores menores que los ríos G y P. Los sólidos totales en suspensión se encuentran directamente relacionados con la turbidez, la cual puede ser provocada por efecto de la erosión de las riberas de los ríos debido a la

deforestación de los bosques ribereños (Jacobsen 1998 en Reenberg y Moller Pedersen 1998) y que representa un problema a los ecosistemas acuáticos al restar el ingreso de luz solar provocando disminución de la producción primaria, así como la sedimentación de partículas que pueden destruir los hábitats acuáticos. Probablemente, el río B al contar con un menor número de personas alrededor tiene un menor grado de deforestación de bosques de ribera, dando resultando así menor probabilidad de erosión y menor concentración de partículas de sólidos en suspensión.

Los ríos G, P y B no sobrepasan los valores físico-químicos máximos permisibles definidos en la Legislación Ambiental del Ecuador (Libro IV, secciones: 4.1.20 Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico, y 4.12 Criterios de calidad de las aguas para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios) (Tulas 2003). Los parámetros temperatura, oxígeno disuelto y pH fueron comparados con los valores establecidos por la legislación y estos se mostraron por debajo de los límites máximos permitidos (Tabla 8), lo cual permite asumir la buena calidad del agua de los ríos estudiados.

Las familias de macroinvertebrados que fueron colectadas coinciden con familias de insectos que se encuentran ampliamente distribuidas en el Ecuador (Jacobsen 1998) y son comunes en el rango altitudinal de 1900 a 2000 m.s.n.m. (Jacobsen 2004).

La familia de invertebrados bentónicos más abundantes fue Hydropsychidae del orden Trichoptera, estos organismos son considerados indicadores de aguas oligotróficas ya que pueden resistir poca contaminación (Roldán 2003). Esta fue seguida por la familia Chironomidae del orden Diptera, la cual se caracteriza por organismos indicadores de aguas mesotróficas, debido a su resistencia a contaminación (Roldán 2003). Por último, la familia Helicopsychidae, del orden Trichoptera, que corresponde a indicadores de aguas meso-oligotróficas (Roldán 2003). Cabe recalcar que dos de las tres familias más abundantes, pertenecen al orden Trichoptera, el cual es considerado buen indicador de calidad de aguas, debido a la sensibilidad de

dichos organismos ante la contaminación, al igual que los órdenes Ephemeroptera y Plecoptera (Carrera *et. al* 2001).

La familia Oligoneuriidae del orden Ephemeroptera fue registrada en el río B, mas no en los ríos G y P. Esta familia es considerada muy sensible a la contaminación y corresponde a un indicador de aguas limpias (Roldán 2003). Esto puede ser un indicio de que la calidad del agua del río B es superior que en los ríos G y P, cuya contaminación no sólo es causada por presencia humana y de ganado, vertidos de desechos o pesticidas, actividades piscícolas, si no que también es consecuencia de derrames de petróleo y diesel ocurridos en el pasado en el río G y que pueden continuar alojados en el sustrato o en el acuífero, afectando a organismos extremadamente sensibles.

Por otro lado, la riqueza de familias e índices de diversidad registrados en el río B fueron mayores que en los ríos G y P. Este patrón coincide con el gradiente de impacto humano establecido a priori. Además, la mayor riqueza de familias en el río B podría estar relacionada a las variables físico-químicas: conductividad y sólidos totales, las cuales demostraron estar correlacionadas inversamente con la riqueza, y al ser menores en el río B podrían explicar la presencia de un mayor número de familias de macroinvertebrados.

Las comunidades de macroinvertebrados fueron bastante similares en cuanto a grupos tróficos funcionales entre zonas con cubierta vegetal sobre el río y zonas descubiertas. Se esperaba encontrar una mayor proporción de raspadores y trituradores en las estaciones descubiertas, y más filtradores y colectores y detritívoros en las estaciones de muestreo cubiertas por vegetación, pero los muestreos no mostraron grupos funcionales predominantes. Los ríos G, P y B son cuencas relativamente anchas, razón por la cual fue difícil encontrar zonas donde la conectividad del dosel sobre la ribera sea total. Las estaciones de muestreo denominadas como cubiertas por vegetación, presentaban claros grandes que permitían el ingreso de luz hacia el río.

La presencia de zonas con sombra y con luz, así como los diferentes procesos físicos, químicos y biológicos normales en los ríos, crean heterogeneidad tanto

vertical como horizontal, lo cual permite la existencia de distintos hábitats en los ríos que pueden ser las causas de la similitud de las comunidades en las estaciones de muestreo, así como de su diversidad (Vannote *et al.* 1980, Wallace y Webster 1996, Jacobsen 1998, Covich 1999). Uno de estos procesos físicos puede ser la corriente, la cual probablemente arrastra hojarasca desde zonas con cobertura vegetal, hasta zonas sin vegetación, permitiendo la presencia de organismos trituradores (Covich 1999).

De manera similar, la presencia de claros en la cobertura del dosel sobre los ríos, permite el ingreso de radiación solar, la cual a su vez contribuye al crecimiento de algas que representan fuentes de alimento para macroinvertebrados raspadores. En todas las estaciones, tanto cubiertas como descubiertas la proporción de organismos predadores se mantuvo relativamente constante, lo cual podría reflejar el buen estado en las comunidades de macroinvertebrados, al ser parte importante de la cadena alimenticia, controlando el tamaño poblacional de otros grupos de invertebrados acuáticos (Wallace 1996).

Según la puntuación del BMWP en su versión original, los ríos G y P poseen aguas con calidad dudosa y B con calidad aceptable. Por otro lado, el índice IBMWP califica a G, P y B como ríos de calidad aceptable al igual que el índice de Sensibilidad. El índice IMBWP/Col califica al río G como aceptable, mientras que a los ríos P y B los clasifica como buenos. El río B obtuvo los valores más elevados en los índices BMWP, tanto la versión original, como las adaptaciones ibérica y colombiana y en el índice de Sensibilidad, coincidiendo así con el gradiente de impacto humano.

En índices como BMWP e IBMWP, no se incluían varias de las familias de macroinvertebrados que fueron encontradas en el muestreo, probablemente por este motivo las aguas de los ríos obtuvieron una clasificación de calidad dudosa. Estos índices antes mencionados han sido ampliamente utilizados en zonas tropicales, a pesar de haber sido desarrollados para ríos que presentan condiciones naturales y de diversidad completamente diferentes. El Índice de Sensibilidad, tampoco incluyó la totalidad de familias encontradas.

A pesar de que el Índice de Sensibilidad fue adaptado para Ecuador, probablemente es demasiado puntual y solamente incluye familias de macrobentos que se encuentran en zonas bajas de la costa Ecuatoriana (Carrera *et al.* 2001), y al ser originalmente dirigido a poblaciones humanas locales posee solo las familias más representativas y hasta cierto punto sencillas de reconocer, lo que lo vuelve menos preciso. Por esta razón, se ve como una necesidad el desarrollo de un índice de calidad biológica del agua para el Ecuador, donde se reflejen las condiciones naturales, ecosistémicas y altitudinales del país, así como la fauna de macroinvertebrados que se encuentran distribuidos en zonas tropicales.

Se recomienda realizar un muestreo más extenso e intensivo para los ríos Guajalito, Palmeras y Brincador, donde se incluya una mayor variedad de hábitats y bajo diferentes condiciones climáticas, con el fin de complementar la información generada por la presente investigación, y así contar con una herramienta más fuerte para el manejo de las cuencas y de la reserva.

## 8. Conclusiones

1. Los parámetros físico-químicos analizados en los ríos Guajalito, Palmeras y Brincador reflejan una buena calidad del agua, tanto para consumo humano, como para mantenimiento de flora y fauna de acuerdo a la legislación ambiental del Ecuador, y sus valores se encuentran muy por debajo de los encontrados en ríos contaminados. Esta información coincide con la información biológica obtenida a través de la utilización de índices de calidad (BMWP/Colombia y Sensibilidad), que califican a las antes mencionadas cuencas de manera general con buena calidad del agua, es decir aguas muy limpias o limpias a ligeramente contaminadas.
2. La calidad del agua, riqueza de familias e índices de diversidad disminuyen conforme aumenta la presencia de actividades humanas en los ríos. De manera inversa, parámetros como conductividad y sólidos totales aumentan

sus valores al existir presencia humana en los alrededores, a pesar de que los focos de contaminación sean difusos, puntuales o relativamente pequeños.

3. La homogeneidad de la composición de las comunidades de macroinvertebrados y grupos tróficos funcionales en zonas con cobertura vegetal y sin cobertura pueden deberse al tamaño relativamente grande de los ríos estudiados por lo que la cobertura vegetal no fue total en los sitios de muestreo, dejando claros que permitían el ingreso de radiación solar.
4. El uso de macroinvertebrados e índices de calidad biológica es un método muy efectivo para obtener información sobre la calidad de una cuenca hidrográfica en particular, Además, la metodología de muestreo utilizada y el uso del índice BMWP (independientemente de la versión) demostraron ser buenos indicadores de contaminación y ser susceptibles a diferentes grados de esta, incluso los muy leves.
5. El aumento de familias de macroinvertebrados tomadas en cuenta en los índices biológicos incrementa la sensibilidad de estos para detectar diferentes grados de contaminación.
6. Es necesario el desarrollo de un índice de calidad biológica para el Ecuador, donde se cubra todo el rango altitudinal y ecosistémico del país, así como las familias de macroinvertebrados comunes en los cuerpos de agua.

## 9. Recomendaciones

1. La información generada por el presente proyecto representa tan solo una línea base, la cual requiere ser complementada con investigación tanto físico-química como biológica más extensa e intensiva, para poder ser una herramienta más útil para la conservación y manejo de las cuencas hidrográficas.

2. Realizar análisis químicos relacionados con presencia de hidrocarburos (TPH), metales pesados o compuestos tóxicos en los ríos debido a derrames de crudo y derivados o análisis biológicos con biomarcadores (i.e. Citocromo oxidasa).
3. Para analizar ríos tropicales es preferible el uso de índices biológicos como BMWP/Col, Índice de Sensibilidad, Andean Biological Index (ABI) o índices donde se incluyan más familias que se encuentren presentes en los lugares a ser muestreados.
4. Mantener en buen estado o recuperar los bosques de ribera, a través de reforestación o protección ante la presión ganadera con el fin de permitir regeneración natural de los mismos.
5. Es necesario mantener los cauces naturales de los ríos, así como mantener los caudales mínimos necesarios para garantizar el buen estado de los cuerpos de agua.
6. Realizar actividades de educación ambiental o participación con las comunidades localizadas en los alrededores de la Reserva, con el fin de concienciar a la gente sobre la importancia del mantenimiento de fuentes hidrográficas, no sólo como un recurso, sino también como un ecosistema.
7. Realizar talleres de monitoreo de calidad del agua a través de macroinvertebrados dirigidos a personas o comunidades situadas en los alrededores de la reserva para que puedan evaluar la calidad del recurso que consumen, además de involucrarlos en su conservación y buen uso.

## 10. Referencias

- Alba –Tercedor, J., Sánchez-Ortega, A. 1988: Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas basado en el de Helawell (1978). *Limnética* 4: 51-56.
- Alba-Tercedor, J. 1996: Macroinvertebrados acuáticos y la calidad de las aguas de los ríos. IV simposio del Agua de Andalucía (SIAGA). Vol II, 203-213. Almería, España.
- Armitage, P. D., Moss, D., Wright, J.F. y Furse, M. T. 1983: The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-waters sites. *Wat. Res.* 17, 333-347.
- Baron, J., Poff, N., Angermeter, P., Dahm, C., Gleick, P., Hairston, N., Jackson, R., Johnston C., Richter, B. y Steinman, A. 2002: Meeting ecological and societal needs for freshwater. *Ecological Applications*, 12, 1247-1260.
- Byl, T.D. y Smith G. 1994: *Biomonitoring our streams. What is all about?*. U.S. Geological Survey, Agricultural extension service, University of Tennessee.
- Carrera, C. y Fierro K. 2001: *Manual de monitoreo: Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua*. Ecociencia, Quito.
- Covich, A., Palmer, M. y Crowl, T. 1999: The role of benthic macroinvertebrate species in freshwater ecosystems. *Bioscience*, 49, 119-127.
- Day, J. 2000: *Biomonitoring: appropriate technology for the 21st century*. 1st WARFSA/WaterNet Symposium: Sustainable Use of Water Resources, Maputo, South Africa.
- Domínguez-Granda, L., Goethals, P. y De Pauw, N. 2005: Aspectos del ambiente físico-químico del río Chaguana: un primer paso en el uso de los macroinvertebrados bentónicos en la evaluación de su calidad de agua. *Revista Tecnológica ESPOL*, 18, 127-134.
- Ecociencia, 2002. *Sistema de monitoreo Socioambiental del Ecuador – Herramienta geográfica (CD rom)*. Ecociencia, Quito.
- Figuroa, R., Araya, E., Parra, O., Valdovinos C. 2003: *Invertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua*. Centro de Ciencias Ambientales, EULA-Chile.
- Iannacone, J., Mansilla J., y Ventura K. 2003: *Macroinvertebrados en las lagunas de Puerto Viejo*, Lima, Perú. *Ecología Aplicada*, 2(1).

- Jacobsen, D., Schultz, R. y Encalada A. 1997: Structure and diversity of stream invertebrate assemblages: the influence of temperature with altitude and latitude. *Freshwater Biology*, 38, 247-261.
- Jacobsen, D. 1998: The effect of organic pollution on the macroinvertebrate fauna of Ecuadorian highland streams. *Archiv für Hydrobiologie*, 158, 145-167.
- Jacobsen, D. 1998: Human activities and stream environments in tropical regions *en: Environment, health and sustainable development*, editado por Reenberg A. y Moller Pedersen E. 1998, SEREIN, Copenhagen, Dinamarca.
- Jacobsen, D. 2004: Contrasting patterns in local zonal family richness of stream invertebrates along an Andean altitudinal gradient. *Freshwater Biology*, 49, 1293-1305.
- Jáimez-Cuéllar, P., Alba-Tercedor, J., Álvarez, M., Avilés, J., Bonada, N., Casas, J., Mellado, A., Ortega, M., Pardo, I., Prat, N., Rieradevall, M., Robles, S., Sáinz-Cantero, C.E., Sánchez-Ortega, A., Suárez, L., Toro, M., Vidal-Abarca, R., Vivas, S. y Zamora-Muñoz, C. 2002: Caracterización del estado ecológico de los ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP'). *Limnética*, 21, 175-185.
- Jones, C., Somers, K., Craig, B. and Reynoldson, T. 2004: Ontario benthos Biomonitoring Network: terms of reference. Ontario Ministry of Environmental, Canada.
- Klemm, D., Lewis P., Filk, F., y Lazorchak J. 1990: Macroinvertebrate field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters. Environmental monitoring systems laboratory. Cincinnati, Ohio.
- Merrit, R. y Cummins K. (eds). 1996: Introduction to the Aquatic Insects of North America. 3rd edition. Kendall/Hunt. Dubuque, Iowa.
- Ministerio del Ambiente de la Republica del Ecuador, 2003: Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (Tulas), Ecuador.
- Nirel, P. y Revaclier R. 2003: Authentication of a physico-chemical variability index in freshwaters: Relationship with biological quality. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 6(4), 449-453.
- Pardo, I., Álvarez, M., Casas, J.J., Moreno, J., Vivas, S., Bonada, N., Alba-Tercedor, J., Jáimez, P., Moyá, P., Prat, N., Robles, S., Toro, M. y Vidal-Abarca, M.R. 2002: El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de diversidad de hábitat. *Limnética*, 21, 115-133.
- Pino, W., Mena, D., Mosquera L., Caicedo P., Palacios, J., Castro A., Guerrero J. 2003: Diversidad de macroinvertebrados y evaluación de la calidad de

- agua de la quebrada La Bendición, Municipio de de Quibdo (Chocó, Colombia). *Acta biológica Colombiana*, vol 8, 23.
- Ríos, B. y Prat, N. 2004: Estudios de las condiciones de referencia de las cuencas del río Pita, San Pedro y Machangara. Departamento de Ecología, Universitat de Barcelona. Catalunya-España.
- Robayo, J., Robayo G., Zak, V. 2004: Plan de manejo del Bosque Protector Río Guajalito. Quito, Ecuador.
- Roldán, G. 2003: Bioindicación de la calidad de agua en Colombia, uso del método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia, Colombia.
- Rosenberg, D., Davies, J., Cobb, D., and Wiens, P. 1997: Protocols for measuring biodiversity: Benthic macroinvertebrates in fresh waters. Department of fisheries and oceans and Freshwater Institute, Winnipeg, Canada.
- Sarmiento, F. 1987: Antología ecológica del Ecuador. Editorial Casa de la Cultura Ecuatoriana, Ecuador.
- Segnini, S. 2003: El Uso de los macroinvertebrados béntonicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de aguacorrente. *Ecotrópicos*, 16, 45-63.
- Toro, J., Schuster J., Kurosawa J., Araya E., Contreras M. 2003: Diagnostico de la calidad del agua en sistemas lóticos utilizando diatomeas y macroinvertebrados Bentónicos como bioindicadores Rio Maipo (santiago: chile). Sociedad Chilena de de Ingeniería Hidráulica, XVI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica.
- Vannote, R., Minshall, W., Cummins, K., Sedell, J. y Cushing, C. 1980: The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37, 130-137.
- Wallace, B. y Webster J. 1996: The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. *Annual Reviews Entomological*, 41, 115-139.
- Zimmerman, M. C. 1993: The use of the biotic index as an indication of water quality. Pages 85-98, in *Tested studies for laboratory teaching*, Volume 5 (C.A. Goldman, P.L.Hauta, M.A. O'Donnell, S.E. Andrews, and R. van der Heiden, Editors). Proceedings of the 5th Workshop/Conference of the Association for Biology Laboratory Education (ABLE).
- Zúñiga de Cardoso, M.C. 2001: Los insectos como bioindicadores de calidad del agua. Primer Congreso Colombiano de zoología. Bogotá, Colombia.

## 11. Tablas

Río	Estación	Coordenadas
Guajalito	GC	0° 14' 46,5" S; 78° 47' 16,5" O
	GD	0° 14' 54,6" S; 78° 48' O
Palmeras	PC	0° 14' 50,4" S; 78° 48' 26,2" O
	PD	0° 14' 51,0" S; 78° 48' 19,3" O
Brincador	BC	0° 15' 6,8" S; 78° 48' 9,3" O
	BD	0° 15' 00,0" S; 78° 48' 12,3" O

Tabla 1. Coordenadas de estaciones de muestreo ubicadas en los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B) en el BPRG, Ecuador. Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D).

Río	Estación	pH	Conductividad ( $\mu$ S)	Oxígeno Disuelto (ppm)	Temperatura (°C)	Sólidos Totales (ppm)
Guajalito	GC	6,25 - 6,30	60,000 ( $\pm$ 0,0)	10,250 ( $\pm$ 0,612)	14,000 ( $\pm$ 0,0)	30,0
	GD	6,07 - 6,17	53,330 ( $\pm$ 0,577)	10,225 ( $\pm$ 0,225)	14,625 ( $\pm$ 0,479)	30,0
Palmeras	PC	6,37 - 6,41	50,000 ( $\pm$ 0,0)	10,000 ( $\pm$ 0,0)	16,000 ( $\pm$ 0,479)	30,0
	PD	6,35 - 6,41	60,000 ( $\pm$ 0,0)	10,250 ( $\pm$ 0,250)	15,625 ( $\pm$ 0,250)	30,0
Brincador	BC	6,25 - 6,28	30,000 ( $\pm$ 0,0)	9,313 ( $\pm$ 0,063)	13,750 ( $\pm$ 0,289)	20,0
	BD	6,28 - 6,30	30,000 ( $\pm$ 0,0)	10,250 ( $\pm$ 0,250)	15,000 ( $\pm$ 0,0)	20,0

Tabla 2. Valores medios y desviación estándar (entre paréntesis) de características físicas y químicas de los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B). Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D) en el BPRG, Ecuador.

Río	Estación	Altitud (msnm)	Profundidad (m)	Ancho (m)	Velocidad de Corriente (m/s)	Descarga (m <sup>3</sup> /s)	Sustrato
Guajalito	GC	1871	0,236 (± 0,123)	6,767 (± 1,504)	0,435 (± 0,435)	0,695	20/27/40/13
	GD	1893	0,214 (± 0,078)	4,487 (± 1,062)	0,284 (± 0,079)	0,273	7/20/40/33
Palmeras	PC	1899	0,25 (± 0,094)	7,733 (± 1,446)	0,288 (± 0,062)	0,557	13/27/40/20
	PD	1892	0,244 (± 0,078)	6,883 (± 1,125)	0,338 (± 0,144)	0,568	7/13/40/40
Brincador	BC	1924	0,157 (± 0,084)	5,100 (± 0,100)	0,280 (± 0,098)	0,224	20/13/40/27
	BD	1921	0,189 (± 0,095)	4,693 (± 0,346)	0,408 (± 0,153)	0,362	20/33/27/20

Tabla 3. Valores medios y desviación estándar (entre paréntesis) de características físicas de los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B). Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D) en la BPRG en Ecuador. (Sustrato %arena/%grava/%canto s/%bloques).

Río	Estación	Ordenes	Familias	# Individuos	Densidad (ind/m <sup>2</sup> )
Guajalito	GC	9	21	832	385,2
	GD	9	22	2028	938,9
Palmeras	PC	10	23	1662	769,4
	PD	8	21	1256	581,5
Brincador	BC	10	25	1724	798,2
	BD	9	25	1305	604,2

Tabla 4. Riqueza de Ordenes, Familias, número de individuos y densidad de macroinvertebrados registrados en los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B) en la BPRG Ecuador. Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D).

ORDEN	FAMILIA	GD	GC	PD	PC	BD	BC	GTF
Hidracarina	Hidracarina	7	2	3	4	2	4	Pred
	Elmidae	164	74	81	123	182	140	Rasp
Coleoptera	Gyrinidae	-	-	-	-	1	3	Pred
	Psephenidae	3	5	7	11	35	42	Rasp
	Ptilodactylidae	3	1	-	1	2	4	Trit
Colembolla	Colembolla	-	-	-	1	-	-	Col
	Ceratopogonidae	6	16	6	31	6	6	Pred
	Chironomidae	470	52	518	439	192	116	Col/Fil
Diptera	Empididae	61	42	32	49	184	165	Pred
	Simuliidae	45	3	39	20	10	9	Fil
	Tabanidae	3	1	3	1	-	-	Pred
	Tipulidae	7	8	12	6	3	3	Trit
	Baetidae	164	136	39	51	47	86	Col
Ephemeroptera	Leptohyphidae	84	16	95	202	204	177	Col
	Leptophlebiidae	5	-	11	24	3	42	Col
	Oligoneuridae	-	-	-	-	-	1	?
Hemiptera	Naucoridae	-	-	-	-	1	5	Perf
	Vellidae	-	2	-	1	1	1	Perf
Lepidoptera	Pyralidae	11	1	5	2	4	2	Trit
Megaloptera	Corydalidae	25	2	25	26	-	5	Pred
	Calopterygidae	-	-	-	1	2	-	Pred
Odonata	Gomphidae	1	10	1	1	1	7	Pred
	Libellulidae	-	-	1	-	1	-	Pred
Plecoptera	Perlidae	7	-	-	-	3	15	Pred
	Glossosomatidae	30	12	17	25	12	8	Rasp
	Helicopsychidae	119	333	208	406	119	413	Rasp
Trichoptera	Hydropsychidae	796	90	135	210	188	402	Fil
	Hydroptilidae	1	14	-	-	42	11	Rasp
	Leptoceridae	16	12	18	27	60	57	Pred
Total		2028	832	1256	1662	1305	1724	

Tabla 5. Número total de individuos de cada taxa colectados en los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B) en el BPRG Ecuador. Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D). Grupo trófico funcional asignado a cada taxa: Pred=Predador, Rasp=Raspador, Trit=Triturador, Col=Colector, Fil=Filtrador, Perf=Perforador, ?=No determinado.

Río	Estación	S		H'	
Guajalito	GC	0,670	(±0,190)	1,697	(±0,470)
	GD	0,752	(±0,019)	1,805	(±0,064)
Palmeras	PC	0,798	(±0,031)	1,978	(±0,103)
	PD	0,738	(±0,074)	1,826	(±0,186)
Brincador	BC	0,833	(±0,042)	2,167	(±0,171)
	BD	0,812	(±0,106)	2,069	(±0,301)

Tabla 6. Valores medios y desviación estándar (entre paréntesis) de puntajes de índices de diversidad de Simpson (S) y Shannon (H') los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B) en el BPRG Ecuador. Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D).

Río	Estación	BMWP	IBMWP	BMWP/Col	SENSIBILIDAD
Guajalito	GC	38,000 (±10,61)	50,250 (±13,00)	79,700 (±24,40)	61,200 (±21,60)
	GD	53,500 (±7,720)	70,250 (±8,850)	106,500 (±18,48)	85,500 (±18,48)
Palmeras	PC	44,750 (±10,44)	65,250 (±11,93)	106,000 (±10,10)	87,500 (±8,890)
	PD	46,750 (±12,53)	68,500 (±15,35)	104,500 (±22,20)	84,000 (±14,63)
Brincador	BC	67,750 (±7,140)	81,250 (±7,800)	129,000 (±15,12)	104,25 (±9,910)
	BD	62,500 (±9,330)	80,000 (±13,54)	116,500 (±15,93)	86,750 (±6,400)

Tabla 7. Valores medios y desviación estándar (entre paréntesis) de puntajes de índices biológicos BMWP, IBMWP, BMWP/Col y de Sensibilidad los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B) en el BPRG Ecuador. Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D).

Parámetro	Unidades	TULAS	
		Consumo humano	Preservación flora y fauna
Oxígeno disuelto	ppm - mg/l	> 6	> 6
Conductividad	µS/cm	No se menciona	No se menciona
Potencial hidrogeno		6 a 9	6, 5 a 9
Temperatura (agua)	°C	Condición natural +o- 3°C	Condición natural +3, máximo 20°C
Sólidos Totales	ppm – mg/l	1000	No se menciona

Tabla 8. Valores máximos permisibles de características físicas y químicas, establecidos por la Legislación Ambiental Ecuatoriana (TULAS 2003).

(a)

Calidad	Puntaje	Significado	Color
Buena	>150, 101-120	Aguas muy limpias a limpias	Azul
Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
Critica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
Muy Critica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

(b)

Río	BMWP	IBMWP	BMWP/Col	Sensibilidad
Guajalito	45,75 (±11,93)	60,25 (±14,84)	93,13 (±24,63)	73,38 (±22,70)
Palmeras	47,56 (±11,40)	67,33 (±12,09)	105,9 (±15,09)	85,75 (±11,36)
Brincador	64,78 (±7,726)	79,56 (±10,11)	121,4 (±15,34)	95,50 (±12,13)

Tabla 9. (a) Significado e interpretación de valores de índices biológicos BMWP, IBMWP, BMWP/Col y de Sensibilidad (b) Puntajes medios y desviación estándar (entre paréntesis) de puntajes de índices biológicos BMWP, IBMWP, BMWP/Col y de Sensibilidad para los ríos Guajalito, Palmeras y Brincador.

## 12. Figuras

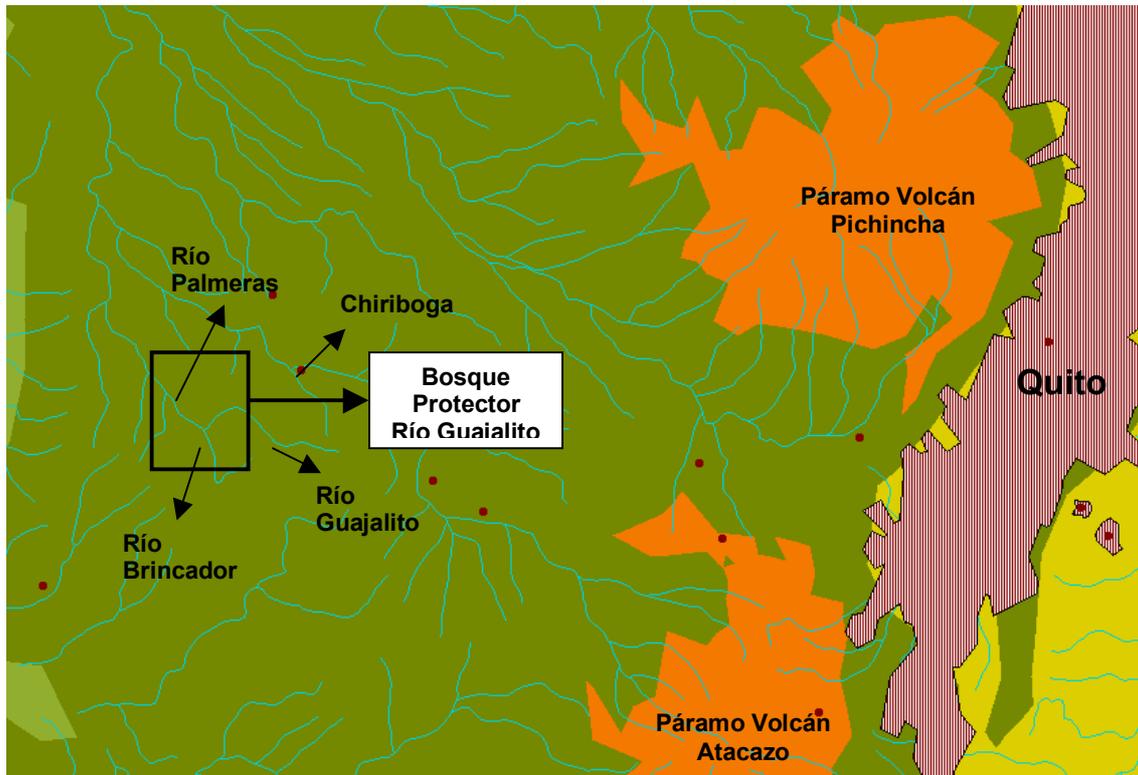


Figura 1. Ubicación Bosque Protector Río Guajalito (BPRG), provincia de Pichincha, Ecuador. Escala 1:5000 (Ecociencia 2002).

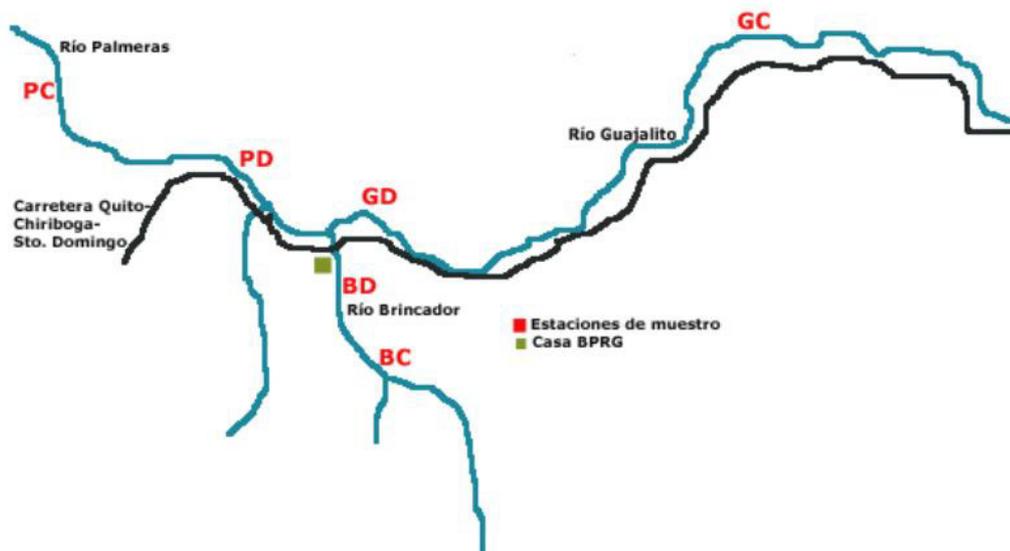


Figura 2. Ubicación de estaciones de muestreo en los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B) en el BPRG Ecuador. Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D). Sin escala.

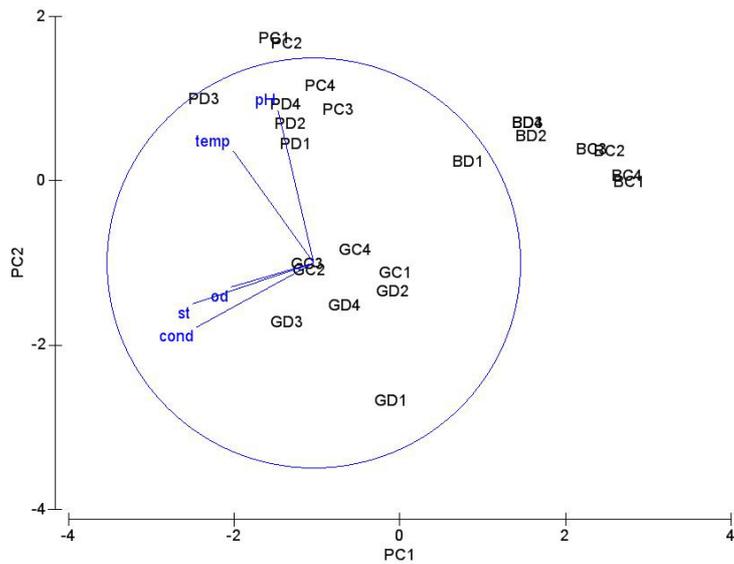


Figura 3. Análisis de componentes principales de características químicas de los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B). Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D).

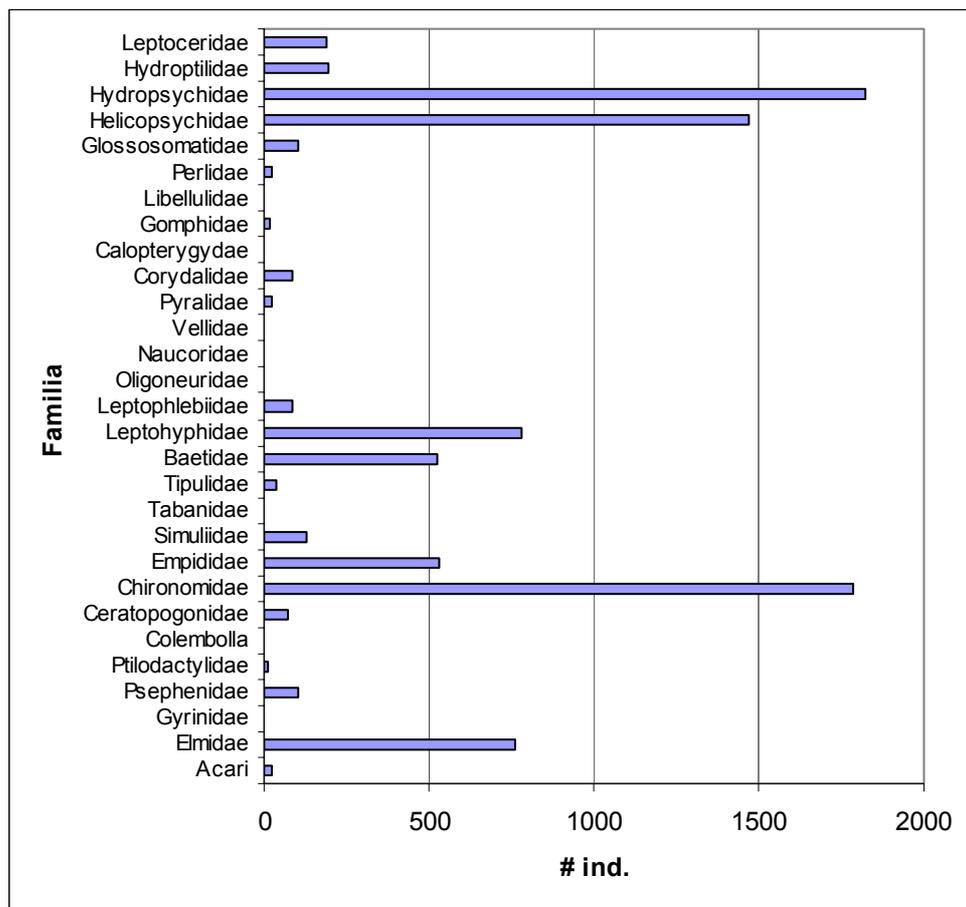


Figura 4. Número total de taxa y abundancia relativa de individuos de macroinvertebrados colectados en los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B).

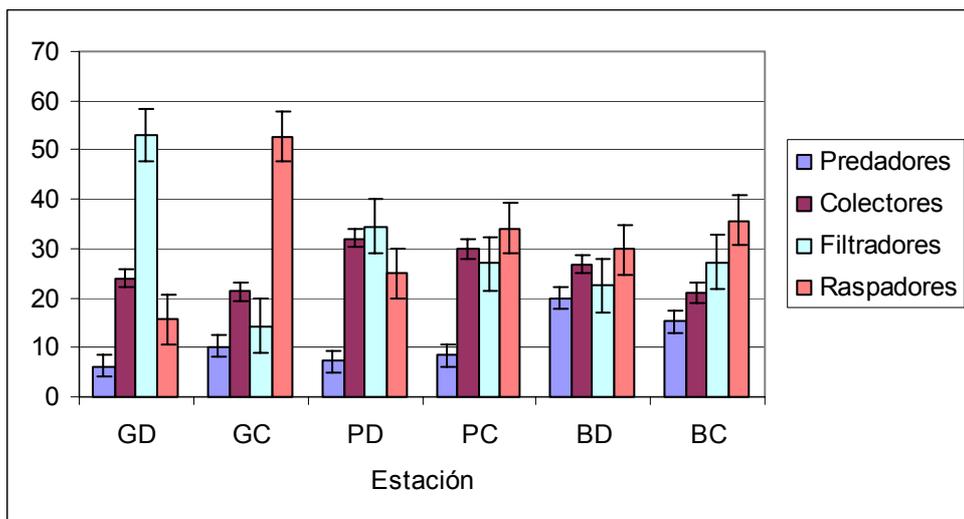


Figura 5. Proporción en términos de abundancias de los grupos tróficos funcionales más representativos: Predadores, Colectores, Filtradores y Raspadores en los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B) según Merrit y Cummings 1996. Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D). Error Estándar representado por barras.

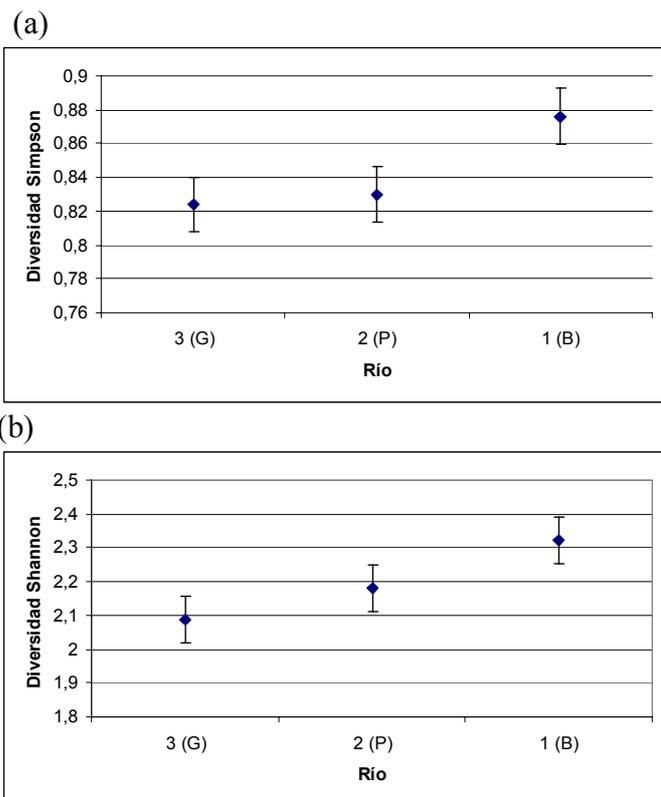


Figura 6. (a) Índice de diversidad de Simpson (b) Índice de diversidad de Shannon registrados en los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B). Error Estándar representado por barras.

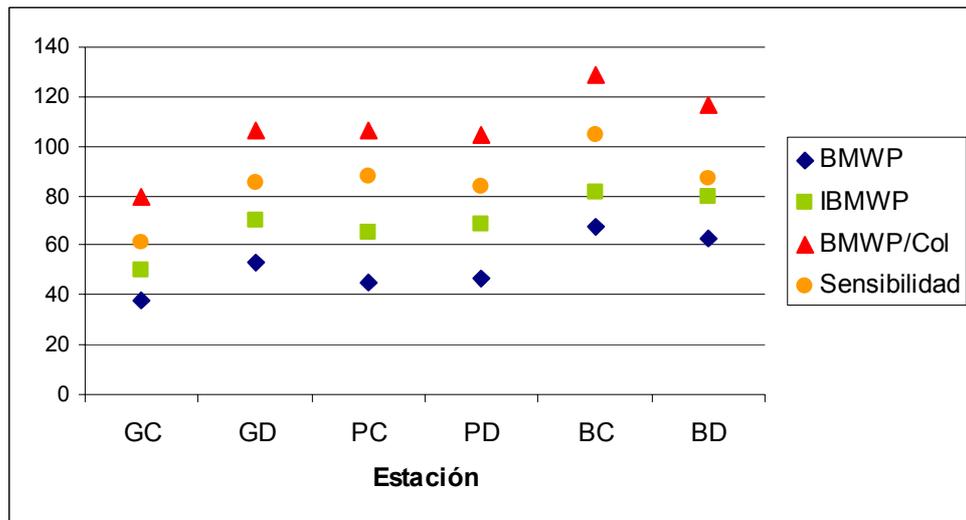


Figura 7. Puntajes de índices biológicos BMWP, IBMWP, BMWP/Col y de Sensibilidad los ríos Guajalito (G), Palmeras (P) y Brincador (B). Estaciones cubiertas con vegetación (C) y descubiertas (D).

## 13. Anexos



Río Guajalito con cobertura (GC)



Río Guajalito sin cobertura (GD)



Río Palmeras con cobertura (PC)



Río Palmeras sin cobertura (PD)



Río Brincador con cobertura (BC)



Río Brincador sin cobertura (BD)

Anexo I. Fotografías de estaciones de muestreo

(a)

Variable	GL	F/H	P
Temperatura (°C)	2	15,48	0,0001
pH	2	24,06	0,0001
Oxígeno disuelto (ppm)	2	1,83	0,18
Conductividad (S)	2	142,73	0,0001
Sólidos totales* (ppm)	2	15,36	0,0001

(b)

Variable	GL	F/H	P
Abundancia	2	0,02	0,98
Familias	2	4,25	0,03
Shannon*	2	8,44	0,02
Simpson*	2	7,52	0,02
BMWP	2	9,25	0,001
IBMWP	2	5,29	0,01
BMWP/Col	2	4,78	0,02
Sensibilidad	2	3,73	0,04

Anexo II. Valores de P de análisis ANOVA y Kruskal Wallis (diferenciados con un asterisco\*) entre los ríos Guajalito, Palmeras y Brincador para (a) variables físico-químicas y (b) variables biológicas. GL=grados de libertad, F/H= valor F (ANOVA), valor H (Kruskal-Wallis), P= valor p.

(a)

Variable	GL	F/H	P
Temperatura (°C)	1	1,85	0,19
pH	1	2,92	0,1
Oxígeno disuelto (ppm)	1	3,84	0,06
Conductividad (S)	1	0,19	0,66
Sólidos totales* (ppm)	1	0,04	0,84

(b)

Variable	GL	F/H	P
Abundancia	1	4,94	0,04
Familias	1	2,1	0,16
Shannon*	1	0,19	0,67
Simpson*	1	0,3	0,58
BMWP	1	1,28	0,27
IBMWP	1	0,96	0,34
BMWP/Col	1	2,38	0,14
Sensibilidad	1	4,89	0,04

Anexo III. Valores de P de análisis ANOVA y Kruskal Wallis (diferenciados con un asterisco\*) entre estaciones de muestreo con y sin cobertura vegetal para (a) variables físico-químicas y (b) variables biológicas. GL=grados de libertad, F/H= valor F (ANOVA), valor H (Kruskal-Wallis), P= valor p.