

**COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS Y LA CALIDAD  
BIOLÓGICA DE CUATRO RÍOS DE PUERTO RICO**

Por

PAOLA MILENA ESCOBAR RAMOS

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

EN

BIOLOGÍA

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO  
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ  
2010

Aprobado por

---

Jarrod Thaxton, Ph.D  
Miembro del Comité Graduado

---

Fecha

---

Jaime Acosta Martínez, Ph.D  
Miembro del Comité Graduado

---

Fecha

---

Carlos Santos Flores, Ph.D  
Presidente del Comité Graduado

---

Fecha

---

Megh Goyal, Ph.D  
Representante de Estudios Graduados

---

Fecha

---

Nanette Diffoot Carlo, Ph.D  
Director del Departamento

---

Fecha

## ABSTRACT

Four communities of aquatic macroinvertebrates were evaluated, two reference streams, Cupeyes River and La Olimpia Quebrada, and two impaired streams Guanajibo and Rosario Rivers. Drifting organism and those from leaf packs, rocks and riparian vegetation were collected. The communities were dominated by insects in the orders Ephemeroptera (*F. taino*), Diptera (Chironomidae), and Trichoptera (*P. pulchrus* y *H. minima*) as well as non insects such as gastropods (*M. tuberculata*). With respect to habitat type no significant differences in abundances were found. However we observed that leaf packs supported more individuals and, were more similar in taxa when compared to other microenvironments. Futhermore hydroperiods affected abundance. The reference streams shared taxa sensitive to pollution (*Blepharicera* sp.), organisms indicator of enrichment by organic matter (*Hyallolela* sp.) and differences in the presence such as *Hagenulus* sp. *Neohagenulus* sp. and *B. carmencita*. The biological quality of the rivers was that of unaltered water, criterion that should be reevaluated in function of biological features of the groups of macroinvertebrates collected.

## RESUMEN

Cuatro comunidades de macroinvertebrados acuáticos fueron estudiadas, dos sistemas lóticos considerados como de referencia, río Cupeyes y la quebrada La Olimpia, y dos clasificados como impactados, río Rosario y Guanajibo en Puerto Rico. Fueron colectados organismos derivantes y de microambientes como hojarasca, roca y vegetación riparia. Estas comunidades estuvieron dominadas por insectos de los órdenes Ephemeroptera (*F. taino*), Diptera (Chironomidae), Trichoptera (*P. pulchrus* y *H. minima*) y por no insectos como Gasteropoda (*M. tuberculata*). A nivel de microambientes no se encontraron diferencias significativas en cuanto a la abundancia de los organismos por hábitat evaluado pero se observó que la hojarasca soporta un mayor número de individuos, similitudes en composición de taxones con respecto a los demás microambientes y un efecto en cuanto a las temporadas de lluvias y estiaje en relación con la abundancia de los organismos. Los ecosistemas poco impactados compartieron taxones sensibles a la contaminación (*Blepharicera* sp.), y organismos indicadores de enriquecimiento por materia orgánica (*Hyallolela* sp.) y diferencias en cuanto a la presencia de especies como *Hagenulus* sp. *Neohagenulus* sp. y *B. carmencita*.. La calidad biológica de los ríos fue de aguas no alteradas de forma sensible, criterio que debe ser reevaluado en función de las características biológicas de los grupos de macroinvertebrados colectados.

## DEDICATORIA

*A mi madre Enit a mi padre José por su amor y confianza, a mi gran amor John Jairo por su amor y paciencia*

## AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Biología por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado.

A los miembros del comité por su comprensión durante este proceso. Al Ph.D Carlos Santos Flores por aceptarme como su estudiante graduada, su paciencia, sus enseñanzas, tiempo y espacio como colaborador en campo, orientaciones y chistes.

A mis amigas Ruth Roman por su amistad, compañía, ecuanimidad, espiritualidad y complicidad. A C. Marcela Ospina por su amistad, su compañía durante las jornadas de laboratorio, su complicidad y buena energía.

A todas las personas que estuvieron presentes en este proceso, en mi establecimiento en Mayagüez y jornadas de “miqueo” en la playa o sentados en algún hospedaje.

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS .....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE APÉNDICES.....	X
INTRODUCCION .....	1
OBJETIVOS .....	4
REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
Composición y Estructura de las Comunidades de Macroinvertebrados Acuáticos: Experiencias en el Trópico .....	5
Evaluación Biológica de los Sistemas Acuáticos: Aplicación del Biological Monitoring Working Party (BMWP') en Ecosistemas Lóticos Tropicales .....	16
MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
Áreas de Estudio .....	23
Fase de Campo.....	25
Fase de Laboratorio.....	27
Análisis de los Datos.....	28
Evaluación de la Calidad Biológica de los Ríos .....	30
RESULTADOS.....	33
Comunidad de Macroinvertebrados: Ríos Cupeyes, Olimpia, Guanajibo y Rosario .....	33
Evaluación de los Microhábitats: Deriva.....	39
Evaluación de los Microhábitats: Hojarasca y Vegetación.....	43
Evaluación de Microhábitats: Roca .....	47
Análisis Multivariados: ríos Cupeyes, Olimpia, Guanajibo y Rosario.....	51
Descripción de los Parámetros Físico – Químicos de los ríos Cupeyes, Olimpia, Guanajibo y Rosario .....	53
Evaluación Biológica de los ríos Cupeyes, Olimpia, Rosario y Guanajibo.....	57
DISCUSION .....	59
CONCLUSIONES .....	71
RECOMENDACIONES.....	73
BIBLIOGRAFIA .....	74

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valor del índice BMWP' para las diferentes condiciones bióticas del agua.....	30
Tabla 2. Criterio de clasificación de calidad del agua y grado de contaminación a partir del IBF	32
Tabla 3. Índices de Riqueza y Diversidad de especies para los cuatro ríos estudiados. S: total de especies; N: total de individuos; d: Riqueza de Especies de Margalef; H': Shannon Wiener; $\lambda$ : Simpson.....	34
Tabla 4. Valores de los índices de riqueza y diversidad de especies derivantes de los cuatro ríos estudiados. S: total de especies; N: total de individuos; d: riqueza de especies de Margalef; H': Shannon Wiener; $\lambda$ : Simpson.....	40
Tabla 5. Valores de los índices de riqueza y diversidad de especies para el microhábitat de hojarasca de los cuatro ríos estudiados y vegetación (Guanajibo). S: total de especies; N: total de individuos; d: riqueza de especies de Margalef; H': Shannon Wiener; $\lambda$ : Simpson.....	44
Tabla 6. Valores de los índices de riqueza y diversidad de especies para el microhábitat de roca de los cuatro ríos estudiados. S: total de especies; N: total de individuos; d: riqueza de especies de Margalef; H': Shannon Wiener; $\lambda$ : Simpson.....	48
Tabla 7. Valores promedio de los parámetros físico – químicos de los ríos estudiados. NH <sub>3</sub> : Amonio no ionizado; NO <sub>3</sub> : Nitrato; NO <sub>2</sub> : Nitrito; PO <sub>4</sub> : Fosfato. mg/L: miligramos por litro; °C: grados centígrados; $\bar{x}$ : promedio; $\sigma$ : desviación estándar. ....	54
Tabla 8. Valores del índice BMWP' modificado, BMWP'Cu (Cuba) y BMWP'Co (Colombia) para los ríos estudiados. ....	57
Tabla 9. Índice Biótico de Familias (Hilsenoff), obtenido a partir de los valores de tolerancia del BMWP'Cu (Cuba) y BMWP'Co (Colombia) de los ríos estudiados. ....	58

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa, ubicación de las áreas de estudio (Íconos amarillos). Fuente Google Earth .....	24
Figura 2. Imagen del paisaje general de las áreas de muestreo. Fotos de izquierda a derecha río Guanajibo y río Rosario. ....	26
Figura 3. Inventario faunístico de la comunidad de macroinvertebrados de los ríos estudiados. (abundancia relativa porcentaje %) de los órdenes de macroinvertebrados colectados; (a) río Cupeyes, (b) quebrada La Olimpia, (c) río Guanajibo y (d) río Rosario. ....	36
Figura 4. Gráfica de conglomerados, morfoespecies colectadas en las áreas de estudio. ....	38
Figura 5. Inventario faunístico de los organismo derivantes en las áreas de estudio (abundancia relativa - porcentaje %): a. río Cupeyes; b. quebrada La Olimpia; c. río Rosario; d. río Guanajibo. ....	41
Figura 6. Variaciones temporales de la riqueza y diversidad de especies derivantes y descritas para las áreas de estudio: a. río Cupeyes; b. quebrada La Olimpia; c. río Rosario; d. río Guanajibo. ....	42
Figura 7. Inventario faunístico de las especies colectadas (abundancia relativa – porcentaje %) en la hojarasca de las áreas de estudio: a. río Cupeyes; b. quebrada La Olimpia; c. río Rosario; d. río Guanajibo (vegetación). ....	45
Figura 8. Variaciones temporales de la riqueza y diversidad de especies, colectadas en hojarasca y vegetación, descritos para la áreas de estudio: a. río Cupeyes; b. quebrada La Olimpia; c. río Rosario; d. río Guanajibo. ....	46
Figura 9. Inventario faunístico de las especies colectadas (abundancia relativa, porcentaje %) en rocas de las áreas de estudio: a. río Cupeyes; b. quebrada La Olimpia; c. río Rosario; d. río Guanajibo. ....	49
Figura 10. Variaciones temporales de la riqueza y diversidad de especies colectadas en rocas, descritos para las áreas de estudio: a. río Cupeyes; b. quebrada La Olimpia; c. río Rosario; d. río Guanajibo. ....	50
Figura 11. Análisis Clúster, relación de similitud (índice Bray - Curtis) entre los microhábitats examinados en las áreas de estudio: a. río Cupeyes; b. quebrada La Olimpia; c. río Rosario; d. río Guanajibo. ....	52

Figura 12. Descripción temporal de los parámetros físicoquímicos de las áreas de estudio; a. Amonio no ionizado (mg/L); b. Nitrato (mg/L); c. Nitrito (mg/L).....	55
Figura 13. Descripción temporal de los parámetros físicoquímicos de las áreas de estudio; a. Fosfato (mg/L); b. Temperatura (°C ); c. Oxígeno disuelto (mg/L). ....	56

## LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1. Estructura taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos colectados en el río Cupeyes.....	87
Apéndice 2. Análisis de variancia no paramétrica Kruskall Wallis: Abundancia (número de organismos) por microhábitats examinados en el río Cupeyes.....	88
Apéndice 3. Análisis de variancia no paramétrica Kruskall Wallis: Abundancia (número de organismos) por meses de muestreo en el río Cupeyes .....	88
Apéndice 4. Promedios de precipitación registrada para el área Oeste (Estación de aeropuerto de Mayagüez).....	89
Apéndice 5. Análisis de correlación de Spearman: Promedios de precipitación durante los meses de muestreo en el río Cupeyes vs Abundancia de los organismos. ....	89
Apéndice 6. Estructura taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos colectados en la quebrada La Olimpia.....	90
Apéndice 7. Análisis de variancia no paramétrica Kruskall Wallis: Abundancia (número de organismos) por microhábitats examinados en la quebrada La Olimpia.....	91
Apéndice 8. Análisis de variancia no paramétrica Kruskall Wallis: Abundancia (número de organismos) por meses de muestreo en la quebrada La Olimpia.....	91
Apéndice 9. Promedios de precipitación registrada para Adjuntas (Estación de Adjuntas).....	91
Apéndice 10. Análisis de correlación de Spearman: Promedios de precipitación durante los meses de muestreo en la quebrada La Olimpia vs Abundancia de los organismos.....	91
Apéndice 11. Estructura taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos colectados en río Rosario .....	92
Apéndice 12. Análisis de variancia no paramétrica Kruskall Wallis: Abundancia (número de organismos) por microhábitats examinados en el río Rosario.....	93
Apéndice 13. Análisis de variancia no paramétrica Kruskall Wallis: Abundancia (número de organismos) por meses de muestreo en el río Rosario.....	93
Apéndice 14. Análisis de correlación de Spearman: Promedios de precipitación durante los meses de muestreo en la quebrada La Olimpia vs Abundancia de los organismos.....	93
Apéndice 15. Estructura taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos colectados en el río Guanajibo.....	94

Apéndice 16. Análisis de variancia no paramétrica Kruskall Wallis: Abundancia (número de organismos) por microhábitats examinados en el río Guanajibo.....	95
Apéndice 17. Análisis de variancia no paramétrica Kruskall Wallis: Abundancia (número de organismos) por meses de muestreo en el río Guanajibo .....	95
Apéndice 18. Análisis de correlación de Spearman: Promedios de precipitación durante los meses de muestreo en la quebrada La Olimpia vs Abundancia de los organismos.....	95
Apéndice 19. Criterios numéricos establecidos por el BMWP' (modificado) y las versiones de Cuba (BMWP'Cu) y Colombia (BMWP'Co). Puntuaciones asignados a las familias de macroinvertebrados bioindicadoras del río Cupeyes.....	96
Apéndice 20. Criterios numéricos establecidos por el BMWP' (modificado) y las versiones de Cuba (BMWP'Cu) y Colombia (BMWP'Co). Puntuaciones asignados a las familias de macroinvertebrados bioindicadoras de la quebrada Olimpia.....	97
Apéndice 21. Criterios numéricos establecidos por el BMWP' (modificado) y las versiones de Cuba (BMWP'Cu) y Colombia (BMWP'Co). Puntuaciones asignados a las familias de macroinvertebrados bioindicadoras del río Rosario. ....	98
Apéndice 22. Criterios numéricos establecidos por el BMWP' (modificado) y las versiones de Cuba (BMWP'Cu) y Colombia (BMWP'Co). Puntuaciones asignados a las familias de macroinvertebrados bioindicadoras del río Guanajibo. ....	99

## INTRODUCCION

El término macroinvertebrado acuático hace referencia a los organismos que pueden ser retenidos por una malla de 250 a 300  $\mu\text{m}$  (Alba – Tercedor 1996). En su mayoría, una comunidad de macroinvertebrados está compuesta por hexápodos, crustáceos, oligoquetos, gasterópodos e hirudíneos.

La ecología de estos organismos se encuentra influenciada por múltiples escalas que actúan a nivel temporal y espacial (Allan y Johnson 1997) como entradas de materia orgánica aprovechadas como fuente de alimentación, que se acumulan en las rocas y a su vez colonizadas (Pringle *et al.*, 1988, Richardson 1992), y procesos físicos como las crecientes o estiaje, producto de los períodos de lluvias que afectan a los microambientes (Schlosser 1982), donde se establecen y se concentran los individuos durante alguna etapa de su ciclo de vida. Por otra parte, la diversidad y la abundancia de una comunidad de macroinvertebrados dependen de la heterogeneidad de los hábitats y del tipo de substrato presente en los ríos (Cummins 1972, 1974; Parker 1989; Collier *et al.* 1998; Dudgeon y Wu 1999).

De acuerdo con Allan y Castillo (2007), los organismos se adaptan a condiciones como factores físico - químicos de su ambiente, fuentes de alimentación e interacciones con otros organismos; por lo tanto, se reconoce que una variación en el ecosistema generará cambios en la estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados. Consecuentemente, la estructura de esta comunidad es considerada como indicadora de condiciones generales de un sistema.

Los macroinvertebrados acuáticos han sido identificados como excelentes indicadores de calidad de agua porque responden rápidamente a los cambios ambientales. Sus abundancias,

diversidad, y ciclos de vida son ideales al momento de realizar evaluaciones ecológicas del estado de un ecosistema acuático (Hellawell 1986; Pinilla 1998; Fenoglio et al., 2002; Galbrand et al., 2007).

Basados en la información anterior, el conocimiento de esta fauna en zonas de clima templado como Norte América y Europa, es muy amplio, al igual que la aplicación de métodos de bioevaluación que involucran a los macroinvertebrados (Roldán 1999). Los países tropicales comparten similitudes con la fauna de climas templados, pero a nivel taxonómico se encuentran algunas diferencias (por ejemplo: ausencia de algunos taxones). Incluso, se hallan contrastes entre las faunas de algunas regiones tropicales debido a las diferencias altitudinales que se presentan dentro de las mismas y, también, los vacíos a niveles específicos en determinados grupos, siendo una de las limitantes que existen alrededor de este tema.

Estos componentes influyen sobre ciertos atributos en la composición de las comunidades de macroinvertebrados tropicales y, por ello, la aplicación de índices de diversidad y métodos de evaluación biológica en los sistemas acuáticos, debe realizarse bajo estas consideraciones. Uno de los métodos de bioevaluación de mayor uso y aceptación es el “Biological Monitoring Water Party” (BMWP), el cual se basa en la tolerancia de las familias de macroinvertebrados a la contaminación.

En Puerto Rico, los estudios relacionados con los macroinvertebrados señalan a investigadores como Danforth (1928), García – Díaz (1983), Denning (1947) (citado en Flint 1964), Flint (1964), Covich *et al.* (1999), Scatena y Johnson (2000), entre otras investigaciones concentradas en la Estación Experimental de Luquillo. Los mencionados, desarrollaron estudios en los cuales se describen aspectos taxonómicos, ecológicos y registros de especies

pertenecientes a este grupo de organismos. Pero aún se requiere otros estudios donde se integren las descripciones de las comunidades de macroinvertebrados de los sistemas acuáticos de la isla. A su vez, ésta información permitirá la aplicación de métodos de evaluación biológica.

Esta investigación fue llevada a cabo en el río Cupeyes y la quebrada Olimpia, ambos considerados sistemas no impactados o conservados, y los ríos Guanajibo y Rosario, valorados como sistemas impactados. En ellos se realizó la descripción de la comunidad de macroinvertebrados y se examinaron los microambientes de hojarasca, roca, vegetación riparia y deriva. Además, a partir de la estructura de la comunidad, se evaluó la calidad biológica de las cuencas con el método de BMWP modificado.

## OBJETIVOS

### General

- Caracterizar la comunidad de macroinvertebrados de dos ríos no impactados y dos ríos impactados para determinar la calidad biológica de estos ecosistemas acuáticos con base en la presencia y ausencia de familias.

### Específicos

- Identificar taxonómicamente los individuos que componen la comunidad de macroinvertebrados.
- Determinar la variación en composición de taxones a nivel de microhábitats.
- Determinar la variación en composición de taxones en los ríos conservados vs. ríos impactados.
- Describir la variación temporal de los parámetros físicos - químicos del agua de los ríos.
- Realizar la evaluación biológica de las cuencas con base en el BMWP' modificado para el trópico.
- Comparar la información biológica de los macroinvertebrados de acuáticos con la información biológica del perifitón de los ríos conservados.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Composición y Estructura de las Comunidades de Macroinvertebrados Acuáticos: Experiencias en el Trópico**

La distribución y la abundancia de los macroinvertebrados bentónicos se pueden afectar por las características físicas del sustrato, la cantidad de materia orgánica (Ward 1992 citado en Velázquez y Miserendino 2003), heterogeneidad de los hábitats (Parker 1989) y la disponibilidad de sustratos. Otro factor, en relación a la composición de especies y diversidad de macroinvertebrados, es la altitud. Específicamente, la fauna tropical se caracteriza por su riqueza de especies a nivel de grupos como crustáceos, prosobranquios, gasterópodos, odonatos, heterópteros y tricópteros (Jacobsen *et al.*, 2008).

McCafferty y Lugo (1996) realizaron una revisión taxonómica sobre los efemerópteros de Centroamérica, luego de que Edmunds *et al.* (1976) publicaran una primera lista de estos organismos. Esta revisión comprende un listado de 104 especies de efemerópteros junto con nuevos registros de especies sólo conocidas, hasta el momento, en Norte América y Sur América como: *Caenis bajaensis* (Costa Rica), *Cloeodes excogitatus* (Guatemala), *C. redactus* (Honduras), *Farrodes texanus* (Belize), *Paracloeodes minutus* (Costa Rica y Honduras) y *Thraulodes speciosus* (Guatemala).

Fenoglio *et al.* (2002) examinaron la comunidad de macroinvertebrados del río San Juan, Nicaragua, y aplicaron varios índices ecológicos. Los organismos encontrados pertenecían a los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera, Heteroptera, Zygoptera, Anisoptera, Diptera, Lepidoptera, Megaloptera, Basommatophora, Mesogastropoda y Haplotáxida. La aplicación de los índices Biótico Esteso, Simpson, Shanon Wiever, Similaridad, Margalef, e Índice Biótico de Familias

mostraron una correspondencia entre el comportamiento de la comunidad de organismos y las condiciones ambientales del lugar de estudio.

Ramírez *et al.* (1998) examinaron el efecto del tipo de hábitat sobre la comunidad de macroinvertebrados en dos ríos tropicales de Costa Rica: Carbón y Gandoca. En este estudio, los hábitats estudiados fueron áreas de depósito de arena, de grava, rocas en áreas de rápidos y hojarasca. La comunidad de macroinvertebrados estuvo compuesta en su mayoría por insectos: Ephemeroptera y Diptera; y por fauna no insecta como decápodos y gasterópodos. *Thraulodes* (Leptoplhebiidae) fue el género más abundante en el río Carbón, mientras, en el río Gandoca los efemerópteros fueron poco abundantes. Chironomidae y Tipulidae fueron los grupos de dípteros comunes para ambos sistemas. En cuanto a los microhábitats, los autores observaron que: (i) la hojarasca estuvo compuesta por colectores (Chironomidae, Decapoda, Leptohiphidae), filtradores (Hydropsychidae), depredadores (Odonata), trituradores (Calamoceratidae); (ii) en áreas de depósito de arena hubo colectores (Chironomidae, Decapoda), depredadores (*Progomphus*) y algunos raspadores (Gasteropodos); (iii) en áreas de depósito de grava filtradores (Trichoptera), colectores (Chironomidae, Decapoda) y depredadores (Tipulidae) y (iv) se hallaron en las rocas, colectores (Chironomidae, Leptohiphidae), depredadores (Odonata) y raspadores (*Thraulodes*, gasterópodos y Helicopsychidae).

Herrera (2009) estudió la comunidad de insectos acuáticos en el río Esparza (Costa Rica), teniendo en cuenta escalas temporales y espaciales. Para esto, durante la época seca y lluviosa, se colectaron organismos en arena, grava, rocas pequeñas, hojarasca, palos, materia orgánica, lugares de corriente y con poca corriente o piscina. El autor obtuvo un total de 1,837 individuos, agrupados en 20 familias y 26 géneros; de éstos los más comunes y abundantes para los microhábitats de interés fueron *Farrodes* sp., *Leptohiphes* sp., *Chimarra* sp., y *Argia* sp. En el

estudio no se encontró diferencias entre los lugares de corriente con los de poca corriente, pero sí hubo diferencias entre las temporadas de muestreo. Respecto a la riqueza de especies, se hallaron diferencias a nivel de sitios de muestreo y no entre hábitats.

Principe (2008) condujo un estudio donde examinó el ensamblaje taxonómico y el tamaño estructural de los macroinvertebrados en varios hábitats en la estación biológica La Selva (Costa Rica). De acuerdo al tipo de sustrato, se caracterizaron los hábitats de donde fueron colectados los organismos. Estos hábitats mostraron características físicas distintas con respecto a la composición del sustrato. Se colectaron un total de 36 taxones, siendo *Simulium* sp., (Diptera) el más abundante en los hábitats de sustrato duro o grueso. Hydropsychidae (Trichoptera), Tricladida, Hydrachanidia, Oligochaeta, Bivalvia y Gasteropoda también estuvieron presentes en este hábitat; mientras que Tanypodinae, Chironominae, Gomphididae y Libellulidae fueron los taxones principales para los hábitats de sustrato fino o de arcilla. Sin embargo, la biomasa total de macroinvertebrados no se diferenció entre hábitats y el tamaño de las clases se encontró uniformemente distribuido en la comunidad.

En la provincia Limón (Costa Rica), Lorion y Kennedy (2009) evaluaron y compararon la eficacia de la acumulación de vegetación riparia producto de la deforestación sobre la comunidad de macroinvertebrados entre el Valle del río Sixaola y la Costa Caribe. Tres ambientes fueron comparados: (i) áreas adyacentes con bosque conservado, (ii) zona de pastoreo con vegetación riparia, y (iii) y áreas de pastoreo sin vegetación riparia. No se obtuvieron diferencias significativas en densidad en las áreas estudiadas; pero las áreas de pastoreo pueden alterar la composición de macroinvertebrados reduciendo la diversidad y eliminando los individuos sensibles, mientras que la presencia de vegetación acumulada reduce los efectos deforestación sobre la comunidad.

Por otra parte Boyero y Bosch (2004) observaron que la abundancia de organismos se ve aumentada en lugares poco profundos de corriente y de substrato arenoso. La riqueza de especies aumentó en microambientes con corriente y roca, dado que estas poseen una gran superficie que es aprovechada para el asentamiento de los organismos.

La comunidad de insectos acuáticos, asociados a condiciones de contaminación, fue estudiada en el río Curundú (Panamá). Se colectaron 57 taxones, 51 géneros y 7100 individuos. Los géneros más abundantes fueron *Chironomus*, *Polypedilum* y *Paramerina* (Chironomidae); seguido por *Culex* (Culicidae) y *Caenis* (Caenidae). Se observó que la dominancia de los chironómidos y la simplicidad de la comunidad fueron indicativos de un sistema fuertemente afectado por la contaminación (Medianero y Samaniego 2004).

Ramírez y Roldán (1989) evaluaron la comunidad de macroinvertebrados de los ríos Apartadó, Turbo y Chigorodó en Colombia. Los taxones más frecuentes para las áreas de muestreo fueron: *Leptohyphes* y *Tricorythodes* (Ephemeroptera), *Ambrysus* (Hemiptera), *Phyllogomphoides* (Odonata) y *Tendipes* (Diptera). Los ríos estudiados compartieron atributos como la temperatura promedio y el oxígeno disuelto. La dureza y el pH variaron en algunas estaciones debido a factores como la contaminación, característica de los suelos y la deforestación.

Más tarde, Escobar (1989) caracterizó la comunidad macrobéntica del río Manzanares (Colombia). Los dípteros de la subfamilia Chironominae constituyeron el 60% de la población de macroinvertebrados. Esto fue indicativo de una condición entre moderada y de alta contaminación. Se estableció que la variación de los parámetros físico – químicos registrados son correspondientes al régimen de lluvias de la zona y al estado de deterioro de la cuenca.

Caicedo y Palacio (1998) aportaron elementos para esclarecer los efectos de la contaminación orgánica sobre la comunidad de macroinvertebrados de la quebrada la Mosca (Colombia). En el estudio, se encontraron valores altos (con respecto al promedio) en un grupo de parámetros físico-químicos. Sin embargo, el oxígeno disuelto se mostró por debajo de los límites establecidos por la EPA. En cuanto a las taxones colectadas, se tuvieron *Mortoniella*, *Smicridea* y *Leptonema* (Trichoptera), *Baetodes* sp., y *Camelobaetidius* sp. (Ephemeroptera), *Hetrelmis* sp. y *Neocylloepus* sp. (Coleoptera), exclusivos y abundantes en una de las estaciones sugiriendo mejores condiciones para esa área. En otras estaciones con menor calidad dominaron la familia Chironomidae (Diptera) y en la estación 3 abundaron Chironomidae (Diptera) el género *Tubifex* y el orden Haplotaxida (Oligochaeta).

Alfaro *et al.* (2007) caracterizaron la comunidad de macroinvertebrados de la quebrada La Victoria (Colombia), colectando hojarasca, epiliton, grava y sedimento. La comunidad estuvo compuesta por Condalidae, Helicopsychidae, Hidrobiopsidae, Hidroptylidae, Polycentropodidae (Trichoptera); Leptophlebiidae, Lepthohyphidae, Lestidae, Nymphomyiidae, Oligoneundae (Ephemeroptera); Psychodidae, Simuliidae, Trycorythidae, Ceratopogonidae, Empididae (Diptera); Pyralidae (Lepidoptera); Ptilodactylida y Thylodacthylydae (Coleoptera). De las áreas examinadas, se observó que los macroinvertebrados fueron predominantes en el epiliton y el sedimento.

Castellano y Serrato (2008) determinaron la diversidad de los macroinvertebrados en el nacimiento de un río en el Páramo de Santurbán, Colombia. Se colectaron un total de 63 taxones; el orden más diverso fue Diptera y el más abundante fue Amphipoda. De acuerdo a las familias registradas, el sistema demostró buenas condiciones típicas de aguas frías y poco intervenidas.

Los valores de los índices de diversidad afirmaron que la comunidad no está siendo afectada por tensores naturales diferentes a los de origen natural.

Pedraza *et al.* (2008) determinaron cómo responde la comunidad de macroinvertebrados bajo condiciones de aislamiento en las quebradas y corredores ribereños en restauración del río la Vieja (Colombia). Los resultados obtenidos fueron comparados con quebradas protegidas, lo que evidenció una clara recuperación de las características bióticas, como el incremento en familias de macroinvertebrados indicadores de ambientes poco perturbados y de cualidades abióticas como la diversificación de substratos. Disminuyeron factores como la turbiedad y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). La velocidad de respuesta de las quebradas fue distinta, lo cual fue explicado por el tipo de vegetación existente en cada área.

Como contribución al conocimiento de la entomofauna acuática, Rivera *et al.* (2008) analizaron 8 quebradas en Calarcá y Tebaida (Colombia). En ellas se colectaron 1,917 individuos agrupados en 7 órdenes y 41 familias, equivalentes a un 57.8% de la abundancia de insectos reportados, previamente en otros estudios para la zona. Los autores indicaron que ambos lugares de estudio presentaron características comunes como: abundante materia orgánica, macrófitas acuáticas y subacuáticas y buena fuente de iluminación, factores que favorecen el establecimiento de los organismos.

Mathuriau *et al.* (2008), teniendo en cuenta los eventos de descarga durante las temporadas seca y lluviosa, caracterizaron la comunidad de macroinvertebrados (Cauca) y evaluaron los cambios en la acumulación de detritus y su relación con los eventos de descarga en la dinámica de la comunidad de macroinvertebrados. La comunidad de macroinvertebrados fluctuó en número de taxones y densidad de acuerdo al régimen bimodal de lluvias para la

región, por lo tanto la estructura de la comunidad depende directamente de los eventos de descarga. En cuanto a la acumulación de detritus, éste permanece variable en relación al patrón de distribución de árboles en el borde de la quebrada; sin embargo, no se encontró una relación entre la acumulación de este material y la dinámica de la comunidad.

Sites *et al.* (2003) determinaron la dinámica espacial de los insectos acuáticos colectados en 41 ríos del este u oeste de las Montañas de los Andes en Ecuador. Los autores encontraron diferencias taxonómicas en composición y riqueza para las especies de tres grupos: Ephemeroptera, Heteroptera y Coleoptera, lo cual estuvo relacionado con las diferencias altitudinales. En sus observaciones notaron que la composición de taxones difiere de acuerdo a los transectos muestreados en el área; la familia Baetidae (Ephemeroptera) obedece a un patrón de dispersión favorecida por el viento o directamente por vuelo y la familia Elmidae (Coleoptera) exhibe limitaciones altitudinales.

Sternert y Maltchik (2007) determinaron la variación de la riqueza y la composición de una comunidad de macroinvertebrados con respecto al área, altitud e hidroperíodo en el sur de Brazil. La comunidad de insectos estuvo representada principalmente por insectos. Organismos depredadores estuvieron representados por 29 familias, los colectores por 17, los omnívoros 14, los raspadores por 8, los trituradores 4 y los parásitos por 2. Las áreas con agua permanente favorecieron la riqueza de especies mientras que las áreas de agua intermitente no, sugiriendo que el hidroperíodo es el factor con mayor influencia en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados marcando la diferencia entre la presencia o ausencia de los organismos. Otra de las variables a relacionar fue la altitud, que en el caso de este estudio no fue un factor significativo en la composición de macroinvertebrados.

Oller y Goitía (2005) estudiaron la relación entre la concentración de metales pesados del agua y la composición, distribución y abundancia de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en el río Pilcomayo (Bolivia). Se encontraron 9 órdenes, 20 familias, 27 géneros y 18 morfoespecies. Los autores observaron una mayor abundancia en aquellas zonas donde el substrato estaba compuesto por material grueso y estable. Elementos como el hierro y el arsénico se mostraron por encima de los niveles permitidos. Sin embargo, el comportamiento de la comunidad se mostró mayormente influenciada por las características físico – químicas.

Molina *et al.* (2008) describieron la comunidad de macroinvertebrados de un río altoandino de la cuenca amazónica boliviana. Se colectaron un total de 16,678 individuos distribuidos en 30 taxones; la densidad estuvo dominada por *Andesiops peruvianus*, *Meridialaris tintinnabula* (Ephemeroptera); *Claudioperla tigrina* (Plecoptera) y Simuliidae (Diptera). Sin embargo, la densidad de los organismos estuvo influenciada por los niveles del agua, observándose que a niveles altos de agua disminuye la densidad de individuos, recuperándose cuando los niveles del agua son bajos.

En los ríos de montaña de la Patagonia, Velásquez y Miserendino (2003) examinaron la composición, estructura y los grupos funcionales de macroinvertebrados. En este estudio se observó que la comunidad estuvo conformada, en un 70%, por larvas de plecópteros, efemeróptera, tricópteros, dípteros y coleópteros; pero Díptera fue el grupo más abundante. El resto de la comunidad estuvo representada por Mollusca, Amphipoda y Annelida. Los autores encontraron diferencias significativas en cuanto a la densidad, biomasa total de macroinvertebrados a nivel de microhábitats, pero no entre ríos y fecha.

Tejerina y Molineri (2007) estudiaron y compararon dos comunidades de quironómidos en las áreas de provincia del Monte, de clima árido a semiárido, y en Yungas, de clima cálido y húmedo (Argentina). Los taxones más abundantes para el área de Monte fueron: *Pentanuera* sp., *Parametriocnemus* sp., y *Podonominae* sp.; mientras que *Lopescladius* sp., *Tanytarsus* sp., *Rheotanytarsus* sp., y *Pseudochironomus* sp. fueron abundantes para el área de Yungas. Se hallaron diferencias en cuanto al caudal, conductividad, ancho, profundidad, altura de los ríos y condiciones climáticas de las eco - regiones. Por lo tanto, las variables ambientales presentaron diferencias en relación a la estructura de la comunidad de quironómidos.

En Cuba, González – Lazo *et al.* (2008) realizaron una revisión para dar a conocer el conocimiento actual de los efemerópteros de la isla. En ella se detallan la distribución, diversidad y endemismo de estos organismos en la isla. Leptophlebiidae y Baetidae son las familias que presentan la mayor riqueza a nivel de especies. Geográficamente, la región Oriental de Cuba tiene el 85.7% de las especies conocidas, seguida por la región Occidental, 45.7%, y la región Central, 40%. Según los autores, esta diferencia se debe a: (i) intensas colectas de las regiones Oriental y Occidental; (ii) el número e importancia de los torrentes montañosos orientales; (iii) el estado de conservación de los hábitats, las diferencias altitudinales y los numerosos ríos y arroyos de la zona Oriental.

Bass (2004) determinó si la fauna de macroinvertebrados béticos derivan durante un período de 24 horas en la isla de Dominica. Los resultados de este estudio fueron un total de 313 individuos de 16 taxones; 252 individuos y 13 especies colectados durante la noche, mientras que 61 individuos y 11 especies fueron colectados durante el día. El número de efemerópteros y tricópteros fue mayor en las muestras de deriva nocturna que en las muestras de deriva del día; en contraste con los dípteros cuyo número en ambas muestras fue consistente. El autor menciona

que especies como *Macrobrachium faustinun*, *Micratya poeyi* y *Potimirin glabra* (Crustacea) son capturas accidentales, al observar un número bajo de estos individuos en las trampas.

En Puerto Rico y las demás Antillas, autores como Flint, Jr. (1964, 1968, 1992) realizaron importantes registros y nuevas descripciones de especies de tricópteros. En otro estudio, Masteller y Buzby (1993) llevaron a cabo en El Verde un trabajo sobre composición, abundancia temporal y los patrones de emergencia de los insectos acuáticos en la quebrada Prieta, siendo éste una introducción hacia seis estudios más realizados en el mismo área, pero ejecutados por otros investigadores que dedicaron su esfuerzo en grupos particulares como Ephemeropteros (Pescador *et al.* 1993), Trichopteros (Flint y Masteller 1993) y Diptera de las familias Tipulidae (Gelhaus *et al.* 1993), Chironomidae (Ferrington *et al.* 1993), Psychodidae (Wagner y Masteller 1993) y Simuliidae, Ceratopogonidae y Empididae (Masteller y Buzby 1993).

En el río Espíritu Santo, March *et al.* (2003) evaluaron los efectos de la presencia de camarones sobre la comunidad béntica. Algunas de las observaciones de este estudio muestran que los camarones varían de acuerdo a un gradiente altitudinal. El número de camarones se reduce en bajas latitudes donde hay caracoles que disminuyen la oferta en materia orgánica. Los camarones inciden significativamente sobre la biomasa de quironómidos, en contraste con los efemerópteros que aumentan en número en presencia de camarones, debido a que éstos remueven sedimento o particulado que es luego aprovechado por los efemerópteros. El efecto de los camarones como removedores, provoca que las algas filamentosas como, *Oedogonium* y *Rhizoclonium*, sean los organismos dominantes dentro de la composición de algas.

Covich *et al.* (2003) describieron los efectos de flujos extremadamente bajos sobre la densidad, el tamaño y la actividad reproductiva de dos especies de camarones en la quebrada la Prieta (Puerto Rico). Los promedios anuales de profundidad de la quebrada variaron con respecto al gradiente altitudinal. Éstos estuvieron en el rango de los 18 a 72 cm durante el período de observación, viéndose afectados por los períodos secos. Los períodos secos afectan la actividad reproductiva de los camarones, así como la actividad filtradora de *Atya lanipes*, pero facilitan la actividad alimenticia de *Xiphocaris elongata*. De este modo, el período seco incide en el volumen de hábitats para estas especies, al decrecer la disponibilidad del recurso, lo cual colaboró con una disminución en la abundancia de estos al ser presa fácil para sus depredadores tales como los *Macrobrachium carcinus*.

Ramírez y Hernández Cruz (2004) llevaron a cabo un estudio en las quebrada la Prieta y Bisley (Puerto Rico). En ambos sistemas se realizaron colectas de insectos acuáticos en hábitats de rápidos, lugares de poca corriente o de piscina y en rocas; además, en las áreas de piscina donde los camarones fueron más abundantes, se evaluaron los efectos de la presencia de los camarones sobre los insectos acuáticos. En este estudio, se encontró que la comunidad de insectos acuáticos está compuesta por las familias Blephariceridae y Empididae (Diptera); Pyralidae (Lepidoptera); Helycopsychidae e Hydrobiosidae (Trichoptera); y Psephenidae (Coleoptera). Los rápidos y las rocas fueron los microhábitats con mayor número de familias, mientras que los lugares de poca corriente o piscina presentaron menor número de familias. La abundancia y la biomasa total de insectos fueron similares para ambos sistemas. Con relación a los camarones, los autores señalan que especies como *Atya lanipes* juegan un rol importante como activos filtradores de material particulado. Sin embargo, una alta densidad de camarones

tiene impacto sobre la comunidad de insectos en la quebrada Prieta, mientras que en Bisley este impacto no fue significativo sobre la comunidad de insectos.

En síntesis, uno de los aspectos que incide en la distribución de las comunidades de macroinvertebrados es la composición y la disponibilidad de hábitats porque estos individuos poseen caracteres morfológicos y comportamentales que se encuentran estrechamente relacionados con el microambiente donde se desarrollan que afectan directamente la diversidad, la abundancia, las relaciones tróficas y la composición de la comunidad, los cuales son indicios de condiciones estabilidad o perturbación del ecosistema.

### **Evaluación Biológica de los Sistemas Acuáticos: Aplicación del Biological Monitoring Working Party (BMWP') en Ecosistemas Lóticos Tropicales**

La evaluación biológica de los sistemas acuáticos corresponde a la capacidad de respuesta natural que poseen los organismos de una comunidad ante una perturbación o un cambio en su entorno, que puede ser de origen antrópico o relacionado con las características naturales del medio. De acuerdo con Segnini (2003), el desarrollo de una lista de especies indicadoras de algún grado de alteración, comenzó con los primeros intentos de usar organismos para medir el grado de deterioro de los cuerpos de agua.

Una de las primeras metodologías, en cuanto este tema, fue el Sistema Sapróbico de Kolkwitz y Marson (1908), muy utilizado en países Europeos y que ha logrado mantenerse vigente. Este método reconoce cuatro etapas en la oxidación de la materia orgánica, de acuerdo a la demanda de oxígeno, como un indicativo de contaminación orgánica (Bonada *et al.*, 2005).

Luego, se introdujo el concepto de especies indicadoras, lo cual señaló algunos problemas como: (i) las especies indicadoras tienen un área de distribución limitada; (ii) el criterio del investigador y el tipo de perturbación incide sobre la calificación de la especie indicadora; (iii) las especies indicadoras pierden su valor cuando los problemas de contaminación se deben a otras causas diferentes al enriquecimiento orgánico. Por estas razones el uso de especies indicadoras quedó restringido para los países europeos (Cairns y Pratt 1993).

Durante los años 1950 y 1960 comenzó a utilizarse el concepto de diversidad como indicador de estabilidad, que paralelamente se vio acompañada con el uso de los indicadores de contaminación, bajo la premisa de que el valor de estos índices se reduce en sistemas intervenidos (Margalef 1977, Odum 1982). Su empleo no fue muy exitoso, sobre todo cuando se carece del valor del índice anterior a la perturbación, además algunos estudios mostraron resultados adversos a dicho planteamiento (Ramírez 2005).

Los índices bióticos sustituyeron a los índices de diversidad, renovando las nuevas técnicas cualitativas de bioindicación. Éstos integraron conceptos de saprobiedad y de diversidad, pero tomando en cuenta la composición y la adaptabilidad de las taxones. La presencia, ausencia y abundancia de un taxón se pondera de acuerdo a la sensibilidad que presenta al factor de perturbación que se quiere valorar (Segnini 2003). El índice “Biological Monitoring Working Party” modificado por Alba – Tercedor (1996) es uno de los más aceptados y usados en Europa y recomendado por la Asociación Española de Limnología. Este método puede ser aplicado a nivel de familia, género o especie; no necesita cuantificar la abundancia de los grupos y sólo registra presencia o ausencia.

A nivel de Centro, Suramérica y el Caribe, podemos mencionar las investigaciones realizados por varios autores, en las cuales se muestra el empleo del BMWP', entre otras técnicas de bioevaluación. Vega y Durant (2000) realizaron un estudio que relaciona la fluctuación temporal de los efemerópteros y la calidad del agua del río Albárregas (Mérida, Venezuela). En este estudio se colectaron 70,600 ejemplares y se registraron diferencias en abundancia entre estaciones y tiempo de muestreo. En la investigación, se encontró que la comunidad fue dominada por efemerópteros, plecópteros y tricópteros y su condición como bioindicadores fue reforzada por la presencia de otros grupos indicadores de buena calidad de agua. Este estudio sugirió que las familias Baetidae, Leptophlebiidae y Tricorythridae son grupos característicos de aguas claras, con muy pocas sustancias orgánicas disueltas y con altas concentraciones de oxígeno.

Pino *et al.* (2003) evaluaron la diversidad de organismos y la calidad del agua de la quebrada la Bendición, Choco-Colombia. Se reportaron 150 individuos, distribuidos en 7 órdenes. Las familias Psephenidae, Elmidae (Coleoptera) y Veliidae (Hemiptera) fueron las más abundantes en número de individuos; Odonata fue el orden con más familias. Según la puntuación del BMWP', el sistema estudiado se determinó como oligotrófico, con aguas de buena calidad, no contaminadas o no alteradas de modo sensible.

Guerrero *et al.* (2003) estudiaron algunos parámetros fisicoquímicos y la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos asociados a piedras, hojarasca, sedimento y macrófitas, en el sector de Pozo Azul, sobre la cuenca del río Gaira (Magdalena, Colombia). En el caso de los parámetros físico - químicos, éstos estuvieron determinados por las características geográficas del área; el agua se caracterizó por estar saturada de oxígeno y por la ausencia de nitritos y amonio. A nivel biológico, las familias con un mayor número de individuos fueron

Baetidae (Ephemeroptera) y Simuliidae (Diptera), por su parte Trichoptera y Coleoptera fueron los órdenes mejor representados (número de individuos) y los microhábitats con mayor diversidad y abundancia de organismo fueron las rocas y la hojarasca. El puntaje calculado con BMWP' Co estableció que las aguas de la cuenca eran de óptima calidad y oligosapróbias.

A partir de variables ambientales, y mediante el empleo del BMWP' modificado según Armitage (1992), González y Lozano (2004) evaluaron la calidad del agua de la quebrada Las Delicias (Bogotá, Colombia). Sus análisis les permitieron concluir que la parte alta de la quebrada posee aguas bien oxigenadas y con poca turbiedad, pero a medida que aumenta la presencia de asentamientos humanos, esta condición cambia; con el análisis biótico se concluyó que el agua de la quebrada se encontraba en un grado medio a alto de contaminación doméstica.

Torres *et al.* (2006) realizaron un estudio de algunos aspectos ambientales y ecológicos de las comunidades de peces y macroinvertebrados acuáticos en el río Tutunendo (Colombia). La familia Leptophlebiidae fue la mejor representada y la mayoría de los grupos se encontraron asociados a piedras, hojarasca y troncos. Con respecto a las puntuaciones del BMWP', el 37.02% de las familias registradas presentan valores de bioindicación entre 10 y 9; 33.8% valores entre 8 y 6 y sólo el 22.22% puntajes entre 5 y 1. Esta investigación determinó que a partir de las características físico - químicas y biológicas, el río posee aguas oligotróficas; el aumento de la temperatura, el pH y el oxígeno disuelto produjeron un aumento en la dominancia de la comunidad de macroinvertebrados, mientras que disminuyó la equidad y diversidad de especies de macroinvertebrados; pero un aumento en la conductividad disminuyó la riqueza y diversidad de los macroinvertebrados acuáticos.

Para evaluar la calidad del agua de las microcuencas La Laucha, La Lejía y la Rastrojera (Norte de Santander, Colombia) se utilizaron macroinvertebrados, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (Contreras *et al.* 2008). Los órdenes más abundantes fueron Diptera, Trichoptera y Coleoptera. Los puntajes del BMWP' indicaron que la mayoría de las estaciones de muestreo corresponde a aguas limpias, a excepción de una estación con un valor de 33 correspondiente a aguas muy contaminadas debido a que ésta última se encuentra cercana a la zona urbana.

En Manaus, Brasil, Couceiro *et al.* (2007) realizaron una investigación para observar los efectos de la deforestación y las aguas negras sobre los macroinvertebrados acuáticos en los arroyos urbanos de la zona. Se tomaron muestras de nitrógeno y fósforo total, conductividad, ancho y profundidad del caudal, pH, temperatura y oxígeno disuelto, parámetros que fueron correlacionados con la deforestación y con la riqueza y abundancia de especies. Se concluyó que la contaminación de los arroyos y la acción de la deforestación (efectos en la temperatura) afectan directamente la fauna de macroinvertebrados, lo que se refleja en una reducción de la riqueza de los taxones y simplificando la composición de la comunidad dominada por oligaquetos y Psychodidae y Ceratopogonidae (Diptera), taxones que se encuentran relacionados con ecosistemas impactados.

Soldner *et al.* (2003), en República Dominicana, ejecutaron un estudio que describe la relación entre la composición de la comunidad de macroinvertebrados y los factores medioambientales en el río Yaqué del Norte. Se colectaron un total de 43 taxones y 12,304 individuos. Los taxones más comunes fueron Baetidae, Tricorythidae (Ephemeroptera) Hydropsichidae (Trichoptera), Corduliidae (Odonata), Chironomidae (Diptera) y Veliidae (Hemiptera). Se detectaron diferencias en la estructura de la comunidad con respecto a la altitud

y la distancia de los lugares de muestreo, las cuales están relacionadas con la contaminación de origen antrópico, debido a que los asentamientos humanos aumentan a lo largo de la ribera del río hacia el mar, encontrando que la riqueza de especies disminuye conforme se desciende en altitud. Los valores del BMWP (puntajes propuestos por Armitage *et al*) estuvieron fuertemente correlacionados con las medias de los factores físico – químicos, de esta forma, para cada sitio de muestreo se proveyó buenos valores de calidad.

Muñoz *et al.* (2005) elaboraron una nueva metodología para la evaluación de la calidad del agua en los ambientes lóticos de Cuba, sobre la base de la tolerancia a la contaminación de los macroinvertebrados dulceacuícolas. En este trabajo, se determinaron 69 familias bioindicadoras de calidad y sus niveles de tolerancia, agrupándolas en una escala de 0 – 10, aplicando el índice BMWP y validándolo con los datos obtenidos por otras investigaciones, obteniendo para las localidades analizadas una alta eficiencia en la aplicación de este método.

En Puerto Rico, Collazos (2001) evaluó la calidad del agua del río Rosario mediante el empleo del BMWP' en tres áreas de muestreo. En dichas áreas los valores arrojados por el índice fueron: en la zona de bosque la calidad del agua fue aceptable (72 puntos); mientras, en la zona cafetalera y de pastoreo la calidad del agua fue dudosa con 50 y 42 puntos, respectivamente.

Deliz (2005) realizó una evaluación de la calidad del agua de la Laguna Cartagena usando insectos acuáticos. En esta investigación se examinó la condición de dos localidades en la región suroeste de la laguna, basándose en sus características físico-químicas (pH, temperatura, oxígeno disuelto, nutrientes y metales pesados) y biológicas (insectos acuáticos). Se colectaron un total de 67 especies de insectos, pertenecientes a 33 familias, de las cuales 48 especies no se habían reportado en la Laguna. Hemiptera y Diptera fueron los órdenes más abundantes.

Coleoptera, Odonata y Hemiptera fueron los órdenes de mayor diversidad y Ephemeroptera fue el orden menos abundante y diverso. La abundancia y diversidad de las especies se relacionó mayormente a la concentración de oxígeno disuelto, y en términos generales, los parámetros físico-químicos demostraron que la Laguna Cartagena es un ecosistema con una calidad de agua moderada, pero el componente biológico describió un sistema con una calidad de agua pobre.

Luego, Ruperto (2008) relaciona la diversidad de los macroinvertebrados acuáticos con la calidad del agua del Río Yagüez en Mayagüez (Puerto Rico). En esta investigación se establecieron tres estaciones de muestreo donde se analizaron las condiciones físico - químicas del agua. Se colectaron individuos pertenecientes a los órdenes Coleoptera, Ephemeroptera y Prosobranchia. Estos mostraron un comportamiento que varió con la estacionalidad. De acuerdo con el BMWP' la calidad del agua del río Yagüez se estableció como intermedia y pobre.

## MATERIALES Y MÉTODOS

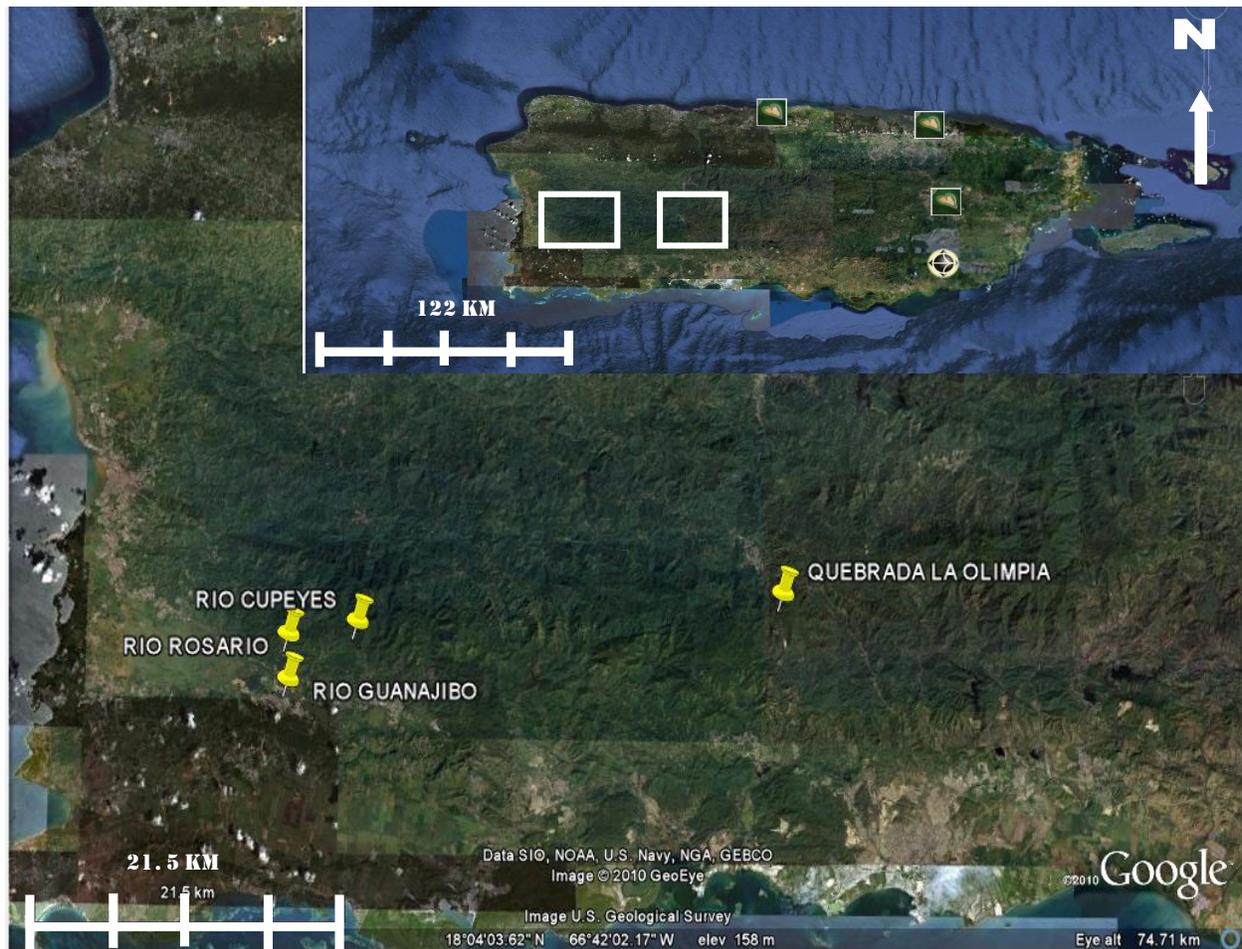
### Áreas de Estudio

La Agencia de Protección Ambiental (USEPA) estableció que el enriquecimiento por nutrientes, nitrógeno (N) y fósforo (F), son una las principales causas de impacto en los ríos (USEPA 2000). En Puerto Rico, se ha identificado que lo anterior es una de las principales causas de impacto de los ecosistemas acuáticos de la isla (PREQB 2003). Los valores actuales establecidos por los estándares de calidad de agua para ríos, lagos y estuarios que rigen a Puerto Rico en cuanto al aspecto de nutrientes son: nitrógeno 10 mg/L y fósforo y 1 mg/L (1,000  $\mu\text{m/L}$ ).

Tres de las áreas de estudiadas se encuentran en la zona oeste de Puerto Rico (Figura 1): el río Cupeyes (municipio de Sabana Grande), Rosario y Guanajibo (municipio de San Germán); mientras, la quebrada La Olimpia está localizada en el municipio de Adjuntas. Éste último y el río Cupeyes son considerados como sistemas de referencia o de poco impacto, teniendo en cuenta los criterios de nutrientes anteriormente señalados. Por otro lado, Rosario y Guanajibo se consideran sistemas de impactados en los cuales El Departamento de Evaluación Geológica de los Estados Unidos (USGS) ha establecido estaciones de monitoreo de calidad de agua.

El Río Rosario se desplaza en dirección suroeste. En la zona se encuentran, suelos moderadamente profundos de buen desagüe, fuertemente ácidos, formados de material meteorizado de roca serpentina. El clima es húmedo; la temperatura varía de 25 – 27°C y la lluvia de 1500 – 2000 milímetros (U.S. Department of Agriculture Soil and Conservation Service 1969). El río Rosario se encuentra clasificado en la unidad hidrológica 21010003 (USGS 2009).

**Figura 1. Mapa, ubicación de las áreas de estudio (Íconos amarillos). Fuente Google Earth**



El río Guanajibo se desplaza en dirección sur hacia el oeste; en él desembocan los ríos Cruces, Cupeyes, Caín, Hoconuco, Duey y Rosario. Los suelos del área del río Guanajibo, consisten en suelos profundos de buen desagüe, fuertemente ácidos y moderadamente permeables. Están formados por sedimentos de textura moderadamente gruesa. El clima es subhúmedo y la lluvia alcanza de 1500 a 2000 milímetros y la temperatura anual varía entre 21 a 27°C (U.S. Department of Agriculture Soil and Conservation Service 1969).

La Quebrada Olimpia se encuentra ubicada en el Municipio de Adjuntas, es un cuerpo de agua pequeño, con substrato pedregoso. La vegetación que bordea el canal de la quebrada posee un dosel espeso que limita la entrada de luz en ciertas áreas. La precipitación promedio anual para esta zona se encuentra entre los 1000 a 2000 milímetros, con una temperatura entre 18 a 24 °C (Gualtero 2007). La USGS (2009) la establece dentro de la unidad hidrológica 21010002 de la cuenca del Río Grande de Arecibo.

El Río Cupeyes se encuentra ubicado en el municipio de San Germán. Recibe la influencia del Bosque de Susúa el cual está clasificado en la zona de vida de bosque húmedo subtropical. La temperatura promedio anual es de 23.9°C y la precipitación promedio anual de 1413 milímetros (Lugo 1989 citado en García 1991)

## **Fase de Campo**

En esta investigación se realizaron un total de 18 muestreos, comprendidos entre Septiembre y Octubre del 2009; y de Enero a Septiembre del 2010. En cada área de estudio se establecieron tres estaciones de muestreo. En los ríos Cupeyes y La Olimpia se tomó en consideración que las estaciones de muestreo abarcaran las áreas de colecta establecidas para el proyecto “Numeric Nutrient Criteria for Rivers of Puerto Rico”; y para los ríos Rosario y Guanajibo, las estaciones de muestreo se ubicaron en lugares donde fueran evidentes estados de perturbación (Figura 2).

**Figura 2. Imagen del paisaje general de las áreas de muestreo. Fotos de izquierda a derecha río Guanajibo y río Rosario.**



Se colectaron organismos derivantes utilizando tres trampas Surber de 250  $\mu\text{m}$  de poro (citado por Velásquez y Miserendino 2003), ubicando una por estación de muestreo y comenzando en la estación 3 en dirección hacia la estación 1. Las redes se colocaron en zonas de rápidos, a favor de la corriente y sujetas al fondo con rocas para evitar que fueran arrastradas por la corriente. Las trampas fueron dejadas por 1 hora.

La hojarasca fue colectada de forma manual para capturar los organismos que se asocian a este microambiente. El contenido de las trampas y la hojarasca, fue colocado en bolsas Ziploc® marcadas con el nombre del río donde se realizó la colecta, la fecha y estación. El tamaño de estas bolsas fue de 26.8 cm x 24.4 cm x 6.9 cm y por cada muestreo fueron llenadas tres bolsas de este material. Este microhábitat estuvo presente en los ríos Cupeyes, Olimpia y Rosario.

Se removieron de 10 a 20 rocas de tamaño no superior a 30 centímetros, para la colecta de los individuos que se encontraron adheridos a ellas. Esto fue llevado a cabo con la ayuda de pinzas y pinceles; también se realizaron lavados a las rocas sobre una bandeja blanca, capturando a los organismos *in vivo* con pipetas. Los individuos colectados fueron depositados en frascos de

plásticos rotulados previamente. Dado la morfología del lecho de las áreas de estudio (río Cupeyes, Rosario y quebrada La Olimpia), se estima que la proporción de hojarasca con respecto a las rocas fue de 30% para la hojarasca y 70% para las rocas.

En el río Guanajibo se utilizó una red manual para coleccionar a los organismos asociados a la vegetación riparina de las áreas cercanas a la orilla, debido a que en esta área de estudio no se halló hojarasca. El material coleccionado fue depositado en bolsas plásticas Ziploc® previamente rotuladas de tamaño 26.8 cm x 24.4 cm x 6.9 cm. Se estima que la proporción de este hábitat y las rocas fue similar.

Se tomaron medidas de oxígeno disuelto (miligramos/litro) y temperatura (°C) del agua *in situ*, con la ayuda de un multiparámetro YSI. Y también se realizaron análisis de amonio y nutrientes; para ello se tomaron 100 mililitros de agua en envases plásticos y rotulados, las muestras de agua se fijaron con 5 mililitros ácido acético al 3%. El material coleccionado fue refrigerado y transportado al laboratorio de Biología acuática de la UPRM donde fueron procesadas. Los datos de precipitación fueron tomados de la Estación Meteorológica del Recinto Universitario de Mayagüez, Departamento de Ciencias Marinas, Universidad de Puerto Rico, para describir los momentos de lluvias que abarcaban las áreas y los períodos de muestreo.

### **Fase de Laboratorio**

Las muestras de las trampas, hojarasca/vegetación y roca fueron sorteadas en el laboratorio; los organismos se separaron por morfotipos y por microhábitat. Luego, los organismos fueron depositados en frascos de colección en una mezcla de alcohol al 70 por ciento, glicerina y agua hasta su posterior identificación.

La identificación de los organismos se realizó con la ayuda de un estereoscopio y de claves taxonómicas de diversas fuentes y autores, entre ellos: Thorp y Covich (2001), Traver (1938), Peters (1971), Lugo-Ortiz y McCafferty (1994), Merritt *et al.* (2008), Pointer (2008), Ross *et al.*, (1944) y Wiggins (2000). Los organismos fueron identificados hasta el menor nivel taxonómico posible, de acuerdo a la información existente para cada grupo. Para el análisis de amonio y nutrientes de las muestras de agua, se empleó una técnica colorimétrica de SMART 2 Colorimeter, marca LaMotte.

### **Análisis de los Datos**

La abundancia de los macroinvertebrados fue obtenida mediante el conteo de todos los individuos por taxones. Se calcularon los índices de diversidad Simpson ( $\lambda$ ), Shannon Wiener ( $H'$ ), de Riqueza de Margalef ( $d$ ) y el índice de Berger Parker ( $B$ ).

El índice de Simpson (1949) es conocido como una medida de abundancia y que refiere la probabilidad de extraer dos individuos de una misma especie (Ramírez 2005). Esta medida de diversidad se define como:

$$\lambda = \sum N_i (N_i - 1) / N (N - 1), \text{ donde:}$$

$N_i$  es el número de individuos de la especie  $i$ .

$N$  es el número total de individuos.

Shannon Wiener, asume comunidades infinitas, cuyas probabilidades de extracción o encuentro permanecen constantes a lo largo del muestreo (Ramírez 2005). Se encuentra definida como:

$H' = \sum (P_i * \text{Log}_e (P_i))$ , donde:

$P_i$  es la proporción total de la muestra perteneciente a la especie  $i$ .

Margalef (1957) propuso evaluar la diversidad con base en la relación especies-individuos, de acuerdo con el modelo logarítmico que se observa entre ellas. Este índice está dado por la siguiente ecuación:

$d = S - 1 / \ln N$ , donde:

$S$  es el número de especies

$N$  es el número de individuos en la muestra

Berger Parker mide la dominancia de la especie o taxón más abundante, su expresión matemática es:

$B = N_{\max} / N$ , donde:

$N_{\max}$  es el número de individuos del taxón más abundante

$N$  es el número total de individuos en la muestra.

Para los análisis multivariados, los datos fueron transformados con  $\log (X+1)$ . Con el paquete estadístico INFOSTAT (Balzarini *et al* 2008): (i) se llevaron a cabo ANOVA no paramétricas para describir si existen diferencias significativas entre los hábitats y entre las fechas de muestreo; (ii) análisis de correlación de Spearman para identificar relaciones entre los períodos de precipitación y la abundancia de los organismos y (iii) análisis de conglomerados para observar las diferencias a nivel de composición de especies, entre las comunidades de los ríos estudiados. Se utilizó el software PRIMER 6.0 para los análisis de similitud por medio del

Índice de Bray – Curtis (1957) y un análisis de agrupamiento, Clúster, para reflejar las asociaciones entre hábitats.

## **Evaluación de la Calidad Biológica de los Ríos**

La evaluación biológica de las aguas argumenta que los organismos tienen la capacidad de responder a ciertas condiciones de perturbación ya sea temporales o permanentes (Segnini 2003). Uno de los métodos de evaluación biológica de mayor uso en la actualidad es el Biological Monitoring Water Party (BMWP), creado por Hellawel (1978 citado en Segnini 2003) para analizar la tolerancia de las familias de macroinvertebrados a diferentes grados de contaminación y su base teórica reside en la presencia o ausencia de los organismos.

La claridad de este método reside en que puede ser aplicado a nivel de familias cuando no se precisa un conocimiento más refinado de la fauna de un lugar (género o especie). Este método fue adaptado por Alba-Tercedor (1996), adicionando nuevas familias a la tabla original y cambiando varias puntuaciones. El BMWP' asigna un valor que va 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia del organismo, permitiendo relacionar los valores de BMWP' con cinco grados de contaminación y la sumatoria de estos valores asigna un valor para el índice BMWP' (Tabla 1).

**Tabla 1. Valor del índice BMWP' para las diferentes condiciones bióticas del agua.**

Clase	Valor del índice	Condición
I	>120	Aguas muy limpias
	101 – 120	Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible
II	61 - 100	Son evidentes algunos efectos de contaminación
III	36 - 60	Aguas contaminadas
IV	16 – 35	Aguas muy contaminadas
V	<16	Aguas fuertemente contaminadas

Con base en el análisis BMWP' se han realizado adaptaciones adicionales para su aplicación en varios países tropicales como Colombia, Costa Rica, Chile, Cuba y Argentina (Naranjo *et al.* 2007). Todo esto fue debido a que la fauna de esta zona difiere de la que se puede encontrar en países como los de climas templados, cuyas faunas están adaptadas a temperaturas más bajas en ciertas temporadas del año, diferentes ciclos anuales e incidencia de radiación solar entre otras condiciones.

Para evaluar la calidad biológica del agua de los ríos Olimpia, Cupeyes, Guanajibo y Rosario con base en la composición de macroinvertebrados, se utilizaron como referencias las tablas del BMWP' modificado por Alba – Tercedor (1996), BMWP'- Cu adaptado para Cuba (Muñoz *et al.* 2005) y BMWPA modificado para Colombia Roldán (1988). Con base en la información de estas tablas, se calculó el Índice Biótico de Familias (Hilsenoff 1977, 1987, 1988). Los valores de este índice muestran una relación inversamente proporcional a la buena calidad del agua y directamente proporcional a la contaminación orgánica (Tabla 2) (Segnini 2003).

Los resultados arrojados por el índice BMWP' para los ríos Cupeyes y la quebrada Olimpia, se compararon con los resultados obtenidos por el proyecto “Numeric Nutrient Criteria for Rivers of Puerto Rico”, haciendo especial referencia a la información del perifiton debido a que estas áreas de estudio fueron consideradas por los desarrolladores de este proyecto quienes solo hacen alusión a los sistemas conservados.

**Tabla 2. Criterio de clasificación de calidad del agua y grado de contaminación a partir del IBF**

Índice biótico	Calidad del agua	Grado de contaminación
0.0 - 3.75	Excelente	Sin contaminación orgánica aparente
3.76 - 4.25	Muy buena	Contaminación orgánica ligera
4.26 - 5.00	Buena	Algo de contaminación orgánica
5.01 - 5.75	Regular	Contaminación orgánica regular
5.76 - 6.50	Regular - Pobre	Contaminación orgánica significativa
6.51 - 7.25	Pobre	Contaminación orgánica muy significativa
7.26 - 10.00	Muy pobre	Contaminación orgánica severa

## RESULTADOS

### Comunidad de Macroinvertebrados: Ríos Cupeyes, Olimpia, Guanajibo y Rosario

En el Río Cupeyes se realizaron 5 muestreos en los meses de octubre 2009, enero, marzo, mayo y junio 2010. Se colectaron un total de 4745 individuos pertenecientes a 51 especies, 48 géneros y 36 familias de macroinvertebrados (Apéndice 1). Esta comunidad, en su mayoría, estuvo compuesta por organismos pertenecientes a los órdenes Diptera (44.67%), Ephemeroptera (32.34%), Coleoptera (13.82%), Trichoptera (6.65%); y en menor número por Hemiptera, Acarina, Lepidoptera, Gasteropoda, Odonata, Decapoda, Amphipoda, Colembolla y Tricladia (Figura 3). De acuerdo con el índice de Berger Parker (B) en esta comunidad los organismos dominantes fueron los quironómidos ( $B=0.37$ ) y el efemeróptero *Farrodes taino* ( $B=0.27$ ).

En la Quebrada La Olimpia se realizaron 4 muestreos en los meses de septiembre y octubre del 2009, y en febrero y mayo del 2010. Se colectaron 1210 individuos, pertenecientes a 38 especies, 36 géneros y 30 familias de macroinvertebrados (Apéndice 6). La comunidad estuvo compuesta en mayor porcentaje por los organismos pertenecientes a los órdenes Trichoptera (34.54%), Ephemeroptera (31.48), Coleoptera (15.37%) y Diptera (13.88%); y en menor porcentaje por los órdenes Crustácea, Hemiptera, Odonata, Lepidoptera y Tricladia (Figura 3). En ésta comunidad dominaron el efemeróptero *Farrodes taino* ( $B=0.29$ ) y el tricóptero *Phylloicus pulchrus* ( $B=0.13$ ).

En cuanto al río Guanajibo, se llevaron a cabo 5 muestreos durante los meses de octubre del 2009, febrero, abril, junio y septiembre del 2010. Se capturaron un total de 4807 individuos, ubicados taxonómicamente en 50 especies, 46 géneros y 34 familias (Apéndice 15). En la comunidad predominaron organismos pertenecientes a los órdenes Diptera (41.79%) y Pulmonata (29.68%). Individuos de los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera, Coleoptera,

Decapoda, Odonata, Basommatophora, Hemiptera, Acarina, Lepidoptera y Colémbolla se presentaron en menor proporción (Figura 3). *Melanoides tuberculata* (B=0.26), quironómidos (B=0.22) y *Simulium* sp. (B=0.19) fueron los organismos dominantes.

Para el río Rosario se efectuaron 4 muestreos. Los meses de muestreo fueron febrero, marzo, junio y agosto del 2010. En total se colectaron 3162 individuos correspondientes a 51 especies, 49 géneros y 34 familias (Apéndice 11). Se encontró una mayor proporción de organismos pertenecientes a los órdenes Ephemeroptera (35.86%), Diptera (26.31%), y Coleoptera (18.94%). En menor proporción individuos de los ordenes Trichoptera, Pulmonata, Hemiptera, Decapoda, Odonata, Acarina, Ostrácoda y Tricladia. (Figura 3). Los organismos dominantes en ésta comunidad fueron: el efemeróptero *Farrodes taino* (B=0.29), quironómidos (B=0.15) y *Carpelimus* sp. (B=0.10).

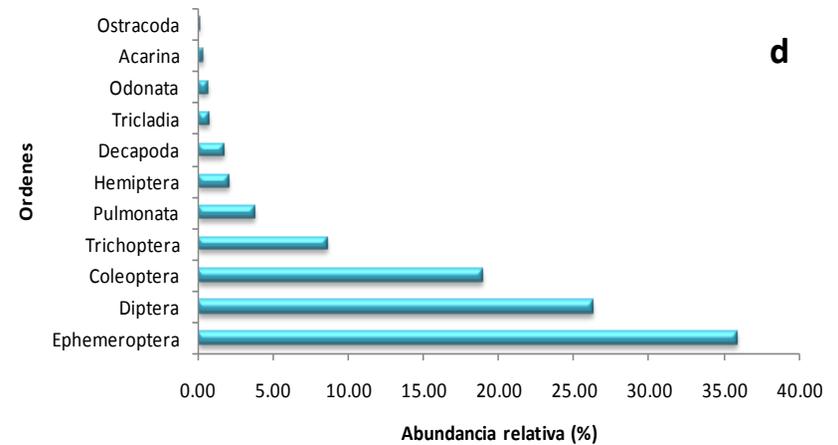
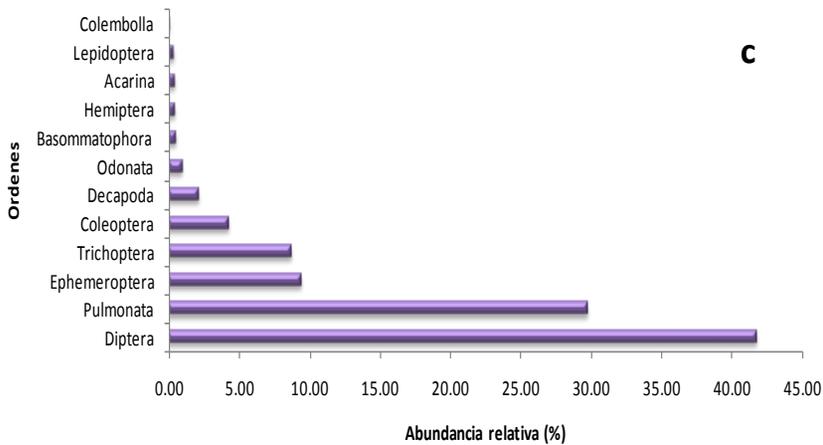
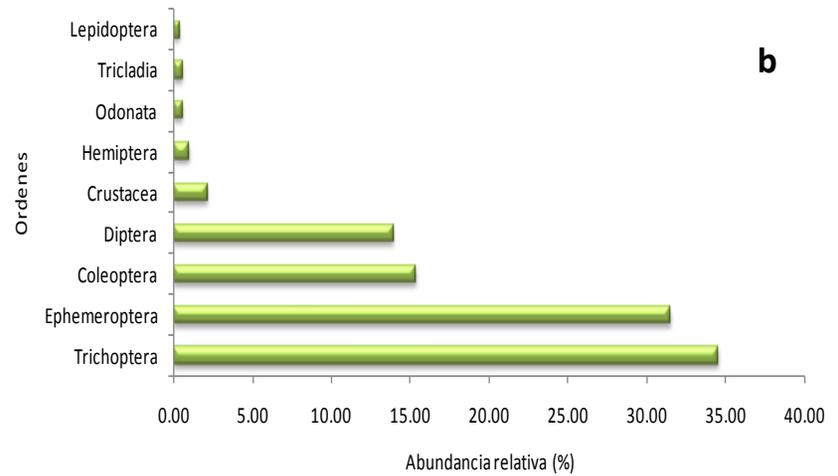
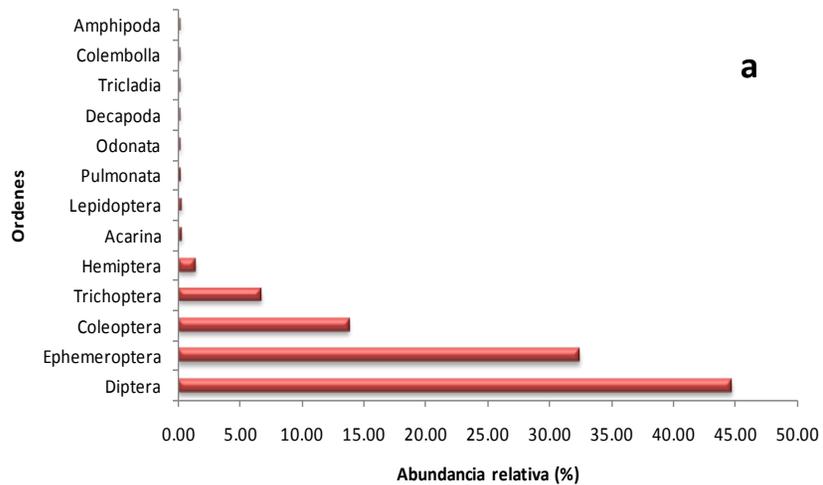
Los índices de diversidad de los ríos estudiados se resumen en la Tabla 3. El río Rosario presentó una mayor riqueza de especies (d=6.20); mientras que el río Olimpia tiene el menor índice de riqueza de especies (d=5.21).

**Tabla 3. Índices de Riqueza y Diversidad de especies para los cuatro ríos estudiados. S: total de especies; N: total de individuos; d: Riqueza de Especies de Margalef; H': Shannon Wiener; λ: Simpson.**

Río	S	N	d	H'	λ
Río Cupeyes	51	4745	5.91	2.16	0.78
Quebrada La Olimpia	38	1210	5.21	2.56	0.87
Río Guanajibo	50	4807	5.78	2.25	0.84
Río Rosario	51	3162	6.20	2.56	0.87

Para los ríos Cupeyes, Rosario y Guanajibo, los meses de octubre 2009, abril y mayo 2010 fueron los de mayor precipitación, mientras que, de Diciembre 2009 a Marzo 2010 se

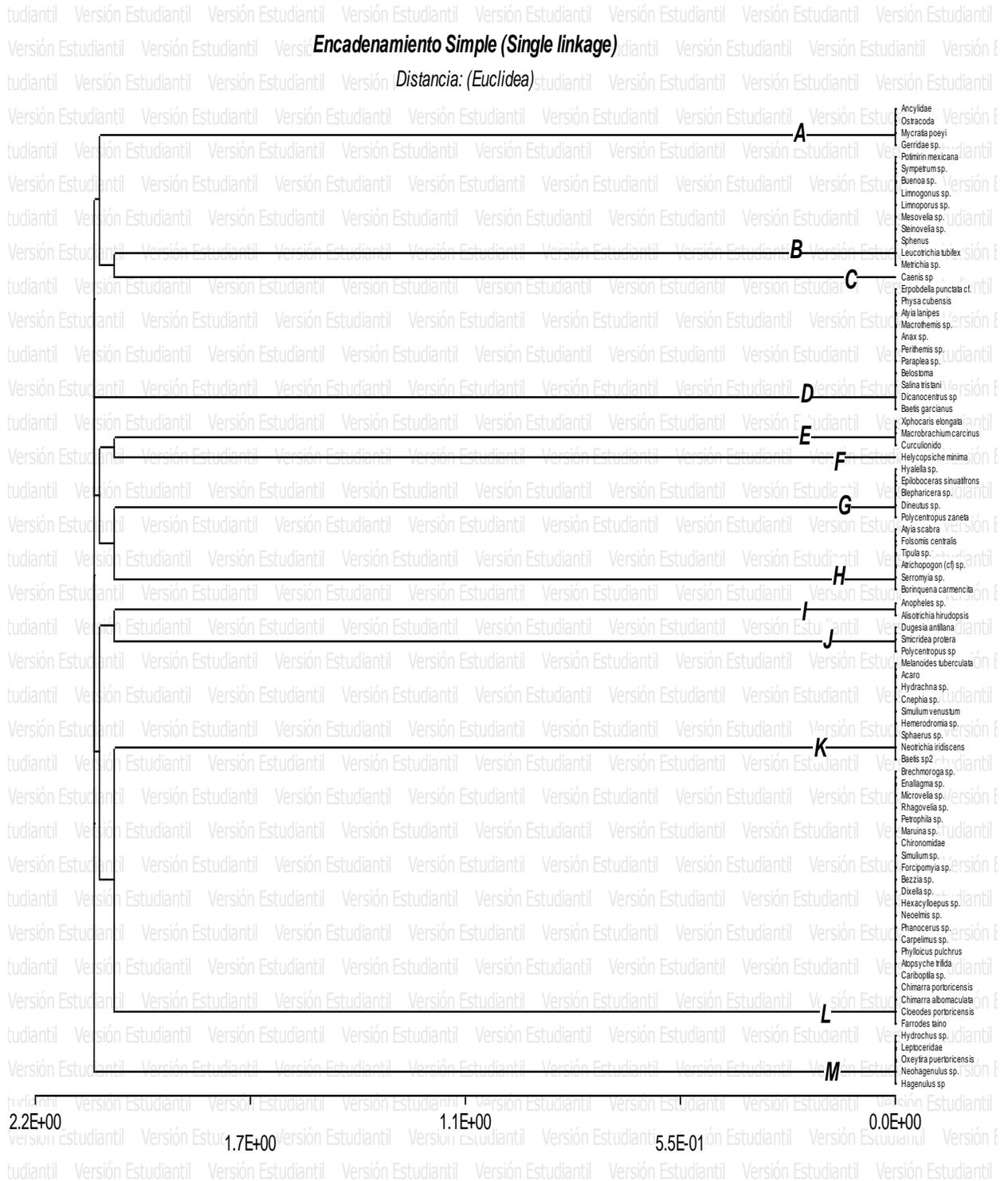
identificaron como la temporada de estiaje. (Apendices 4, 14 y 18). Hubo correlación negativa entre la precipitación y las abundancias del río Cupeyes ( $r=-0.13$ ) y del río Guanajibo ( $r=-0.05$ ); en río Rosario la relación fue positiva pero no muy fuerte ( $r=0.4$ ). En la quebrada La Olimpia de octubre 2009 a diciembre 2009 y de marzo a mayo 2010 se identificaron como los meses con mayores valores de precipitación; por su parte enero y febrero 2010 fueron los meses con los valores más bajos de precipitación (Apéndice 9). No hubo una relación entre la precipitación y la abundancia de los organismos ( $r=0.0$ ). (Apéndices 5 y 10).



**Figura 3. Inventario faunístico de la comunidad de macroinvertebrados de los ríos estudiados. (abundancia relativa porcentaje %) de los órdenes de macroinvertebrados colectados; (a) río Cupeyes, (b) quebrada La Olimpia, (c) río Guanajibo y (d) río Rosario.**

El análisis de conglomerado (Figura 4) identificó varios grupos nombrados de la A a la M, los cuales se desglosan a continuación:

- En el grupo L se agruparon las especies comunes para los cuatro sistemas estudiados
- En el grupo A se encuentran las especies coincidentes para los ríos Rosario y Guanajibo
- En el E, especies encontradas en los ríos Cupeyes y Guanajibo
- El grupo G se agruparon las especies coincidentes en los ríos Cupeyes y Olimpia
- *Anopheles* sp. y *Alisotrichia hiruopsis* sólo para los ríos Cupeyes y Rosario
- Los grupos H y M agrupan solo las especies encontradas para los ríos Cupeyes y en la quebrada La Olimpia, respectivamente.



**Figura 4. Gráfica de conglomerados, morfoespecies colectadas en las áreas de estudio.**

## Evaluación de los Microhábitats: Deriva

Para el río Cupeyes, en el hábitat de deriva se colectaron un total de 1682 individuos y se identificaron un total de 36 especies. Los organismos de la familia Chironomidae fueron los más abundantes con un 55.41%, seguido por *F. taino* (Leptophlebiidae) con un 12.72% (Figura 5). El mes con el mayor número de individuos colectados fue marzo del 2010, reportándose 762 organismos; mientras enero fue el mes con el menor número de organismos colectados, 113. En mayo se reporta el índice de riqueza con mayor valor, 3.80; seguido por enero, 3.59 y junio con 3.23 (Figura 6).

En la quebrada Olimpia, se colectaron 410 individuos y se identificaron 28 especies. *F. taino* (Leptophlebiidae) fue la especie más abundante, 39.51%, y en un segundo lugar se encuentra *Dineutus* sp. con un 15.85% (Figura 5). El mes de muestreo que reportó el mayor número de individuos colectados fue octubre 2009, con 221. Sin embargo se registra que septiembre 2009, con 64 individuos colectados, fue el mes con la mayor riqueza de especies,  $d=4.56$  (Figura 6).

En cuanto a río Rosario, se colectaron 683 individuos pertenecientes a 38 especies siendo la más abundante *Maruina* sp. (30.89%) (Psychodidae) y luego *F. taino* (Leptophlebiidae) con un 17.42% (Figura 5). En febrero 2010, se obtuvieron un total de 320 individuos colectados y una riqueza de especies es 3.98. En agosto del 2010 se colectaron 78 organismos y la riqueza de especies fue de 3.90 (Figura 6).

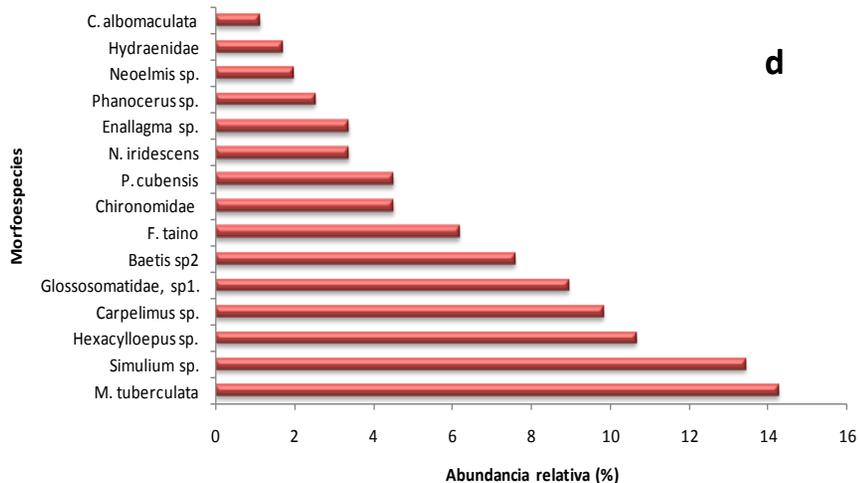
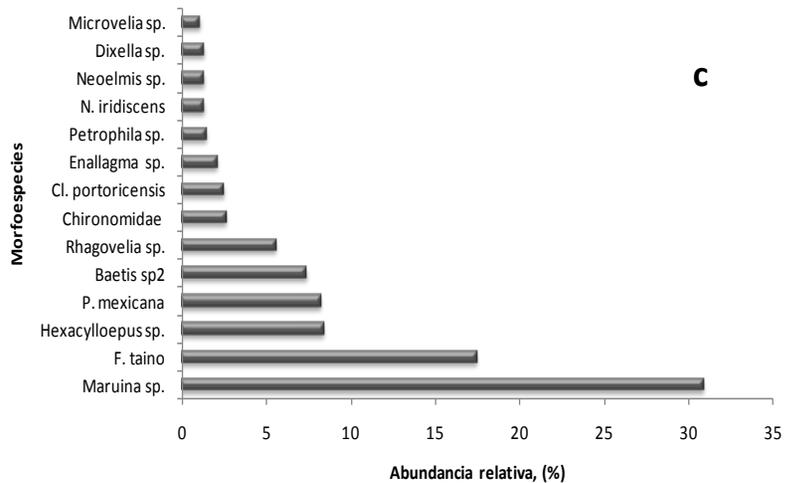
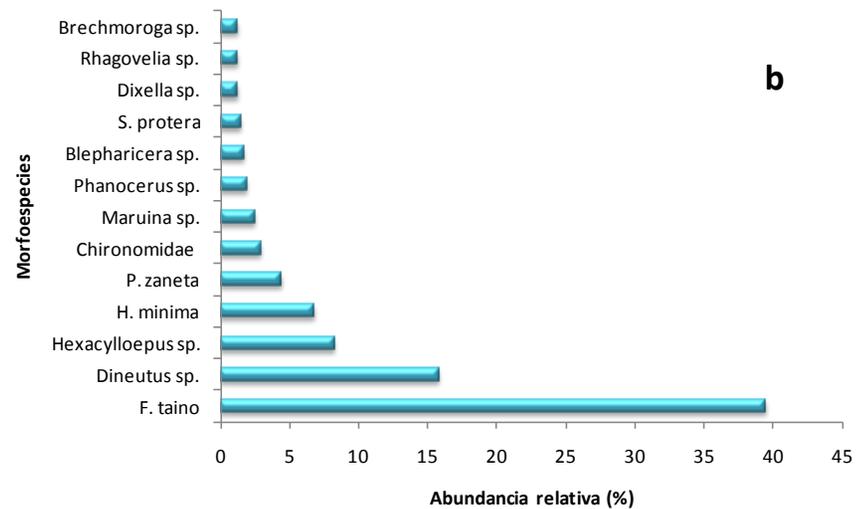
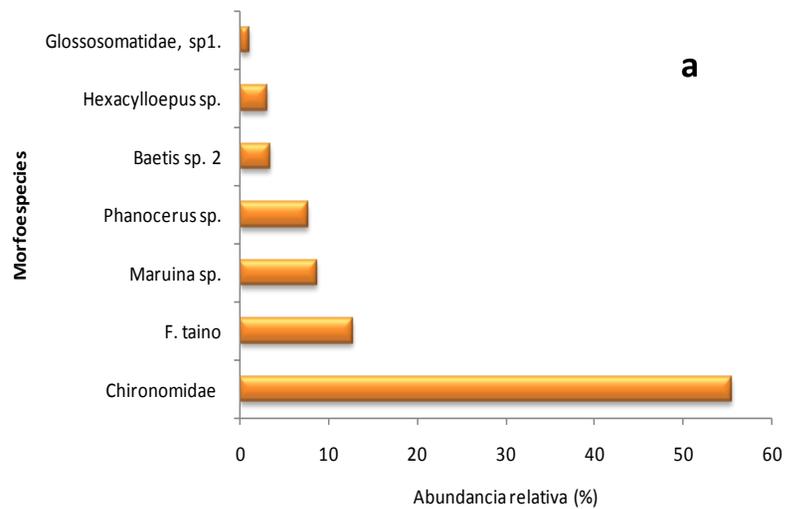
En la deriva del río Guanajibo, se colectaron un total de 357 individuos correspondientes a 28 especies. De éstos *M. tuberculata* (Pulmonata), *Simulium* sp. (Diptera) y *Hexacylloepus* sp. (Coleoptera), fueron las taxones más abundantes con un 14.28%, 13.44% y 10.64% (Figura 5).

El mes de febrero 2010, se caracterizó por tener el mayor número de individuos colectados, 246 ( $d=3.63$ ); mientras que el mes de octubre 2009 se reporta un escaso número de organismos colectados en deriva (Figura 6).

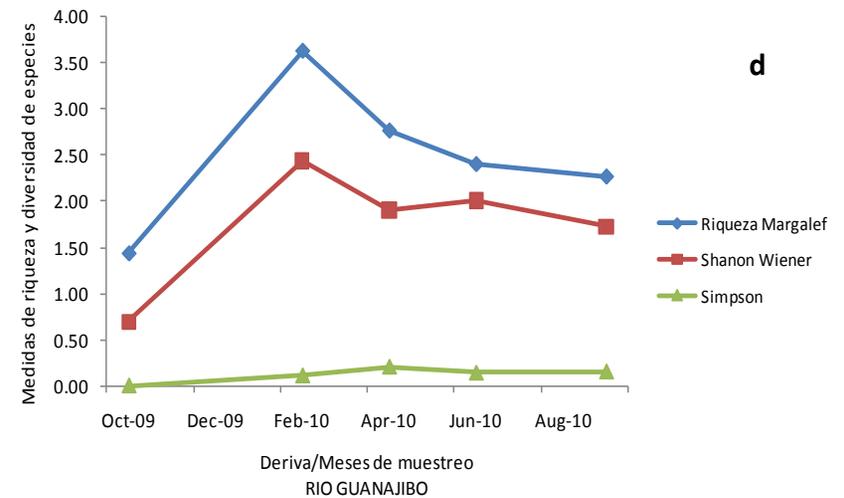
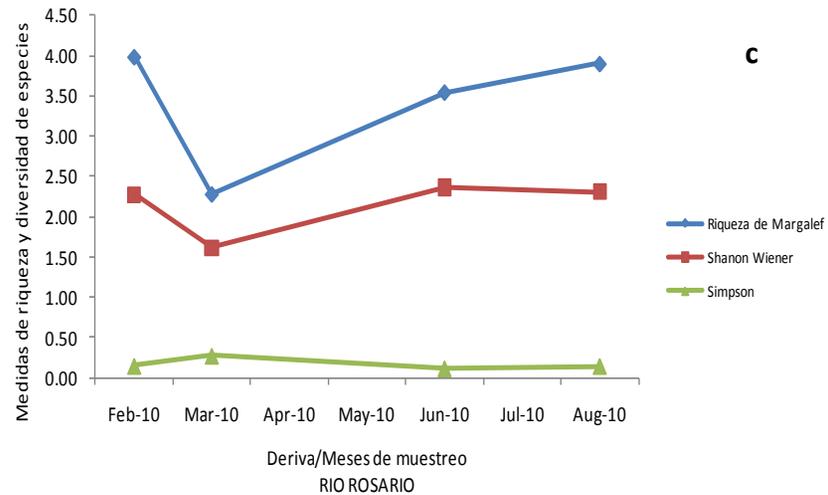
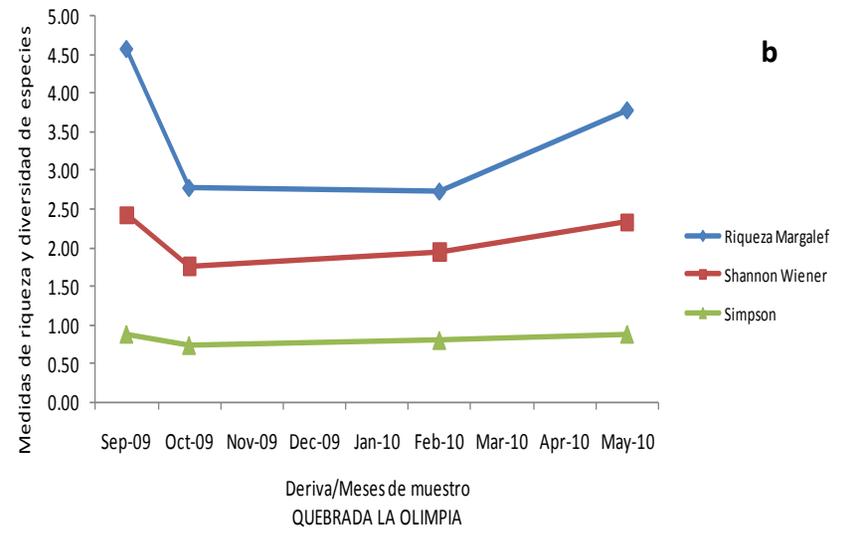
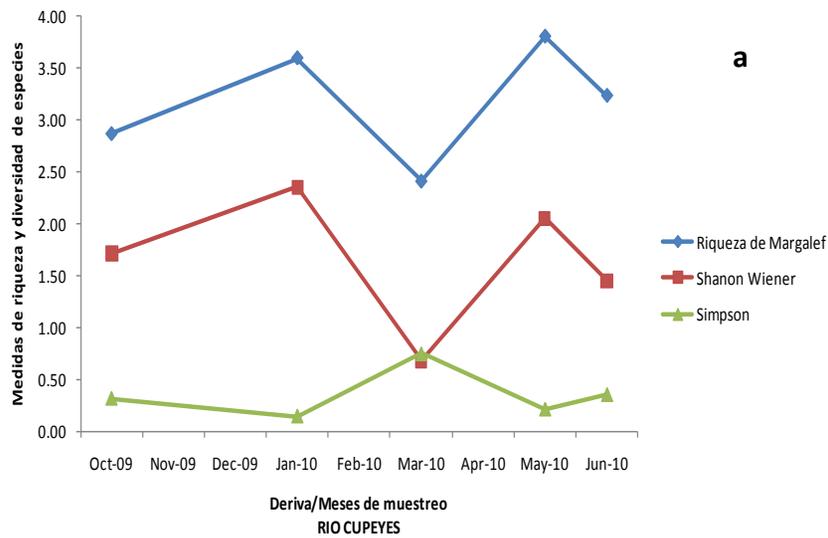
Los valores de los índices de riqueza de especies de Margalef, diversidad de Shannon Wiener y Simpson correspondientes a la deriva de los ríos estudiados son detallados en la Tabla 4.

**Tabla 4. Valores de los índices de riqueza y diversidad de especies derivantes de los cuatro ríos estudiados. S: total de especies; N: total de individuos; d: riqueza de especies de Margalef; H': Shannon Wiener;  $\lambda$ : Simpson.**

Río	N	S	d	H'	$\lambda$
Cupeyes	1682	36	4.71	1.72	0.66
Olimpia	410	28	4.48	2.21	0.80
Rosario	357	38	5.66	2.44	0.85
Guanajibo	683	28	4.59	2.71	0.91



**Figura 5. Inventario faunístico de los organismo derivantes en las áreas de estudio (abundancia relativa - porcentaje %): a. río Cupeyes; b. quebrada La Olimpia; c. río Rosario; d. río Guanajibo.**



**Figura 6. Variaciones temporales de la riqueza y diversidad de especies derivantes y descritas para las áreas de estudio: a. río Cupeyes; b. quebrada La Olimpia; c. río Rosario; d. río Guanajibo.**

## Evaluación de los Microhábitats: Hojarasca y Vegetación

En la hojarasca del río Cupeyes se obtuvo un total de 1673 individuos correspondientes a 41 especies de macroinvertebrados. Las taxones predominantes en este microhábitat fueron los organismos de la familia Chironomidae (Diptera), *F. taino* (Leptophlebiidae) y *Phanocerus* sp. (Coleoptera) con un 31.61%, 23.31% y 14.70% respectivamente de la abundancia total. (Figura 7). Mayo del 2010 fue el mes con el mayor número de individuos colectados, 842, en contraste con octubre 2009 en el que se obtuvo el menor número de individuos colectados, 74. La mayor riqueza de especies se obtuvo en junio 2010, cuyo valor fue de 4.07 (Figura 8).

En el río Olimpia, se colectaron 476 individuos pertenecientes a 25 especies. Para la hojarasca del río Olimpia se observó que Chironomidae (Diptera), *P. pulchrus* (Trichoptera) y *F. taino* (Leptophlebiidae) fueron las taxones más abundante en este microhábitat con un 17.43%, 17.22% y 17.01%. (Figura 7). La riqueza de especies para éste microhábitats fue de 3.89. En la hojarasca del río Olimpia, en el mes de mayo del 2010 se colectaron 213 individuos, reflejando un  $d=2.98$ , mientras que en el mes de septiembre del 2009 la riqueza de especies fue la más baja ( $d=2.10$ ) (Figura 8).

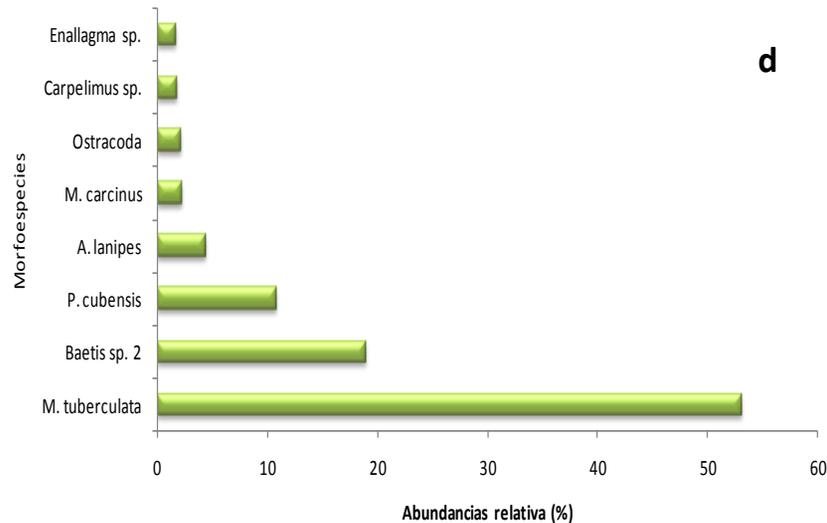
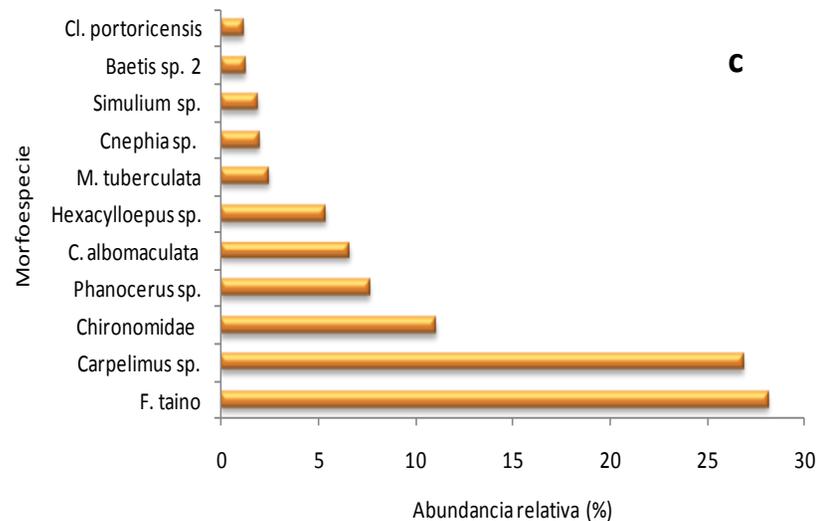
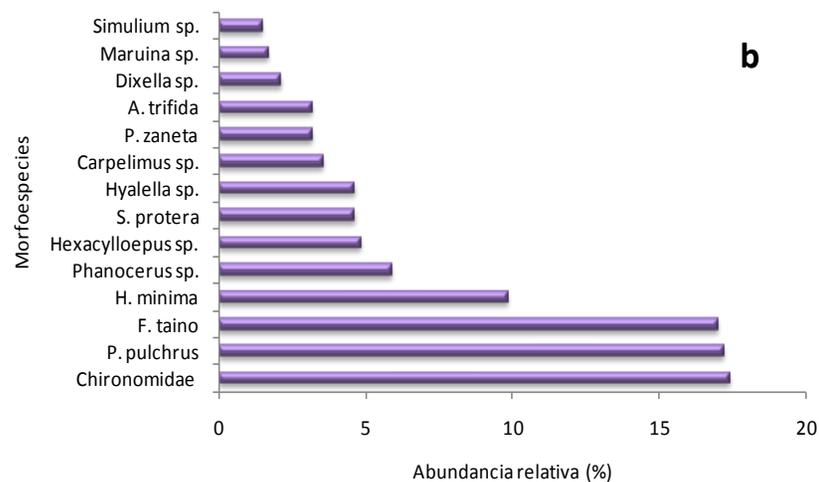
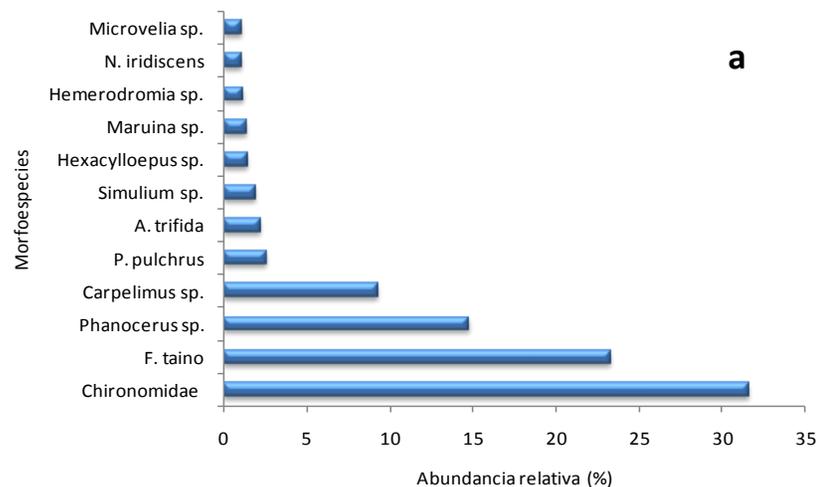
En el río Rosario, se colectaron 1139 individuos y fueron identificadas 28 especies. Las taxones más abundantes fueron: *F. taino* (Ephemeroptera) tuvo un 28.11%, *Carpelimus* sp. (Coleoptera) con 26.88% y Chironomidae (Diptera) 11.07% de la abundancia total (Figura 7). La riqueza de especies fue de 3.83. En el mes de febrero del 2010 se colectaron 445 organismos ( $d=2.95$ ) y en el mes de junio se colectaron 251 individuos ( $d=2.53$ ). Por otro lado, se observó la ausencia de hojarasca durante el mes de agosto (Figura 8).

En cuanto al río Guanajibo, la hojarasca estuvo ausente durante el período de muestreo, razón por la cual se decidió examinar la vegetación riparia. En este hábitat se colectaron un total de 1504 individuos que correspondieron a 34 especies. Aquí se encontró que *M. tuberculata* (Pulmonata) fue la especie más abundante (53.05%), seguido por *Baetis* sp.2 (Ephemeroptera) con un 18.94% y *Physa cubensis* con un 10.77% (Pulmonata) (Figura 7). En el mes de octubre del 2009, se observó la mayor abundancia de individuos en la vegetación, 860 (d=2.66); por su parte, febrero 2010 fue que mes con una menor abundancia de individuos, mientras que en octubre 2010 no se reportan individuos colectados (Figura 8).

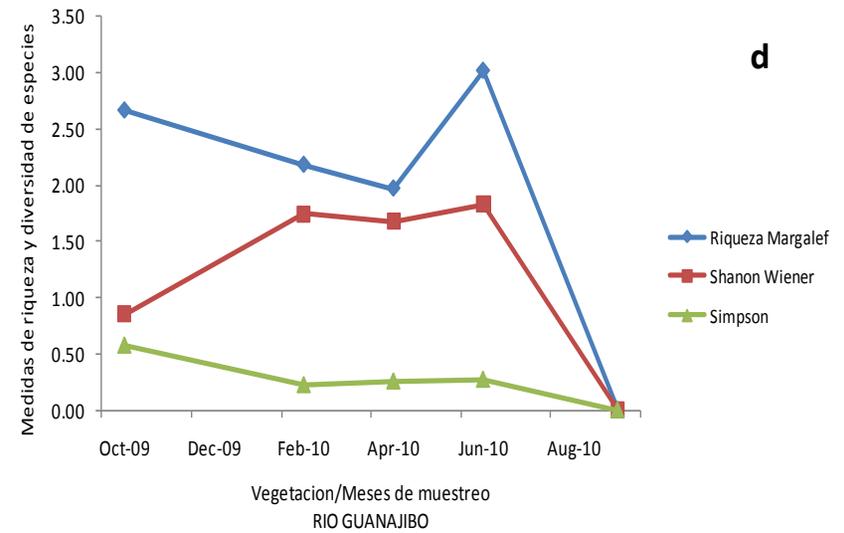
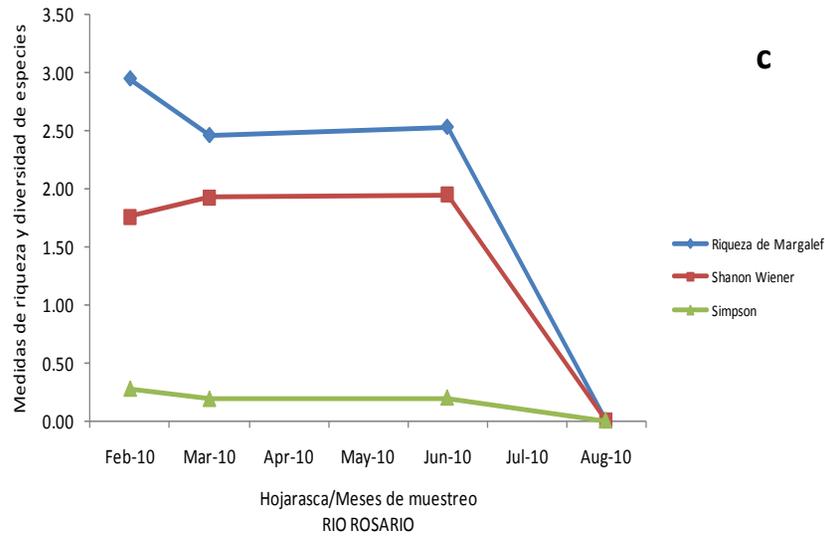
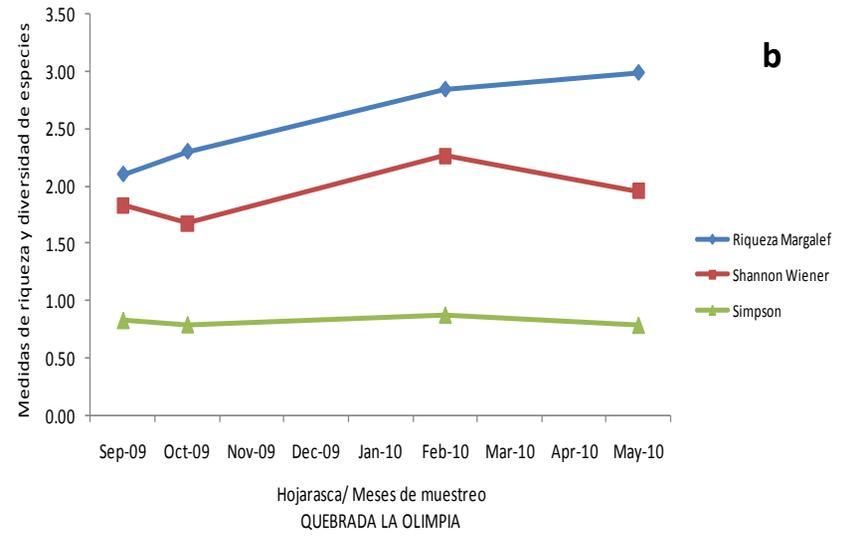
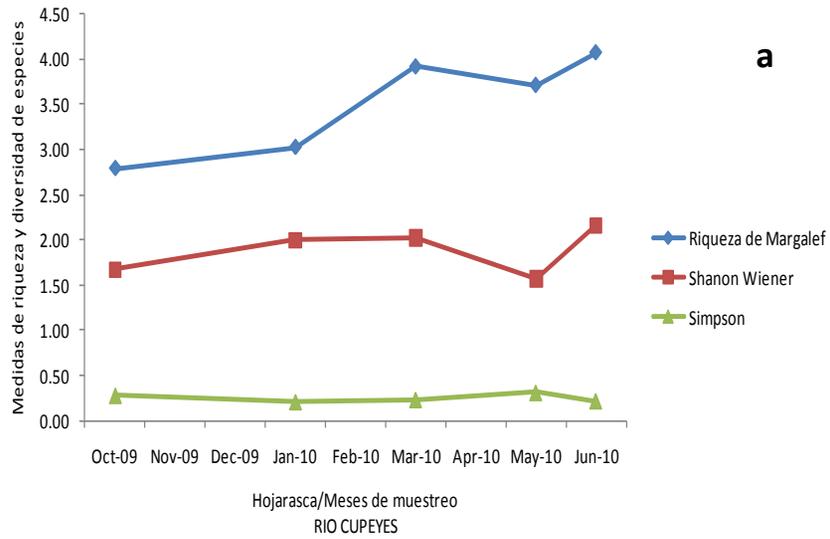
Los valores de los índices de diversidad de Shannon Wiener, Simpson y Riqueza de Margalef para éste microhábitat correspondientes a los ríos objeto de estudio, se describen en la Tabla 5.

**Tabla 5. Valores de los índices de riqueza y diversidad de especies para el microhábitat de hojarasca de los cuatro ríos estudiados y vegetación (Guanajibo). S: total de especies; N: total de individuos; d: riqueza de especies de Margalef; H': Shannon Wiener;  $\lambda$ : Simpson**

Río	N	S	d	H'	$\lambda$
Cupeyes	1673	41	5.38	2.19	0.81
Olimpia	476	25	3.89	2.47	0.88
Rosario	1139	28	3.83	2.14	0.82
Guanajibo	1504	34	4.51	1.63	0.66



**Figura 7. Inventario faunístico de las especies colectadas (abundancia relativa – porcentaje %) en la hojarasca de las áreas de estudio: a. río Cupeyes; b. quebrada La Olimpia; c. río Rosario; d. río Guanajibo (vegetación).**



**Figura 8. Variaciones temporales de la riqueza y diversidad de especies, colectadas en hojarasca y vegetación, descritos para la áreas de estudio: a. río Cupeyes; b. quebrada La Olimpia; c. río Rosario; d. río Guanajibo.**

## Evaluación de Microhábitats: Roca

En el río Cupeyes, se colectaron 1390 individuos asociados a las rocas. Se identificaron 33 especies; *Farrodes taino* (Ephemeroptera) fue la especie con la mayor abundancia, 47.33%, y Chironomidae (Diptera) tuvo 20.14% de representatividad (Figura 9). Unos 498 individuos fueron colectados en el mes de marzo del 2010, además es el mes que presentó el valor más alto de riqueza 3.86, a diferencia de octubre del 2009 con un total de 16 individuos colectados y con el índice de riqueza de especies más bajo, 1.08 (Figura 10).

En río Olimpia, se colectaron 324 individuos se identificaron 17 especies de macroinvertebrados; *F. taino* (Ephemeroptera), *Helycopsiche minima* y *Phylloicus pulchrus* (Trichoptera) fueron las especies más abundantes, para este microhábitat con, 34.56%, 16.04% y 15.43% respectivamente, de la abundancia (Figura 9). El mes de mayo 2010 arrojó el mayor número de individuos colectados en roca, 135 (d=2.24); mientras que en octubre 2009 se colectó el menor número de individuos, 54 (d=2.25) (Figura 10).

En el río Rosario fueron identificadas 34 especies y colectados 1341 individuos. *F. taino* (Ephemeroptera) fue la especie más abundante con 35.19% y los organismos de la familia Chironomidae (Diptera) predominaron en un 24.31% (Figura 9). Para el hábitat de roca en Rosario, la mayor abundancia de individuos se observó en junio 2010, con 473 (d=2.59) y la menor abundancia de individuos se registró en agosto 2010 con 234 organismos (d=1.83) (Figura 10).

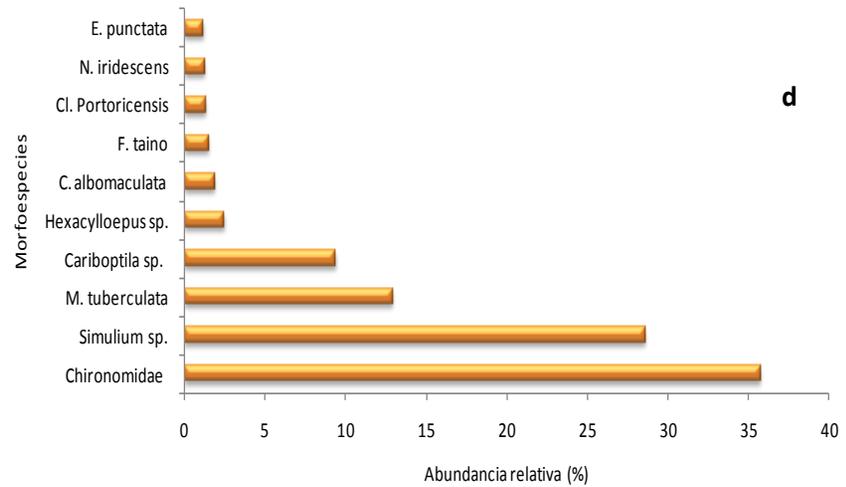
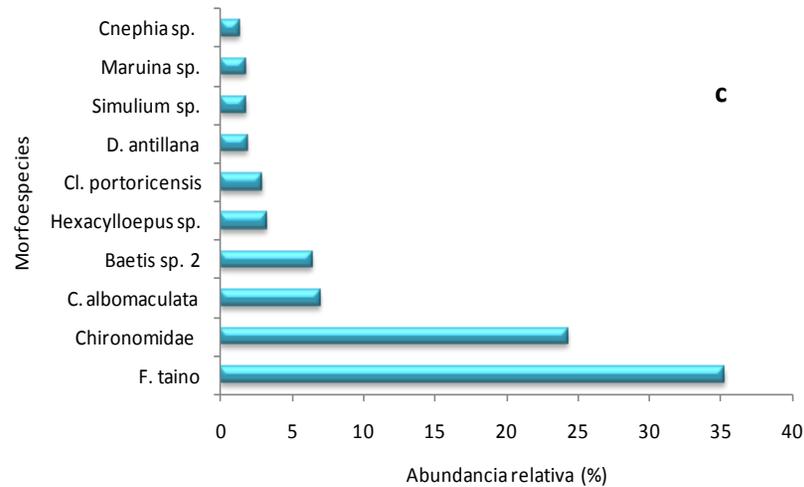
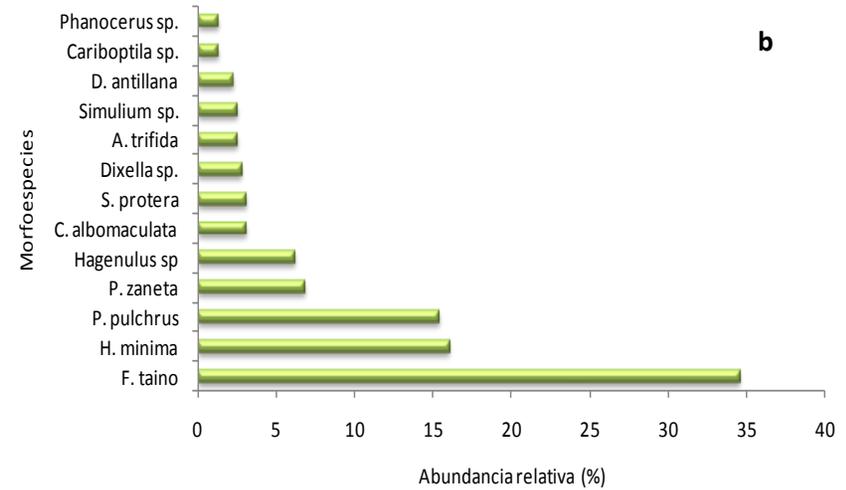
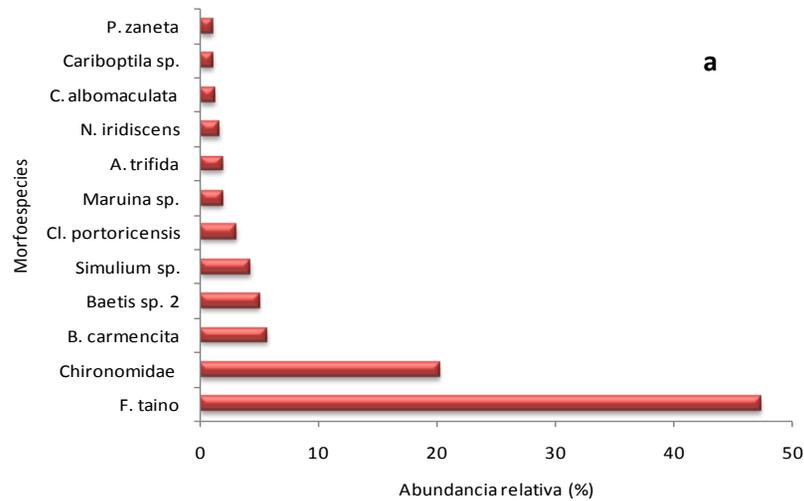
En el río Guanajibo, se colectaron un total 2946 individuos correspondientes a 34 especies. Los dípteros de la familia Chironomidae fueron los más abundantes en éste hábitat, 35.77%; luego predominaron las especies *Simulium* sp. (Diptera) y *M. tuberculata* (Pulmonata)

con un 28.58% y 12.93%, respectivamente (Figura 9). En febrero 2010, se obtuvo la mayor abundancia de individuos, se colectaron 1439 individuos ( $d=2.47$ ), contrario al mes de octubre 2009, en el se colectó el menor número de organismos, 55 ( $d=1.99$ ) (Figura 10).

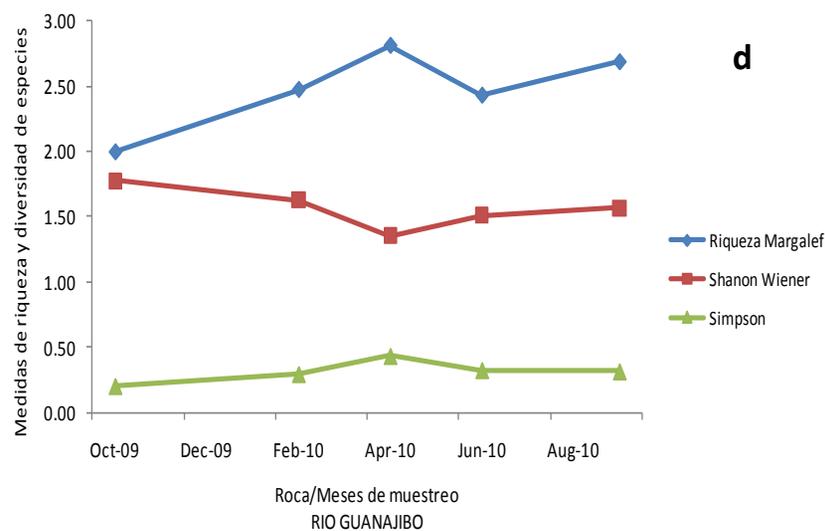
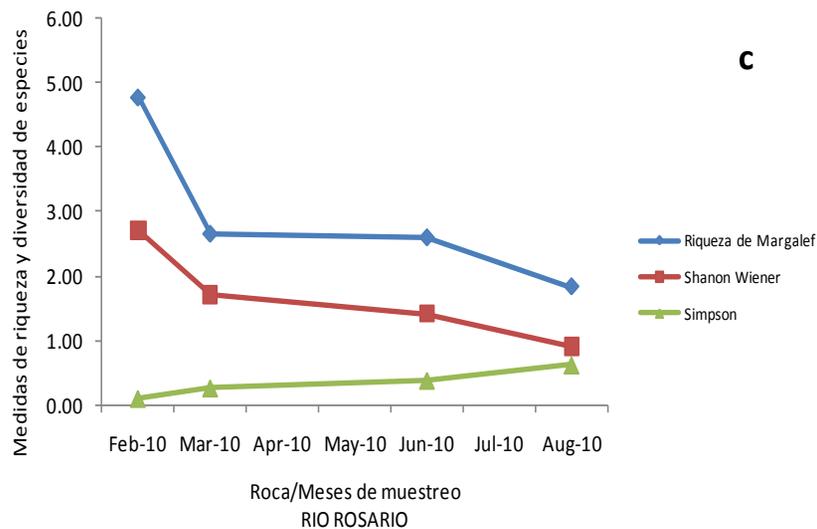
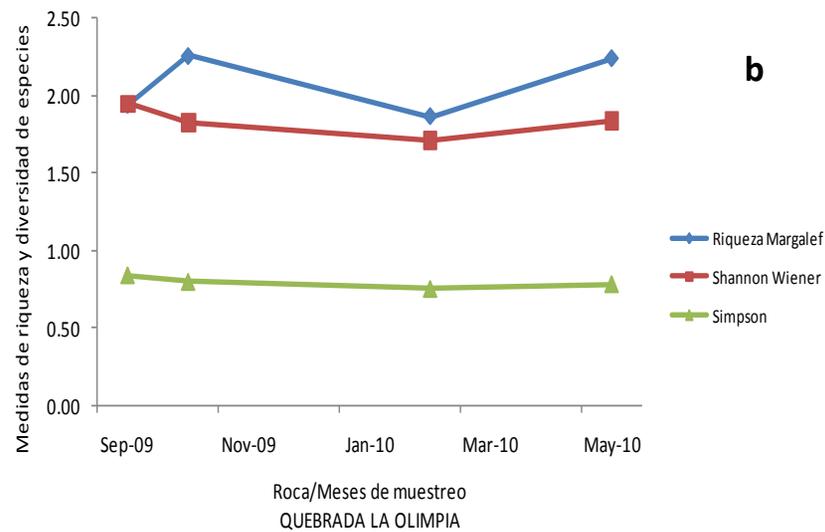
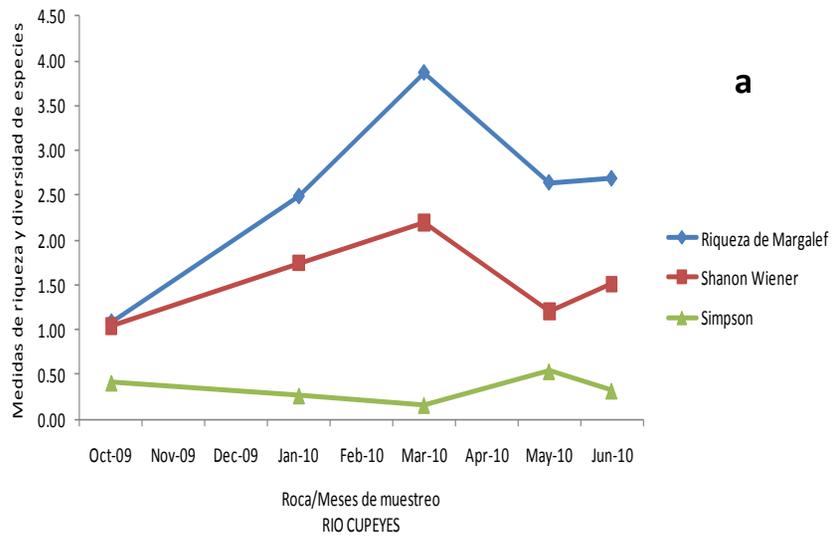
Los valores para los índices de diversidad de Shannon Wiener, Simpson y Riqueza de Margalef, se describen en la Tabla 6. Los datos corresponden al microhábitat de roca de los ríos muestreados.

**Tabla 6. Valores de los índices de riqueza y diversidad de especies para el microhábitat de roca de los cuatro ríos estudiados. S: total de especies; N: total de individuos; d: riqueza de especies de Margalef; H': Shannon Wiener;  $\lambda$ : Simpson.**

Río	N	S	D	H'	$\lambda$
Cupeyes	1390	33	4.42	1.92	0.72
Olimpia	324	17	2.76	2.11	0.82
Rosario	1341	34	4.58	2.15	0.80
Guanajibo	2946	34	3.25	1.81	0.76



**Figura 9. Inventario faunístico de las especies colectadas (abundancia relativa, porcentaje %) en rocas de las áreas de estudio: a. río Cupeyes; b. quebrada La Olimpia; c. río Rosario; d. río Guanajibo.**



**Figura 10. Variaciones temporales de la riqueza y diversidad de especies colectadas en rocas, descritos para las áreas de estudio: a. río Cupeyes; b. quebrada La Olimpia; c. río Rosario; d. río Guanajibo.**

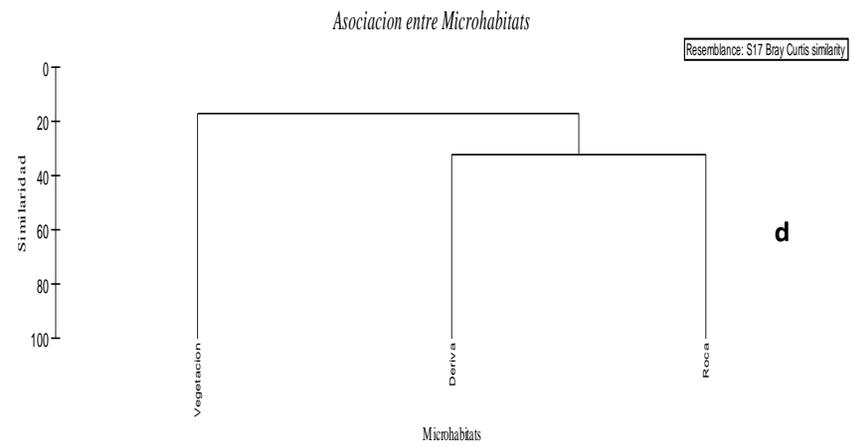
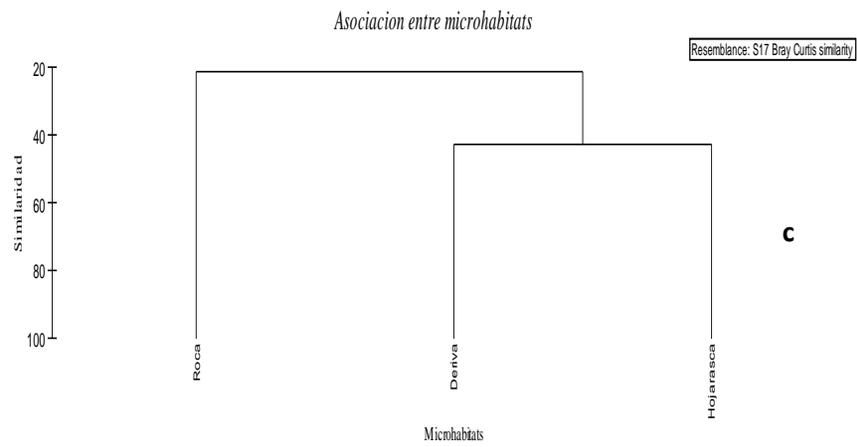
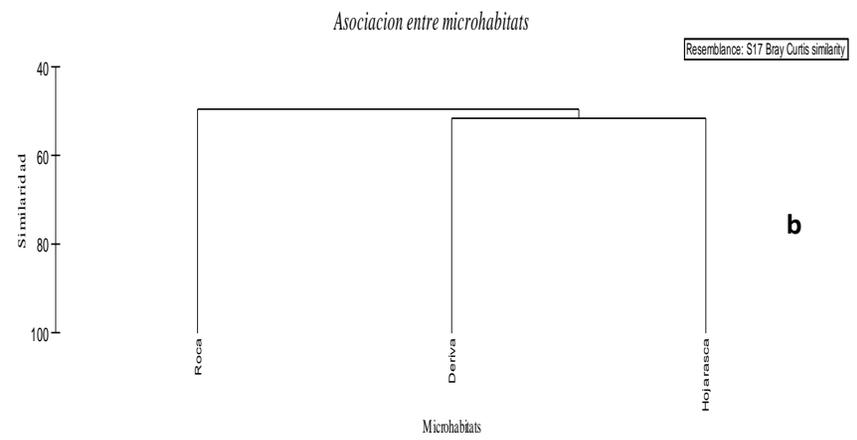
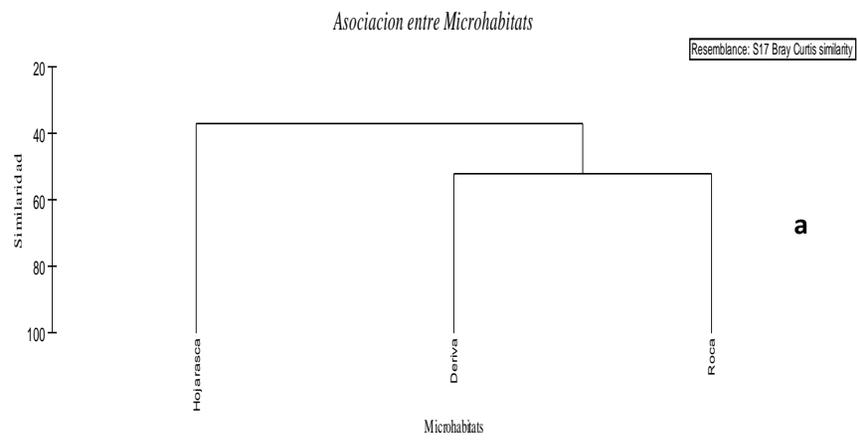
## **Análisis Multivariados: ríos Cupeyes, Olimpia, Guanajibo y Rosario**

De acuerdo con el análisis de varianza realizado para el río Cupeyes (Apéndice 2), no se encontraron diferencias significativas entre las abundancias totales y microhábitats estudiado ( $p=0.30$ ); pero a nivel de fechas de muestreo (Apéndice 3) si se hallaron diferencias significativas en términos de la abundancia total ( $p=0.0029$ ). El índice de similaridad de Bray Curtis muestra que la deriva y el microhábitat de roca son similares ( $B=52.34$ ), e igualmente el análisis Clúster describe una asociación entre ambos microhábitats (Figura 11).

En el río Olimpia, no se encontraron diferencias significativas tanto a nivel de los microhábitats estudiados ( $p=0.22$ ) como de fechas de muestreo,  $p=0.93$  (Apéndices 7 y 8). En cuanto al índice de Bray Curtis, la deriva y la hojarasca son similares ( $B=51.52$ ), pero también este último muestra similitud con el microhábitat de roca ( $B=50.99$ ). El análisis Clúster señala que la asociación más cercana se encuentra entre la deriva y la hojarasca (Figura 11).

En cuanto al río Rosario, se observó un efecto similar al descrito para el río Cupeyes: diferencia significativas a nivel de fechas ( $p=0.0001$ ) pero no entre microhábitats ( $p=0.56$ , Apéndices 11 y 12). El índice Bray Curtis y el análisis Clúster indican similaridad entre la deriva y la hojarasca de río Rosario ( $B=42.67$  Figura 11).

En el río Guanajibo se observó un comportamiento igual al de los anteriores (Apéndices 16 y 17): diferencias con respecto a las fechas de muestreo ( $p=0.011$ ), pero no a nivel de microhábitats ( $p=0.78$ ). Para este río se observaron similitudes entre la deriva y roca ( $B=32.12$ , Figura 11).



**Figura 11. Análisis Clúster, relación de similitud (índice Bray - Curtis) entre los microhábitats examinados en las áreas de estudio: a. río Cupeyes; b. quebrada La Olimpia; c. río Rosario; d. río Guanajibo.**

## **Descripción de los Parámetros Físico – Químicos de los ríos Cupeyes, Olimpia, Guanajibo y Rosario**

La Tabla 7 resume los valores de los parámetros físicoquímicos para los ecosistemas lóticos estudiados. El valor más alto de nitrógeno en forma de nitrato ( $\text{NO}_3$ ), fue registrado fue en la quebrada Olimpia (1.95 mg/L) y el más bajo fue en el río Rosario (1.38 mg/L). Los valores descritos para las áreas de estudio se hallaron dentro de los estándares establecidos por la USEPA (2009) (10 mg/L). En los valores de nitrato se registraron diferencias significativas entre los ríos ( $p=0.0182$ ).

A nivel temporal se observó que la quebrada La Olimpia y el río Guanajibo, tuvieron los mayores niveles de este nutriente durante los meses de octubre 2009. En el río Cupeyes la mayor variación sucedió en marzo 2010 y en el río Rosario en febrero 2010 (Figura 12).

En cuanto al nitrito ( $\text{NO}_2$ ), el valor más alto observado fue en el río Guanajibo (1.06 mg/L) encontrándose en el límite establecido por la USEPA (2009) (1 mg/L). El menor valor registrado fue en la quebrada Olimpia (0.5 mg/L). No se observaron diferencias significativas entre los ríos estudiados ( $p=0.08$ ). Los ríos Cupeyes, Rosario y la quebrada La Olimpia tuvieron una variación temporal similar en cuanto al comportamiento de este aspecto, por su parte, el río Guanajibo tuvo el mayor valor durante el mes de abril 2010 (Figura 12).

El  $\text{NH}_3$  (amonio no ionizado), considerado como la forma tóxica de amonio, se observó alto en el río Guanajibo (0.38 mg/L), mientras que en la quebrada la Olimpia se observó el valor más bajo (0.21 mg/L). Estos valores se encontraron por debajo de los rangos establecidos para la vida acuática (0.53 – 22.8 mg/L, USEPA 1986).

El río Guanajibo mostró una mayor tendencia temporal en cuanto a los valores de amonio no ionizado, observándose altos en los meses de octubre 2009, febrero y septiembre 2010; por otro lado, las tendencias de las demás áreas de estudio son comparativamente bajas con respecto a la anterior (Figura 12).

Entre los sitios estudiados, el fosfato presentó diferencias significativas ( $p=0.001$ ). Este parámetro se observó alto en el río Guanajibo (1.44 mg/L), valor que se encuentra por encima de los establecidos por PREQB (2010), mientras que en el río Cupeyes fue bajo (0.24 mg/L). La variación temporal de este parámetro fue similar en las áreas de estudio, excepto, durante junio 2010, cuando se registró un aumento de este valor para el río Guanajibo (Figura 13).

El oxígeno disuelto para los cuatro ríos estuvo entre 7.0 y 7.34 mg/L y dentro de los límites estipulados por PREQB (2003) (5 mg/L), al igual que la temperatura, la cual no obrepasó los 32.2 °C. Este parámetro para los cuatro ríos varió entre los 20.37 a 28.03 °C. En las áreas de estudios se hallaron diferencias significativas para ambos parámetros (Temperatura  $p=0.0004$  y Oxígeno disuelto  $p=0.005$ ). Se observó que los ríos Guanajibo y Rosario presentaron las mayores fluctuaciones temporales para ambos parámetros (Figura 13).

**Tabla 7. Valores promedio de los parámetros físico – químicos de los ríos estudiados. NH<sub>3</sub>: Amonio no ionizado; NO<sub>3</sub>: Nitrate; NO<sub>2</sub>: Nitrito; PO<sub>4</sub>: Fosfato. mg/L: miligramos por litro; °C: grados centígrados; x: promedio;  $\sigma$ : desviación estándar.**

Parámetro		Cupeyes	Olimpia	Rosario	Guanajibo
NH <sub>3</sub> (mg/L)	x/ $\sigma$	0.27/0.19	0.21/0.1	0.24/0.07	0.38/0.18
NO <sub>3</sub> (mg/L)	x/ $\sigma$	1.59/1.95	1.95/2.16	1.38/1.34	1.57/2.38
NO <sub>2</sub> (mg/L)	x/ $\sigma$	0.78/1.67	0.5/0.75	0.52/0.68	2.18/3.39
PO <sub>4</sub> (mg/L)	x/ $\sigma$	0.24/0.24	0.34/0.24	0.89/0.35	1.44/0.43
Oxígeno disuelto (mg/L)	x/ $\sigma$	7.05/0.34	7.05/0.27	7/0.3	7.34/0.86
Temperatura (°C)	x/ $\sigma$	23.65/1.06	20.37/0.6	25.67/1.33	28.03/2.43

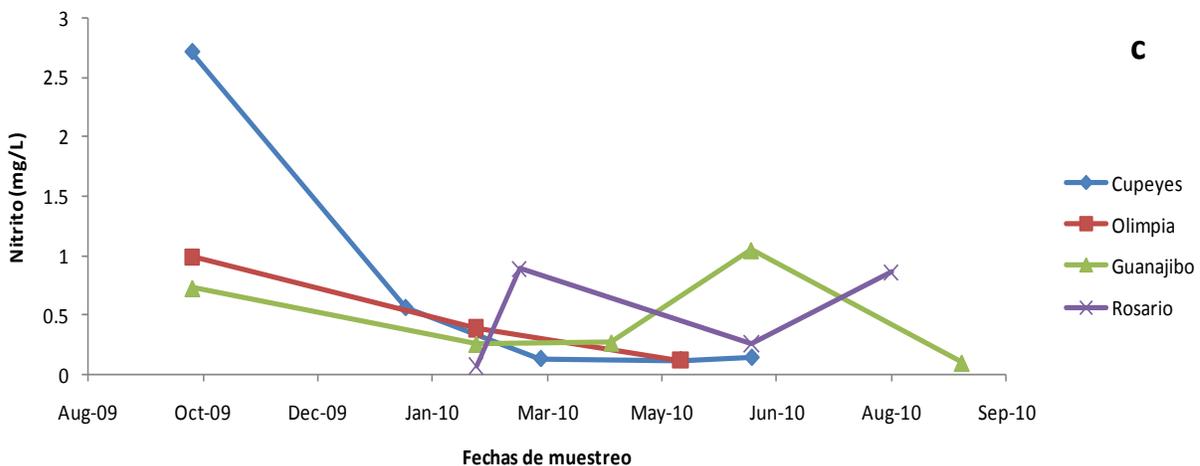
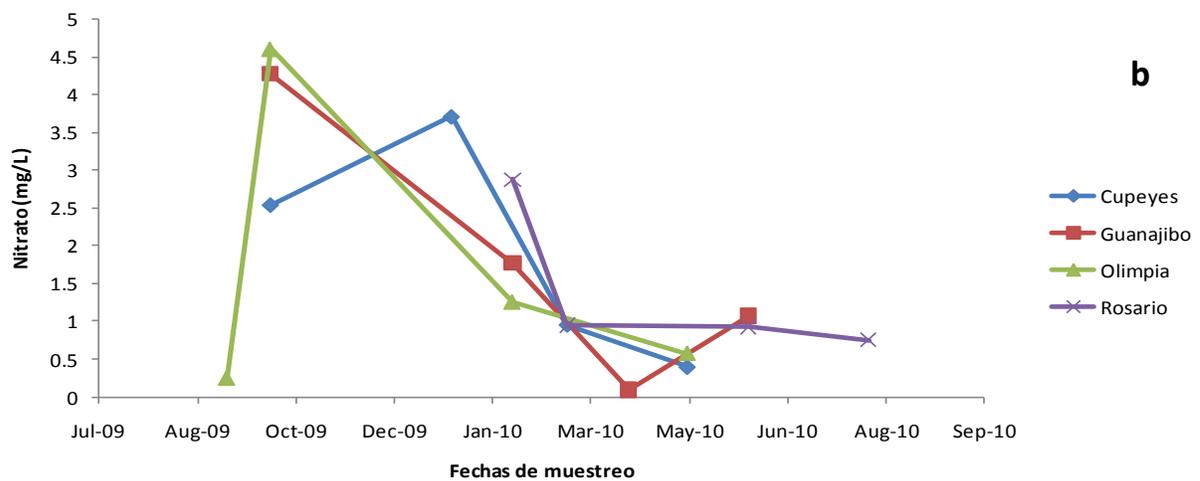
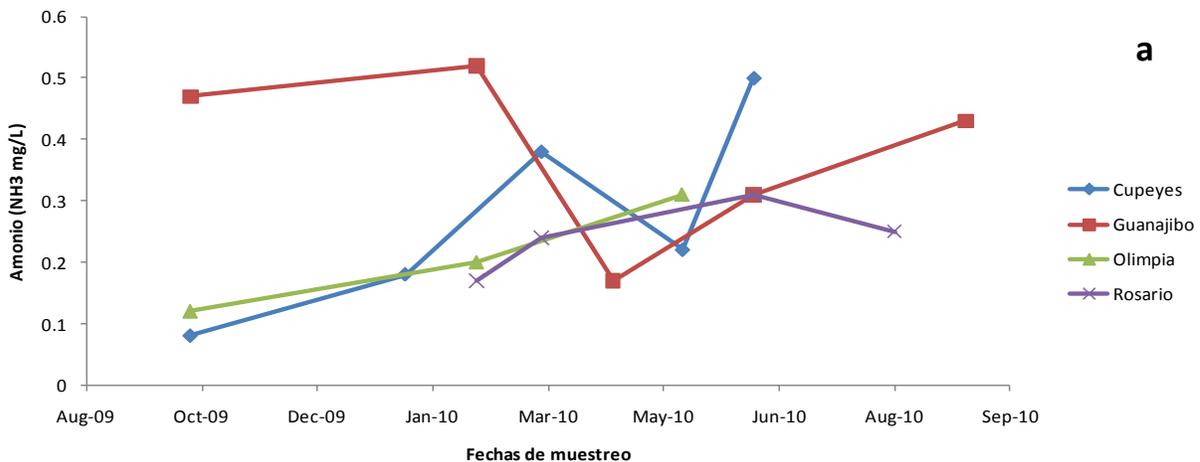
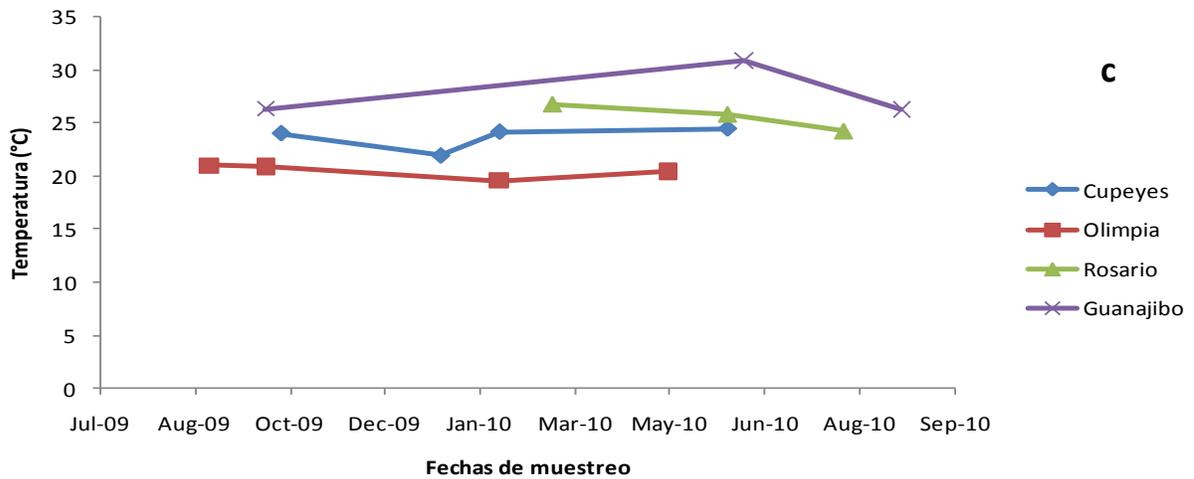
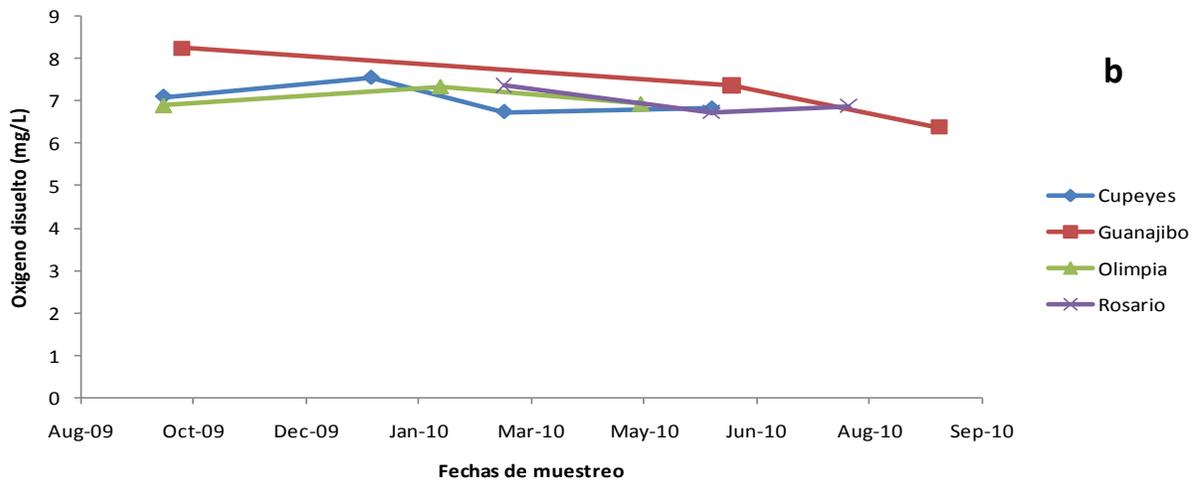
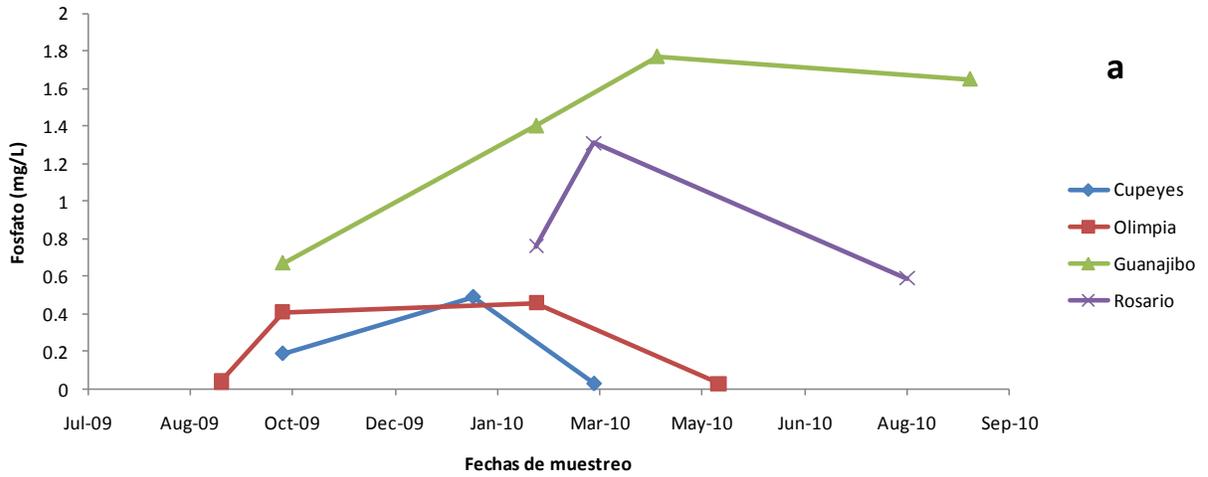


Figura 12. Descripción temporal de los parámetros físicoquímicos de las áreas de estudio; a. Amonio no ionizado (mg/L); b. Nitrate (mg/L); c. Nitrite (mg/L).

mg/L= miligramos por litro



**Figura 13. Descripción temporal de los parámetros físicoquímicos de las áreas de estudio; a. Fosfato (mg/L); b. Temperatura (°C); c. Oxígeno disuelto (mg/L).**

mg/L= miligramos por litro °C= grados centígrados

## Evaluación Biológica de los ríos Cupeyes, Olimpia, Rosario y Guanajibo

La lista de las familias bioindicadoras y sus puntuaciones se detallan en los Apéndices 19, 20 21 y 22. Se incluyen los valores correspondientes a los asignados por el BMWP' modificado por Alba-Tercedor (1996) y las versiones de éste índice replanteadas para Cuba por Muñoz *et al.* (2005), y en Colombia por Roldán (1999).

Los valores para los ríos Cupeyes, Olimpia, Rosario y Guanajibo se detallan a continuación en la Tabla 8:

**Tabla 8. Valores del índice BMWP' modificado, BMWP'Cu (Cuba) y BMWP'Co (Colombia) para los ríos estudiados.**

Río	BMWP'	BMWP'Cu	BMWP'Co
Cupeyes	133	184	181
Olimpia	129	179	164
Rosario	132	177	154
Guanajibo	115	144	142

De acuerdo con éstas puntuaciones, los cuatro ríos estudiados presentan aguas muy limpias (>150) o, aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible (101 - 120).

Por otro lado, el Índice Biótico de Familias de Hilsenoff, IBF, estimó que:

- El río Cupeyes tiene una calidad de agua regular/regular - pobre con contaminación orgánica regular – significativa.
- El río Olimpia posee una calidad de agua pobre/muy pobre con contaminación orgánica muy significativa/severa.
- El río Rosario, tiene una calidad de agua regular - pobre con contaminación orgánica significativa.

- El río Guanajibo, tiene una calidad de agua, que de acuerdo con los valores obtenidos, oscila entre regular a muy buena con contaminación regular a ligera.

**Tabla 9. Índice Biótico de Familias (Hilsenoff), obtenido a partir de los valores de tolerancia del BMWP’Cu (Cuba) y BMWP’Co (Colombia) de los ríos estudiados.**

Río	Índice Biótico de Familias de Hilsenoff (IBF)	
	BMWP’Cu	BMWP’Co
Cupeyes	5.95	5.68
Olimpia	7.05	7.52
Rosario	5.98	6.18
Guanajibo	5.49	3.74

## DISCUSION

En los ríos estudiados, la comunidad de macroinvertebrados se encontró dominada por individuos pertenecientes a la clase Hexapoda; en ellos coincidieron organismos pertenecientes a los órdenes Diptera, Ephemeroptera, Coleoptera, Trichoptera y Odonata los cuales han sido reportados en los ecosistemas de zonas templadas (Hynes 1970, Allan 2001, Merrit *et al* 2008). También se registraron los órdenes Amphipoda, Decapoda, Gasteropoda, Hirudínea y Tricladia. Todos los anteriores son taxones que se encuentran en los ecosistemas tropicales (Jacobsen *et al* 2008, Masteller y Buzby 1993, Pinilla 1998) e islas del Caribe (Bass 2003).

Las familias de macroinvertebrados informadas para las áreas de estudio (Apéndices 1, 6, 11 y 15), también fueron reportadas en otros estudios realizados en río Yagüez (Ruperto 2008), en el río Rosario (Collazos 2001), en la quebrada Prieta (Masteller *et al.* 1993), y en las quebradas Prieta y Bisley (Ramírez y Hernández Cruz 2004).

En orden de número total de individuos colectados, los ríos Guanajibo, Cupeyes y Rosario tienen los mayores números muestrales; mientras que en la quebrada La Olimpia se reporta un menor número de individuos colectados. Estas diferencias estarían explicadas porque en la composición taxonómica de los ríos Guanajibo, Cupeyes y Rosario se reportan un mayor número de especies raras (individuos por especie < 5), comparten características como la zona geográfica en la que se encuentran, períodos de precipitación, la unidad hidrológica a la cual pertenecen (USGS 2009), y similitudes en el tipo de substrato compuesto por rocas grandes y sedimento fino.

La morfoespecie *F. taino* y los individuos de la familia Chironomidae fueron organismos comunes y dominantes en los ríos Cupeyes, Rosario y Guanajibo. Este comportamiento, en el caso de los chironómidos, obedece a la ecología del grupo. Los quironómidos tienen amplia distribución con tendencia a ser abundantes y a tener una alta riqueza de especies que puede variar de acuerdo con las condiciones de su medio ambiente (Armitage *et al.* 1995; Lindegaard y Brodersen 1995, citado en Tejerina y Molineri 2007) Estos organismos ocurren en la mayoría de los ecosistemas acuáticos y en variados gradientes de temperatura, pH, oxígeno, velocidad de corriente y altitud (Ferrington *et al.* 2007). *F. taino* es un organismo del que se conoce poco acerca de su ecología; Lugo-Ortiz y McCafferty (1994) reportan que esta especie se encuentra en sistemas lóticos de temperatura entre 21 y 24 °C. También se sugiere como un organismo con un amplio comportamiento estenoico.

La quebrada La Olimpia se caracterizó por tener un mayor número de familias de tricópteros, cuya distribución está relacionada con la magnitud y la calidad de la vegetación riparia (Wiberg-Larsen *et al.*, 2000). *H. minima* y *P. pulchrus*, se encontraron dominantes en la quebrada La Olimpia, situación que no se reflejó en los demás sistemas. Esto puede deberse a condiciones tales como: (i) el dosel cerrado (Gualtero 2007), que implica mayor aporte de material alóctono y un substrato pedregoso que es utilizado por estos organismos para la fabricación de sus caparzones o “cases”; (ii) *P. pulchrus* es un organismo que suele ser propio de sistemas lóticos pequeños (Flint 1964, 1992) y de aguas frías (Wiggins 2000). En la quebrada Olimpia, la temperatura del agua fue menor (comparativamente con los ríos Guanajibo, Cupeyes y Rosario) durante los meses muestreados, y (iii) *H. minima* se reconoce como una especie que está distribuida a lo largo de la isla y se muestra abundante en ecosistemas poco impactados (Flint 1964).

La mayor ocurrencia de estos organismos fue en sustratos duros como rocas, lo cual indicaría estabilidad y diversidad en estos sustratos que se suelen observar compuestos por material particulado que propician el establecimiento de algas y a su vez presentan hendiduras que atrapan ciertas cantidades de materia orgánica (Ward 1992; Wright *et al.* 1983; Minshall 1984 citados en Velazquez y Miserendino 2003).

Entre los ríos estudiados se observaron familias de macroinvertebrados coincidentes, como Leptophlebiidae y Baetidae (Ephemeroptera), Philopotomidae, Hydroptilidae y Glossosomatidae (Trichoptera), Staphilynidae y Elmidae (Coleoptera), Dixidae, Ceratopogonidae, Simuliidae, Chironomidae y Psychodidae (Diptera), Pyralidae (Lepidoptera), Veliidae (Hemiptera), Coenagrionidae y Libellulidae (Odonata). Pero, las mayores diferencias en cuanto a composición se encuentran a niveles de género y especie.

En el río Cupeyes tenemos a *B. carmencita*, *Serromyia* sp., *F. centralis*, *A. scabra*, *Tipula* sp. y *Atrichopogon* sp. cf. En la quebrada La Olimpia, se observaron taxones como, *Hagenulus* sp., *Neohagenulus* sp., Leptoceridae, *O. puertoricensis* e *Hydrochus* sp. El río Rosario se registró la presencia de especies como *L. tubifex*, *Metrichia* sp., *Sphenus* sp., *Steinovelina* sp., *Mesovelina* sp., *Limnogonus* sp., *Limnoporus* sp., *Buenoa* sp., *Sympetrum* sp. y *P. mexicana*. Por su parte, *B. garcianus*, *Dicanocentrus* sp, *S. tristani*, *Paraplea* sp., *Belostoma* sp., *Anax* sp., *Macrothemis* sp. *A. lanipes*, *P. cubensis* y *E. punctata* cf., solo se hallaron en el río Guanajibo. Estas diferencias pueden obedecer a un efecto en el tipo de hábitat. En la quebrada La Olimpia y el río Cupeyes el aporte de material alóctono proveniente del bosque, propicia el mantenimiento de material orgánico grueso en forma de paquetes de hojas y que luego es convertido a un material fino, beneficiando a los organismos colectores, recolectores y fragmentadores (Ramírez *et al.* 1998).

En los ríos Rosario y Guanajibo la incidencia del bosque sobre el sistema no se muestra de la misma forma que en los anteriores, por ello se observó una mayor incidencia de luz solar que favorece el crecimiento de algas y por ende provee una importante fuente de alimento para organismos herbívoros y colectores (Colbert y Allan 2001). En los ríos de Norteamérica se ha encontrado que el 66% del alimento de los consumidores primarios es de origen autóctono, constituyendo la entrada de este material lo que afecta la abundancia y distribución de los macroinvertebrados (Nelson y Scott 1962) y de acuerdo con Vannote *et al.* (1980) a este nivel la cantidad de material fino particulado beneficia a los organismos colectores pero cambian las proporciones entre el número de herbívoros y colectores, los fragmentadores se reducen en un 5% y los depredadores constituyen un 15% de la población.

Los macroinvertebrados acuáticos presentan distintas asociaciones, comportamientos y especializaciones asociados con la adquisición de alimento, y que les permite explotar una variedad de recursos orgánicos (Cummins y Klug 1979, Dudgeon 1989). A nivel espacial, en los ríos evaluados no se encontraron diferencias significativas entre las abundancias de los organismos por microhábitat evaluado; pero se observó que la hojarasca fue uno de los microhábitats donde se halló un mayor número de individuos mayores debido a que estos microambientes soportan una mayor abundancia y biomasa de macroinvertebrados (Ramírez *et al.* 1998).

A nivel de similitud entre microambientes, podemos mencionar que los microhábitats de deriva vs roca de los ríos Cupeyes y Guanajibo se encontraron bien asociados, no sólo por los atributos tróficos de los macroinvertebrados, sino también, porque en el momento de realizar el disturbio entre las rocas, los organismos que se encuentran adheridos a este substrato logran

escapar y derivar con la corriente siendo posteriormente atrapados en la red, efecto que puede estar favoreciendo esta asociación.

Por su parte, río Rosario y la quebrada La Olimpia mostraron que los microhábitats hojarasca y deriva se encuentran asociados en virtud de que morfoespecies como *Caenis* sp., *Dixella* sp., y Ostracoda para río Rosario, y *Neoelmis* sp., *Hexacylloepus* sp. *Dineutus* sp. *Blepharicera* sp. *Microvelia* sp., y *Brechmoroga* sp., en la quebrada La Olimpia, estuvieron presentes en ambos microhábitats. Esto también se relacionada con el comportamiento de estos organismos, la mayoría de ellos herbívoros, por lo cual es lógico esperar encontrarlos en el detrito que al momento de ser colectada se genera una fuga de organismos tras realizar el dsiturbio cayendo posteriormente en la red; situación similar a la observada fue descrita por Bass (2004) y Cummins *et al* (2008), quienes afirman que estos grupos de organismos los efemerópteros, tricópteros, dípteros, coleópteros y odonatos suelen ser encontrados en la deriva.

Se observó que el río Rosario presentó índices de riquezas mayores a los descritos para los demás sistemas. En teoría, la relación entre la intensidad del tensor y la diversidad de especies responde de forma inversa (Ramírez 1998), por lo cual se esperaría que los ríos impactados presentaran los menores valores en cuanto a riqueza de especies (Escobar 1989). Pero en este río (a diferencia del río Guanajibo) podrían estar manifestandose ligeros cambios a nivel de su ecología lo que estaría influyendo en este aspecto (Cornell 1978), teniendo en cuenta que bajos efectos del tensor no incide fuertemente sobre la comunidad. Sin embargo, este concepto sería mucho mas fuerte sí se pudiera comparar con otros estudios realizados en este mismo tópico. En cuanto al índice de riqueza de Margalef, cabe señalar, que valores superiores a 5 implicarian una estabilidad en el sistema, situación que podría estar reflejándose en este caso.

En términos de variación temporal, en los ríos Cupeyes, Rosario y Guanajibo ( $r = -0.13$ ;  $r = 0.4$ ;  $r = -0.05$  respectivamente) se encontró una correspondencia inversa o con poca fuerza con los períodos de lluvia y estiaje, pues durante los cambios en el nivel de las aguas, de diciembre a marzo, hay una retención y acumulación de materia orgánica disponible que puede ser aprovechada por los organismos (Herrera-Vásquez 2009), señalando una mayor abundancia de individuos. Resultados similares fueron reportados por Medianero y Samaniego (2004) en Panamá. Sugiriendo que las especies están utilizando de forma eficiente los recursos y los substratos disponibles.

Un comportamiento como el descrito no fue observado en la quebrada Olimpia, donde el patrón de precipitación fue constante, entonces, podemos suponer que la abundancia de macroinvertebrados estaría respondiendo a otros factores como el tamaño del caudal, pendiente o la composición del sustrato. Estos aspectos pueden ser confirmados llevando a cabo otros estudios con respecto a este tema.

Los valores de los parámetros físico-químicos del agua de los ríos estudiados, variaron ligeramente en comparación con el río Yagüez (Ruperto 2008), donde se reportaron valores de temperatura y oxígeno disuelto entre 20 - 24.9 °C y 6.99 – 7.39 mg/L. Por su parte Gualtero (2007), en la quebrada la Olimpia, reportó 19.5°C de temperatura y 7.84 mg/L de oxígeno disuelto y Collazos (2001) describe valores de oxígeno disuelto de 6.88 a 7.47 mg/L en el río Rosario.

Valores altos en la temperatura del agua y bajos en oxígeno disuelto señalarían una reducción en la riqueza de la comunidad y dominancia de oligoquetos o dípteros sobre la comunidad de insectos (Adamus y Brandt 1990, citado por Arango *et al.* 2008). La familia

Chironómidae y *Simulium* sp. (Diptera) se mostraron dominantes sobre la comunidad de macroinvertebrados de los ríos Cupeyes, Rosario y Guanajibo; pero en el caso de la riqueza de especies, no se podrían realizar comparaciones dado que no se cuenta con medidas de riqueza de especies de macroinvertebrados previas.

Gualtero (2007) en la quebrada La Olimpia, describe valores de nitritos y fosfato menores en comparaciones con los actuales y Collazos (2001) registró valores de nitritos similares y de fosfatos menores a los descritos en el presente estudio. Esto podría indicar un aumento en las concentraciones de nitrógeno y fósforo cuyas fuentes son descargas de materia orgánica, uso de fertilizantes o el lavado de los suelos. El enriquecimiento por nutrientes implicaría dominancia de oliquetos, dípteros o efemerópteros sobre la comunidad de insectos (Adamus y Brandt 1990 citado por Arango *et al.* 2008). En los sistemas estudiados, los dípteros y efemerópteros, mostraron las mayores abundancias relativas y, en algunos casos, fueron los organismos dominantes. Esto sugiere gran disponibilidad de material orgánico (Resh y Jackson, 1993) teniendo en cuenta que estos elementos N ( $\text{NO}_3$ ) y P ( $\text{PO}_4$ ) se encuentran relacionados con el crecimiento de algas sobre rocas duras como las rocas. Las diferencias significativas de los parámetros físicoquímicos entre los ríos examinados puede relacionarse con: (i) los momentos en los cuales fueron tomadas las muestras, pues los períodos muestrales no siempre coincidieron para todos los ríos; (ii) atributos como tamaño del caudal (iii) velocidad de la corriente y (iv) períodos de precipitación.

Teniendo en cuenta el criterio de clasificación de los ríos estudiados, los valores de los índices del BMWP' Cu, Co y IBF, no arrojaron los resultados teóricamente esperados: altos para los ríos de referencia (101-120) y bajos para los ríos impactados (<100). Los valores de tolerancia del BMWP' Cu y Co, otorgados a familias como Leptophlebiidae, Baetidae,

Glossosomatidae, Hidroptilidae, Elmidae, Aeshnidae, Coenagrionidae, Thiaridae, Dixidae, Simuliidae y Notonectidae pueden aludir a las características ecológicas de los lugares de donde fueron emitidos, cuyas diferencias radicarían a niveles geográficos, altitudinales y ambientales.

*Farrodes taino* (Leptophlebiidae), *Cloeodes portoricensis* (Baetidae), *Chimarra portoricensis*, *Chimarra albomaculata* (Philopotomidae) *Cariboptila* sp. (Glossosomatidae), *Atopsiche trífida* (Calamoceratidae), *Carpelimus* sp. (Staphilinidae), *Phanocerus* sp., *Neoelmis* sp., *Hexacylloepus* sp. (Elmidae), *Dixella* sp. (Dixidae), *Bezzia* sp., *Forcipomyia* sp. (Ceratopogonidae), *Maruina* sp. (Psichodidae), *Simulium* sp. (Simuliidae), *Petrophyla* sp. (Pyralidae), *Rhagovelia* sp, *Microvelia* sp. (Veliidae), *Enallagma* sp. (Coenagrionidae) y *Brechmorohoga* sp. (Libellulidae) fueron especies coincidentes en los sistemas estudiados. A nivel de Puerto Rico, esto indicaría que los organismos pertenecientes a estas familias se muestran en variantes en sus ecologías como individuos que se han adaptado a ciertas condiciones de perturbación y que su tolerancia a la contaminación es distinta a la observada en otros lugares.

De acuerdo con la literatura, la mayoría de las familias mencionadas pueden variar desde hábitats de aguas limpias hasta ligeramente contaminadas (Pinilla 1998), aspecto coincidente en este caso, donde fueron observadas en todas las áreas estudiadas. Pero, los ríos considerados como poco impactados, Cupeyes y quebrada La Olimpia, comparten taxones reconocidos como poco tolerantes a la contaminación: *Blepharicera* sp. (Blephariceridae) y *P. zaneta* (Polycentropodidae), taxones indicadores de condiciones intermedias de contaminación *E. sinuatifrons* (Pseudothelphusidae) y *Dineutus* sp. (Gyrinidae) y a *Hyallega* sp. indicadora de altos contenidos de materia orgánica, pero con la aplicación del BMWP' Cu y Co para estos ríos su calidad de agua es regular/pobre con contaminación orgánica severa.

La abundancia de *P. pulchrus* y *H. minina*, entre otros taxones, en los ríos considerados como impactados fue mucho menor, en contraste con la cantidad de estos individuos observados en la quebrada La Olimpia, considerada un sistema de referencia. Por lo tanto, este aspecto y el anterior, están afectando el criterio del BMWP' Cu y Co aplicado a las áreas de estudio.

Empleando los valores de la tabla originalmente modificada por Alba – Tercedor (1996), los ríos Rosario y Guanajibo poseen aguas no contaminadas o no alteradas de forma sensible. Este criterio de clasificación difiere con los resultados reportados por Collazos (2001), quien determinó que el río Rosario tiene una calidad biológica que va de aceptable a dudosa (BMWP' = 72 - 42); y con González (1988), quien identificó bacterias de la familia Enterobacteriaceae, en el río Guanajibo, lo cual indicó contaminación fecal. En los ríos impactados se observó dominantes los organismos de la familia Chironomidae, lo cual es un indicativo de que estos sistemas están fuertemente afectados por la contaminación (Medianero y Samaniego 2004). También, en estos sistemas se describieron la presencia de taxones como *Physa cubensis* (Physidae) e hirudíneos como *E. punctata* indicadores de aguas altamente contaminadas (Escobar 1989).

De acuerdo con Resh *et al.* (1988) la contaminación genera cambios en la estructura de las comunidades acuáticas debido a que las especies se adaptan a ciertas condiciones ambientales. En términos generales, la riqueza de los taxones se reduce y los grupos se modifican de poco tolerantes a grupos generalistas. En el río Guanajibo se observaron cambios graduales en cuanto al número de individuos de taxones como: *Baetis* sp. 2 (Ephemeroptera), *C. albomaculata*, *Cariboptila* sp. (Trichoptera) y *Simulium* sp. (Diptera). Las abundancias de estos individuos disminuyeron en los últimos muestreos en comparación con las primeras visitas realizadas al

área. Cabe anotar que la abundancia de *F. taino* en este sistema no fue igual a la observada en los demás ríos evaluados. De este modo, se evidencia que sobre este río se está ejerciendo un fuerte impacto y que la aplicación de los índices de bioevaluación presenta inconvenientes. Sumado a ello, los efectos de la urbanización y la pérdida de cobertura vegetal son signos evidentes de perturbación alrededor de este sistema, causas que afectan la integridad de los cursos de agua (Roy *et al.* 2003).

Por otro lado, el río Cupeyes comparte la dominancia de la familia Chironomidae y la presencia de taxones, también encontrados en los ríos impactados como *Hydrachana* sp., las familias Culicidae (Pinilla 1998), Ceratopogonidae y Psychodidae propias de aguas contaminadas (Couceiro 2007), por esta razón, podríamos sugerir que en este sistema se estarían presentando condiciones intermedias de contaminación orgánica, adicionalmente, en las proximidades de este río se observaron fincas de cría de ganado vacuno, lo que significa una fuente complementaria de fósforo, un nutriente implicado en la tasa de crecimiento de quironómidos (Ramírez y Pringle 2006).

A diferencia de los índices de diversidad, el BMWP' Cu/Co no requieren de un análisis cuantitativo de los individuos de una muestra, dada su aplicación a nivel de familias. Sin embargo, para su empleo en bioevaluaciones, al igual que para el IBF, sí requiere de un análisis cualitativo a nivel ecológico de las especies de macroinvertebrados para Puerto Rico. Por ello el uso de éstos métodos de bioevaluación puede generar desaciertos sobre todo cuando se compara con la información que pueden sugerir los índices de diversidad, que estarían señalando: (i) que los sistemas estudiados poseen una alta diversidad de especies, teniendo en cuenta que para comunidades típicas, en el caso de Shannon Wiener, el valor de este índice oscila entre 1.5 – 3.5

(McCarthy y Brown 2004) (ii) que son numéricamente comparables tanto en especies, en microhábitats ocupados y entre ríos, (iii) en los sistemas estudiados los individuos que conforman la comunidad se están adaptando a las condiciones provistas por el medio y (iv) que sus organizaciones funcionales están limitadas por la disponibilidad de material orgánico (Pringle *et al* 1999) . Razones por las que los cambios a niveles estructurales que se están desarrollando dentro de la comunidad por efectos de la contaminación, no están siendo reflejados a nivel de familias, sino a niveles específicos y por ende afectando la información concluyente para cada uno de los ecosistemas estudiados en cuanto a diversidad vs calidad biológica.

Cyanobacteria, Chlorophyta, Euglenophyta y Bacillariophyceae, fueron los grupos de algas encontradas para los ríos Cupeyes y la quebrada La Olimpia; estos también fueron reportados por Gualtero (2007) en la quebrada La Olimpia. Utilizando el método de evaluación biológica empleado por Gualtero (2007), a nivel de especies se observan que ambos ríos comparten taxones sensibles, tolerantes y altamente tolerantes a la contaminación orgánica. Sin embargo, la quebrada La Olimpia presenta un mayor número de especies sensibles a la contaminación en comparación con el río Cupeyes. Por lo tanto, puede inferirse que la quebrada La Olimpia presenta una calidad biológica mejor que la presentada en el río Cupeyes, lo cual es probablemente igual a lo sugerido por la información específica en la ocurrencia de ciertos taxones que se hallaron en la quebrada La Olimpia, y no compartidos por el río Cupeyes, que muestra condiciones biológicas parecidas al río Rosario por la coincidencia a nivel de especies.

Por ello la implementación de los índices BMWP' Co, Cu y IBF se está viendo limitada por la ecología de los organismos en la isla, dada la escasez de estudios en los que se aplique de

este tipo de metodologías, puesto que el río Cupeyes posee un grado de perturbación que no está siendo reflejado con el método de bioevaluación planteado.

## CONCLUSIONES

- En estas comunidades se observaron dominantes los individuos pertenecientes a los órdenes efemeróptera y díptera, debido a que son organismos como un amplio comportamiento estenoico que propicia su establecimiento en ambientes con variadas condiciones ambientales.
- *F. taino* y la familia Chironomidae predominaron en todas las áreas estudiadas y microambientes evaluados, porque son especies que pueden ocurrir en una variedad de ambientes y en substratos como roca, hojarasca y también como organismos derivantes que aprovechan eficiente los recursos disponibles.
- Los ríos de referencia solo compartieron taxones como *Blepharicera* sp. evidenciando la presencia de una especie sensible a la contaminación, indicando que en estos ríos las condiciones biológicas son favorables, en comparación con los ríos Rosario y Guanajibo. Sin embargo, la quebrada La Olimpia presenta mejores condiciones biológicas que el río Cupeyes debido a la abundancia de organismos por familias que son sensibles a la contaminación.
- El índice BMWP' Cu y Co estimó que la calidad biológica de los ríos estudiados es muy buena de aguas limpias o no alteradas de modo sensible, criterio que difiere de la clasificación establecida para estos sistema y que no se ajusta a la realidad ecológica de los sistemas y las especies que componen la comunidad de macroinvertebrados. Por lo tanto, se requieren más estudios con respecto a la biología y ecología de las especies encontradas en la isla, que se encuentran agrupadas (taxonómicamente) dentro de las familias bioindicadoras de calidad, para poder establecer criterios numéricos ajustados a la realidad biológica de las cuencas de la isla y tener un mejor manejo del índice BMWP'

cuyo empleo ha sido exitoso en otros lugares del trópico y el Caribe o establecer una versión modificada de esta herramienta para Puerto Rico.

.

## **RECOMENDACIONES**

- La realización de otros estudios conducentes hacia el conocimiento específico de la fauna de macroinvertebrados acuáticos, y del estado ecológico de los sistemas lóticos de la isla.
- Evaluación de otros microambientes como los sedimentos, para describir la composición de la comunidad de macroinvertebrados a este nivel.
- Observaciones acerca de la biología de las especies y de este modo, describir sus comportamientos bajo diferentes condiciones de impacto. De este modo, se logrará realizar estimaciones sobre los grados de tolerancia a la contaminación de las especies de macroinvertebrados de la isla.
- Estudios poblacionales a nivel de los diferentes órdenes reportados para la isla.

## BIBLIOGRAFIA

ALBA – TERCEDOR, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA), Almeria, vol II: 203 -2213. ISBN: 84-7840-262-4.

ALFARO, B; ARRIETA, J; GONZÁLEZ, F; LÓPEZ, R; MARTÍNEZ, E; YACOMELO, J; 2007. Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados de la quebrada La Victoria, Sierra Nevada de Santa Marta-Colombia. *Caldasia* 27(2).

ALLAN J. D; JOHNSON L. B. 1997. Catchment-scale analysis of aquatic ecosystems. *Freshwater Biology* 37: 107–111.

ALLAN J. D; CASTILLO, M. 2007. *Stream Ecology: Structure and function of running waters*. Second edition, Netherlands. 436 pp.

ARANGO, M. C; ÁLVAREZ, L. F; ARANGO, G. A; TORRES, O. E; MONSALVE, A. J; 2008. Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia. *Revista de la Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín* 9: 121-141.

BALZARINI M.G.; GONZÁLEZ L.; TABLADA M.; CASANOVES F.; DI RIENZO J.A.; ROBLEDO C.W.2008. *Manual del Usuario*, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.

BASS, D. 2003. A comparison of freshwater macroinvertebrate communities on small caribbean islands. *BioScience*. 53 (11): 1094–1100.

BASS, D. 2004. Diurnal stream drift of benthic macroinvertebrates on small oceanic Island of Dominica, West Indies. *Caribbean Journal of Science* 40(2): 245-252.

BONADA, N; PRAT, N; RESH, V; STATZNER, B. 2005. Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. *Annual Entomological Reviews* 51: 495-523.

BOYERO, L; BOSCH, J. 2004. The effect of rifle-scale environmental variability on macroinvertebrate assemblages in a tropical stream. *Hydrobiología* 524: 125-132.

CAICEDO, O; PALACIO, J. 1998. Los macroinvertebrados bénticos y la contaminación orgánica en la quebrada La Mosca (Guarne, Antioquia, Colombia). *Actualidades Biológicas* 20 (69): 61-73.

CAIRNS, J; PRATT, J. 1993. A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. Pp 10 -27 en ROSENBERG, D.M. RESH, V.H. (eds) *Freshwater Monitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman y Hall, New York 504 pp.

COLBERT, C; ALLAN, D. 2001. *Streams: Their ecology and life*. Academic press. California, 366 pp.

COLLIER, K. R; WILCOCK, J; MEREDITH. A. S. 1998. Influence of substrate type and physico-chemical conditions on macroinvertebrate faunas and biotic indices of some lowland Waikato, New Zealand, streams. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 32:1-19.

CONTRERAS, J; ROLDÁN, G; ARANGO, A; ALVAREZ, L. 2008. Evaluación de la calidad del agua de las microcuencas La Laucha, La Lejía y La Rastrojera utilizando macroinvertebrados como bioindicadores, municipio de Durania, Norte de Santander, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias* 32 (123): 171 – 193.

CASTELLANOS, P. M; SERRATO, C. 2008. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de río en el páramo de Santurbán, Norte de Santander. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias* XXXII(122): 79-86.

COLLAZOS VAZQUEZ, M. 2001. Utilización de insectos acuáticos como indicadores de calidad de agua. Tesis de maestría. Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, 56 pp.

- COUCEIRO, S; HAMADA, N; LUZ, S; FORSBERG, B; PIMENTEL, T. 2007. Deforestation and sewage effects on aquatic macroinvertebrates in urban streams in Manaus, Amazonas, Brazil. *Hidrobiología* 575: 271- 284.
- CORNELL, J. H. 1978. Diversity in tropical rainforest and coral reefs. *Science* 199: 1302 – 1310.
- COVICH, A. P; PALMER, M. A; CROWL, T. A. 1999. The role of benthic invertebrate species in freshwater ecosystems. *BioScience* 49:119-127.
- COVICH, A. P; CROWL, T. A; SCATENA, F. N. 2003. Effects of extreme low flows on freshwater shrimps in a perennial tropical stream. *Freshwater Biology* 48: 1199- 1206.
- CUMMINS, K. W. 1974. Structure and function of stream ecosystems. *BioScience* 24:631-641.
- CUMMINS, K. W; KLUG, M. J. 1979. Feeding ecology of stream invertebrates. *Annuals Review. Ecology Systematic* 10:147-172.
- DELIZ, K. 2005. Water Quality Assessment of a Tropical Freshwater Marsh Using Aquatic Insects. Thesis of Master of Science. University of Puerto Rico, Mayaguez. 127 pp.
- DUDGEON, D. 1989. The influence of riparian vegetation on the functional organization of four Hong Kong stream communities. *Hydrobiologia* 179:183-194.
- DUDGEON, D; WU. K. Y. 1999. Leaf litter in a tropical stream: food or substrate for macroinvertebrates? *Archives of Hydrobiology* 146:65-82.
- EPA. 1986. Quality criteria for water.
- EPA. 2009. Edition of the drinking water standards and health advisors.

ESCOBAR, A. 1989. Estudio de las comunidades macrobenticas en el río Manzanares y sus principales afluentes y su relación con la calidad del agua. *Actualidades Biológicas* 18(65): 45-60.

FENOGLIO, S; BADINO, G; BONA, F. 2002. Benthic macroinvertebrates communities as indicators of river environment quality: an experience in Nicaragua. *Revista Biología Tropical* 50 (3/4): 1125-1131.

FERRINGTON, Jr. F; BUZBY, K; MASTELLER, E. 1993. Composition and temporal abundance of chironomidae emergence from a tropical rainforest stream at El Verde, Puerto Rico. *Journal of Entomological Society* 66(2): 167 – 180.

FLINT, O. 1964. Caddisflies (Trichoptera) of Puerto Rico. Technical paper 40. University of Puerto Rico. Agricultural Experiment Station. Río Piedras, Puerto Rico 80 pp.

FLINT, O. 1968. New species of trichoptera from the Antilles. *The Florida Entomologist* 51(3): 151-153.

FLINT, O. 1992. New species of caddisflies from Puerto Rico (Trichoptera). *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 94(3): 379-389.

FLINT, O; MASTELLER, E. 1993. Emergence composition and phenology of Trichoptera from a tropical rainforest stream at El Verde, Puerto Rico. *Journal of Entomological Society* 66(2): 140 – 150.

GALBRAND, C; LEMIEUX, G; GHALY, A; CÔTÉ, R; VERMA, M. 2007. Assessment of Constructed Wetland Biological Integrity Using Aquatic Macroinvertebrates. *OnLine Journal of Biological Sciences* 7 (2): 52-65.

GARCÍA, R. 1991. Relaciones taxonómicas y fitogeograficas entre la flora endemica de serpentina en Susúa, Puerto Rico. Tesis de maestría, Universidad de Puerto Rico 137 pp.

GELHAUS, J; MASTELLER, E; BUZBY, K. 1993. Emergence composition and phenology of tipulidae (Diptera) from a tropical rainforest stream at El Verde, Puerto Rico. *Journal of Entomological Society* 66(2): 160 – 166.

GONZÁLEZ-LAZO, D; SALLES, F; NARANJO, C. 2008. Situación actual del estudio del Orden Ephemeroptera en Cuba. *Neotropical Entomology* 37(1): 45-50.

GONZÁLEZ, W. 1988. Bacterias asociadas a las comunidades riparinas del río Guanajibo, sector San Germán, Puerto Rico. Tesis de maestría. Universidad de Puerto Rico, Mayagüez. 47 pp.

GONZÁLEZ, L. LOZANO, L. 2004. Bioindicadores como herramientas de evaluación de la calidad ambiental de la parte alta de la microcuenca las Delicias. *Umbral Científico* 005: 73-82

GUERRERO, F; MANJARREZ, A; NUÑEZ, N. 2003. Los macroinvertebrados bentónicos de Pozo Azul (Cuenca del Río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua. *Acta Biológica Colombiana*. 8(2): 43 – 55.

HELLAWELL, J. M. 1986. *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. Elsevier, New York. 546 pp.

HERRERA VÁSQUEZ, J. 2009. Community structure of aquatic insects in the Esparza River, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 57 (1-2): 133-139.

HILSENHOFF, W. L. 1977. Use of arthropods to evaluate water quality of streams. *Wisconsin Department Natural Resource Technical Bulletin* 100.

HILSENHOFF, W. L. 1987. An improved biotic index of organic stream pollution. *Great Lakes Entomologist*. 20: 31-39.

HILSENHOFF, W. L. 1988. Rapid field Assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society* 7(1): 65-68.

HYNES, H.B.N. 1970. *The ecology of running waters*. Liverpool University press, Liverpool, U.K. 555 pp.

JACOBSEN, D; CRESSA, C; MATHOOKO, J; DUDGEON, D. 2008. Macroinvertebrates: Composition, Life and Production; en DUDGEON, D. 2008. *Tropical Stream Ecology*. Editorial Advisory Board. Lawrence, Kansas. 65 – 105 pp.

LORION, C; KENNEDY, B. 2009. Relationships between deforestation, riparian forest buffers and benthic macroinvertebrates in neotropical headwater streams. *Freshwater Biology* 54: 165-180.

LUGO-ORTIZ, C. R; McCAFFERTY, W. P. Farrodes (Ephemeroptera: Leptophlebiidae) in the Antilles: New species from Puerto Rico and review of the genera. *Entomological news* 105(5): 263-266.

MARCH, J; PRINGLE, C. 2003. Food web structure and basal resource utilization along a tropical island stream continuum, Puerto Rico. *Biotropica* 35(1): 84-93.

MASTELLER, E; BUZBY, K. 1993. Composition and temporal abundance of aquatic insects emergence from a tropical rainforest stream, Quebrada Prieta, at El Verde, Puerto Rico. *Journal of Entomological Society* 66(2): 133 – 139.

MASTELLER, E; BUZBY, K. 1993. Emergence phenology of Empididae, Ceratopogonidae, and Simuliidae (Diptera) from a tropical rainforest stream at El Verde, Puerto Rico. *Journal of Entomological Society* 66(2): 187 - 191.

MATHURIAU, C; THOMAS, A; CHAUVET, E. 2008. Seasonal dynamics of benthic detritus and associated macroinvertebrate communities in a neotropical stream. *Fundamental and applied Limnology Archiv für hydrobiologie* 171(4): 323-333.

McCAFFERTY, W. C; ORTIZ-LUGO, C.R. 1996. Los efemerópteros de América Central. *Revista Nicaragüense de Entomología* 35: 19-28.

McCARTHY, B. C; BROWN, K. J. 2004. Species diversity concepts. Athens, Ohio: OhioUniversity, Department of Environmental and Plant Biology. Disponible en [www.plantbio.ohiou.edu/epb/instruct/ecology/LEC5.pdf](http://www.plantbio.ohiou.edu/epb/instruct/ecology/LEC5.pdf).

MEDIANERO, E; SAMANIEGO, M. 2004. Comunidad de insectos acuáticos asociados a condiciones de contaminación en el río Curundú, Panamá. *Folia Entomológica Mexicana* 43(003): 279-294.

MERRITT, R. W; CUMMINS, K. W; BERG, M. B. 2008. An introduction to the aquatic insect of North America. Fourth edition. United State of America. 1158 pp.

MOLINA, C; GIBON, F. M; PINTO, J; ROSALES, C. Estructura de macroinvertebrados acuáticos en un río altoandino de la cordillera real, Bolivia: Variación anual y longitudinal en relación a factores ambientales. *Ecología Aplicada* 7(1,2): 105-116.

MUÑOZ, S; NARANJO, C; GARCES, G; DANIEL, D; MUSLE, Y. 2005. Macroinvertebrados bioindicadores de la calidad del agua en Cuba. ISBN 959-250-156-4.

NARANJO LÓPEZ, J; GONZÁLEZ LAZO, D; TRAPERO QUINTANA, A; SUÁREZ MEGNA, Y. 2007. Situación actual del estudio de los macroinvertebrados fluviales de Cuba. *Bioriente* 1(1): 1-5.

NELSON, D. J; SCOTT, D. C. 1962. Role of detritus in the productivity of rocks outcrop community in a piedemont stream. *Limnology and Oceanography*, 7: 396 – 413.

OLLER, C; GOITÍA, E. 2006. Macroinvertebrados bentónicos y metales pesados en el río Pilcomayo (Tarija, Bolivia). *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental* 18: 17-32.

PARKER, M. 1989. Effect of substrate composition on detritus accumulation and macroinvertebrate distribution in a southern Nevada desert stream. *Southwestern Naturalist* 34:181-187.

PEDRAZA, G; GIRALDO, L; CHARÁ J. 2008. Efecto de la restauración de corredores ribereños sobre características bióticas y abióticas de quebradas en zonas ganaderas de la cuenca del río La Vieja, Colombia. *Zootecnia Tropical* 26(3): 179-182.

PESCADOR, M; MASTELLER, E; BUZBY, K. 1993. Composition and phenology of ephemeroptera from a tropical rainforest stream at El Verde, Puerto Rico. *Journal of Entomological Society* 66(2): 151 -159.

PETERS, W. 1971. A revisión of Leptophlebiidae of the West Indies (Ephemeroptera). *Simthsonian Contributions to Zoology* No 62, 48 pp.

PINILLA, G. 1998. Indicadores Biológicos en Ecosistemas Acuáticos Continentales de Colombia. *Compilación bibliográfica. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano* 66 pp.

PINO, W; MENA, D; MOSQUERA, M; CAICEDO, K; PALACIO, J; CASTRO, A; GUERRERO, J. 2003. Diversidad de macroinvertebrados y evaluación de la calidad del agua de la quebrada La Bendición, municipio de Quibdó, (Choco, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*. 8(2): 25 – 30.

PRINCIPE, R. E. 2008. Taxonomic and size structures of aquatic macroinvertebrate assemblages in different habitats of tropical streams, Costa Rica. *Zoological Studie* 47(5): 525-534.

PRINGLE, C. M; NAIMAN, R. J; BRETSCJKO, G; KARR, J. R; OSWOOD, M. W; WEBSTER, J. R; WELCOMME, R. L; WINTERBOURN, M. J. 1988. Patch dynamics in lotic systems: the stream as a mosaic. *Journal of North American Benthologic Society*. 7: 503–524.

PRINGLE, C; HEMPHILL, N; McDOWELL, W; BEDNAREK, A; MARCH, J. 199. Linking species and ecosystems: different biotic assemblages cause interstream differences in organic matter. *Ecology* 80(6): 1860 - 1872

POINTER, J. P. 2008. Guide to the freshwater mollusks of the lesser Antilles. Conchbook, 125pp.

PUERTO RICO ENVIRONMENTAL QUALITY BOARD (PREQB). 2003. Puerto Rico Water Quality Inventory and List of Impaired Waters. 2002 305(b)/303(d). Estado Libre Asociado de Puerto Rico. San Juan, PR.

RAMÍREZ, J. J; ROLDAN, G. 1989. Contribución al conocimiento limnológico y de los macroinvertebrados acuáticos de algunos ríos de la región del Urabá Antioqueño. *Actualidades Biológicas* 18(66): 113- 121.

RAMÍREZ, A; PAABY, P; PRINGLE, C. M; AGÜERO, G. 1998. Effect of habitat type on benthic macroinvertebrates in two lowland tropical stream, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 46:201-213.

RAMÍREZ, A; HERNÁNDEZ-CRUZ, L. 2004. Aquatic insect assemblages in shrimp-dominates tropical streams, Puerto Rico. *Biotropica* 36(2): 259-266.

RAMÍREZ, A; PRINGLE, C. 2006. Fast growth and turnover of chironomid assemblages in response to stream phosphorus levels in tropical lowland landscape. *Limnology and Oceanography*, 51(1): 189 - 196

RAMÍREZ, A. 2005. *Ecología Aplicada: Diseño y Análisis Estadístico*. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. D. C. 325 pp.

RESH, V. H; BROWN A. V; COVICH A. P; GURTZ, M. E; LI, H. G; MINSHALL G. W; REICE, R. S; SHELDON, A. L; WALLACE, J. B; WISSMAR, R. C. 1988. The role of disturbance in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society* 7: 433 – 455.

RESH, V. H; JACKSON, J. K. 1993. Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates. In Rosenberg, D.M. & Resh, V.H. (eds.) *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman and Hall, London. p. 95-233.

RICHARDSON, J. S. 1992: Coarse particulate detritus dynamics in small, montane streams of south-western British Columbia. – *Canadian Journal Fish Aquatic Science* 49: 337–346.

RIVERA-USME, J. J; CAMACHO-PINZON, D. L; BOTERO-BOTERO, A. 2008. Estructura numérica de la entomofauna acuática en ocho quebradas del Departamento del Quindío-Colombia. *Acta Biológica Colombiana* 13(2): 133-146.

ROLDÁN, G. 1999. Macroinvertebrados y su valor como bioindicadores de la calidad del agua. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*. Vol XXIII (88): 375-387.

ROSS, H; ARNETT, JR; DOWNIE, N. M; JACQUES, H. E. 1944. *How to know the beetles*. Second edition. WCB/McGraw Hill, 416 pp.

ROY, A; ROSEMOND, M; LEIGH, D; WALLACE, J. 2003. Stream macroinvertebrates response to catchment urbanization (Georgi, USA). *Freshwater Biology* 48: 329 – 346.

RUPERTO, J. 2008. Benthic macroinvertebrates as bioindicator of water quality in the Yagüez River, Mayagüez, Puerto Rico. Tesis de Maestría. Universidad de Puerto Rico, Mayagüez – Puerto Rico. 103 pp.

SCATENA, F. N; JOHNSON. 2001. Instream – Flow analysis for the Luquillo experimental forest, Puerto Rico: Methods an analysis. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. International Institute of Tropical Forestry. Río Piedras, Puerto Rico 30 pp.

SCHLOSSER, I. J. 1982. Fish community structure and function along two gradients in a headwater stream. *Ecological Monographs* 52: 395 – 414.

SEGNINI, S. 2003. El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Ecotropicos* 16(2): 45-63.

SITES, R; WILLING, M; LINIT, M. 2003. Macroecology of Aquatic Insects: A Quantitative Analysis of Taxonomic Richness and Composition in the Andes Mountains of Northern Ecuador. *Biotropica* 35(2): 226 – 239.

SOLDNER, M; STEPHEN, I; RAMOS, L; ANGUS, R; WELLS, C; GROSSO, A; CRANE, M. 2003. Relationship between macroinvertebrate fauna and environmental variables in small streams of Dominican Republic. *Water Research* 38: 863- 874.

STERNERT, C; MALTCHIK, L. 2007. Influence of area, altitude and hydroperiod on macroinvertebrate communities in southern Brazil wetlands. *Marine and Freshwater Research* 58: 993-1001.

TEJERINA, E; MOLINERI, C. 2007. Comunidades de Chironomidae (Diptera) en arroyos de montaña del NOA: comparación entre Yungas y Monte. *Revista de la Sociedad Entomológica de Argentina* 66(3-4): 169-177.

THORP, J; COVICH, A. 2001. Ecology and classification of North American, freshwater invertebrates. Second edition. Academic press, San Diego, California 1156 pp.

TORRES, Y; ROLDÁN, G; ASPRILLA. S; RIVAS T. 2006. Estudio Preliminar de algunos aspectos ambientales y ecológicos de las comunidades de peces y macroinvertebrados acuáticos

en el río Tutunendo, Choco, Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias 30 (114): 67 – 76.

TRAVER, J. 1938. Mayflies of Puerto Rico. The journal of agriculture of the University of Puerto Rico XXII(1): 5-42.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE SOIL AND CONSERVATION SERVICE. 1969. Soil survey of Mayaguez area of western Puerto Rico. Area de Mayaguez. College of Agriculture Science. 296 pp.

USEPA. 2000. Nutrient Criteria Technical Guidance Manual. Rivers and Streams. USEPA, Office of Water. EPA-822-B-00-002.

USGS. 2009. Water data report. [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)

VANNOTE, R. L.; MINSHALL, G. W.; CUMMINS, K. W.; SEDELL, J. R.; CUSHING, C. E. 1980. The river continuum concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 37: 130 – 137.

VEGA, M; DURANT, P. 2000. Fenología de efemerópteros y su relación con la calidad de agua del río Albarregas, Mérida, Venezuela. Revista de Ecología Latinoamericana 7(3): 19-17.

VELÁSQUEZ, M; MISERENDINO, L. 2003 Análisis de la materia orgánica alóctona y organización funcional de macroinvertebrados en relación con el tipo de hábitat en ríos de montaña de Patagonia. Ecología Austral 13:67-82.

WAGNER, H; MASTELLER, E. 1993. Composition and temporal abundance of mothflies (Diptera, Psychodidae) from a tropical rainforest stream at El Verde, Puerto Rico. Journal of Entomological Society 66(2): 181 - 186.

WIGGINS, G. 2000. Larvae of north American caddisfly genera (Trichoptera). Second edition. University Toronto press. Canada 457 pp.

WIBERG-LARSEN, P.; BRODERSEN, K. P; BIRKHOLM, S; GRON, P. N; SKRIVER, J.  
2000. Species richness and assemblage structure of Thricoptera in Danish streams. *Freshwater  
Biology* 43:633-647.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. Estructura taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos colectados en el río Cupeyes

Órden	Familia	Género	Especie	
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Farrodes	<i>Farrodes taino</i>	
		Borinquena	<i>Borinquena carmencita</i>	
	Baetidae	Cloeodes	<i>Cloeodes portoricensis</i>	
		Baetis	<i>Baetis</i> sp.2	
Trichoptera	Polycentropodidae	Polycentropus	<i>Polycentropus. zaneta</i>	
		Polycentropus	<i>Polycentropus</i> sp.	
	Philopotomidae	Chimarra	<i>Chimarra albomaculata</i>	
		Chimarra	<i>Chimarra. portoricensis</i>	
	Hydroptilidae	Neotrichia	<i>Neotrichia iridiscens</i>	
		Alisotrichia	<i>Alisotrichia hiruopsis</i>	
		Cariboptila	<i>Cariboptila</i> sp.	
	Glossosomatidae	Atopsyche	<i>Atopsyche trifida</i>	
	Calamoceratidae	Phylloicus	<i>Phylloicus pulchrus</i>	
	Hydropsychidae	Smicridea	<i>Smicridea protera</i>	
	Helicopsychidae	Helycopsiche	<i>Helycopsiche minima</i>	
Coleoptera	Staphylinidae	Carpelimus	<i>Carpelimus</i> sp.	
	Elmidae	Phanocerus	<i>Phanocerus</i> sp.	
		Neoelmis	<i>Neoelmis</i> sp.	
		Hexaculloepus	<i>Hexaculloepus</i> sp.	
	Gyrinidae	Dineutus	<i>Dineutus</i> sp.	
	Sphaeruisidae			
	Curculionidae			
	Diptera	Blephariceridae	Blepharicera	<i>Blepharicera</i> sp.
		Dixidae	Dixella	<i>Dixella</i> sp.
		Ceratopogonidae	Serromyia	<i>Serromyia</i> sp.
Bezzia			<i>Bezzia</i> sp.	
Actrichopogon			<i>Actrichopogon (cf)</i> sp.	
		Forcipomyia	<i>Forcipomyia</i> sp.	
Empididae		Hemerodromia	<i>Hemerodromia</i> sp.	
Simuliidae		Simulium	<i>Simulium venustum</i>	
		Simulium	<i>Simulium</i> sp.	
		Cnephia	<i>Cnephia</i> sp.	
Chironomidae				
Psychodidae		Maruina	<i>Maruina</i> sp.	
Tipulidae		Tipula	<i>Tipula</i> sp.	
Culicidae	Anopheles	<i>Anopheles</i> sp.		

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>
Colembolla	Isotomidae	Folsomis	<i>Folsomis centralis</i>
Lepidoptera	Pyralidae	Petrophyla	<i>Petrophila</i> sp.
Hemiptera	Veliidae	Rhagovelia	<i>Rhagovelia</i> sp.
		Miccrovelia	<i>Miccrovelia</i> sp.
Odonata	Coenagrionidae	Enallagma	<i>Enallagma</i> sp.
	Libellulidae	Brechmoroga	<i>Brechmoroga</i> sp.
Decapoda	Palaemonidae	Macrobrachium	<i>Macrobrachium carcinus</i>
	Atyidae	Xiphocaris	<i>Xiphocaris elongata</i>
		Atyia	<i>Atyia scabra</i>
Amphipoda	Pseudothelphusidae	Epiloboceras	<i>Epiloboceras sinuatifrons</i>
	Gammaridae	Hyalella	<i>Hyalella</i> sp.
Acarina	Hydrachnidae	Hydrachna	<i>Hydrachna</i> sp.
	Hydrachnidae		<i>Acaro</i>
Tricladia	Planariidae	Dugesia	<i>Dugesia antillana</i>
Pulmonata	Thiaridae	Melanoides	<i>Melanoides tuberculata</i>

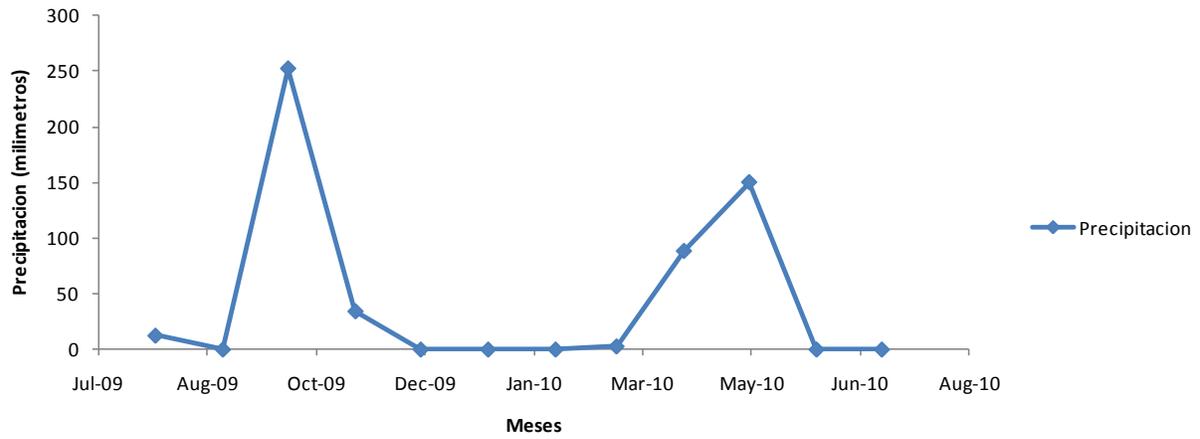
**Apéndice 2. Análisis de variancia no paramétrica Kruskal Wallis: Abundancia (número de organismos) por microhábitats examinados en el río Cupeyes**

	Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	F	p
Entre grupos	3.85872	2	1.92936	0.7509	0.4737
Dentro de grupos	385.423	150	2.56949		

**Apéndice 3. Análisis de variancia no paramétrica Kruskal Wallis: Abundancia (número de organismos) por meses de muestreo en el río Cupeyes**

	Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	F	p
Entre grupos	30.7354	4	7.68384	3.721	0.00582
Dentro de grupos	516.257	250	2.06503		

**Apéndice 4. Promedios de precipitación registrada para el área Oeste (Estación de aeropuerto de Mayagüez)**



**Apéndice 5. Análisis de correlación de Spearman: Promedios de precipitación durante los meses de muestreo en el río Cupeyes vs Abundancia de los organismos.**

	Abundancia	Precipitación (mm)
Abundancia	1	0.8
Precipitación (mm)	-0.13	1

**Apéndice 6. Estructura taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos colectados en la quebrada La Olimpia.**

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Genero</b>	<b>Especie</b>	
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Hagenulus	<i>Hagenulus</i> sp.	
		Neohagenulus	<i>Neohagenulus</i> sp.	
		Farrodes	<i>F. taino</i>	
	Trichoptera	Caenidae	Caenis	<i>Caenis</i> sp.
		Baetidae	Cloeodes	<i>Cl. portoricensis</i>
		Polycentropodidae	Polycentropus	<i>P. zaneta</i>
			Philopotomidae	Chimarra
				<i>C. portoricensis</i>
Glossosomatidae		Cariboptila	<i>Cariboptila</i> sp.	
Hydroptilidae		Oxeythira	<i>O. puertoricensis</i>	
Hydrobiosidae	Atopsyche	<i>A. trifida</i>		
Coleoptera	Calamoceratidae	Phylloicus	<i>P. pulchrus</i>	
	Hydropsychidae	Smicridea	<i>S. protera</i>	
	Helycopsichidae	Helycopsyche	<i>H. minima</i>	
	Leptoceridae			
	Staphylinidae	Carpelimus	<i>Carpelimus</i> sp.	
		Elmidae	Phanocerus	<i>Phanocerus</i> sp.
			Neelmis	<i>Neelmis</i> sp.
	Diptera	Gyrinidae	Hexacylloepus	<i>Hexacylloepus</i> sp.
			Dineutus	<i>Dineutus</i> sp.
			Hydrochus	<i>Hydrochus</i> sp.
Districidae		Blepharicera	<i>Blepharicera</i> sp.	
		Dixidae	Dixella	<i>Dixella</i> sp.
Ceratopogonidae		Forcipomyia	<i>Forcipomyia</i> sp.	
		Bezzia	<i>Bezzia</i> sp.	
		Simuliidae	Simulium	<i>Simulium</i> sp.
Lepidoptera		Chironomidae		
		Psychodidae	Maruina	<i>Maruina</i> sp.
	Pyralidae	Petrophila	<i>Petrophila</i> sp.	
Hemiptera	Veliidae	Rhagovelia	<i>Rhagovelia</i> sp.	
		Microvelia	<i>Microvelia</i> sp.	
Odonata	Notonectidae	Buenoa	<i>Buenoa</i> sp.	
	Coenagrionidae	Enallagma	<i>Enallagma</i> sp.	
	Libellulidae	Brechmoroga	<i>Brechmoroga</i> sp.	
Decapoda	Pseudothelphusidae	Epiloboceras	<i>E. sinuatifrons</i>	
Amphipoda	Gammaridae	Decapoda	<i>Hyalella</i> sp.	
Tricladia	Dugesiiidae	Tricladia	<i>D. antillana</i>	

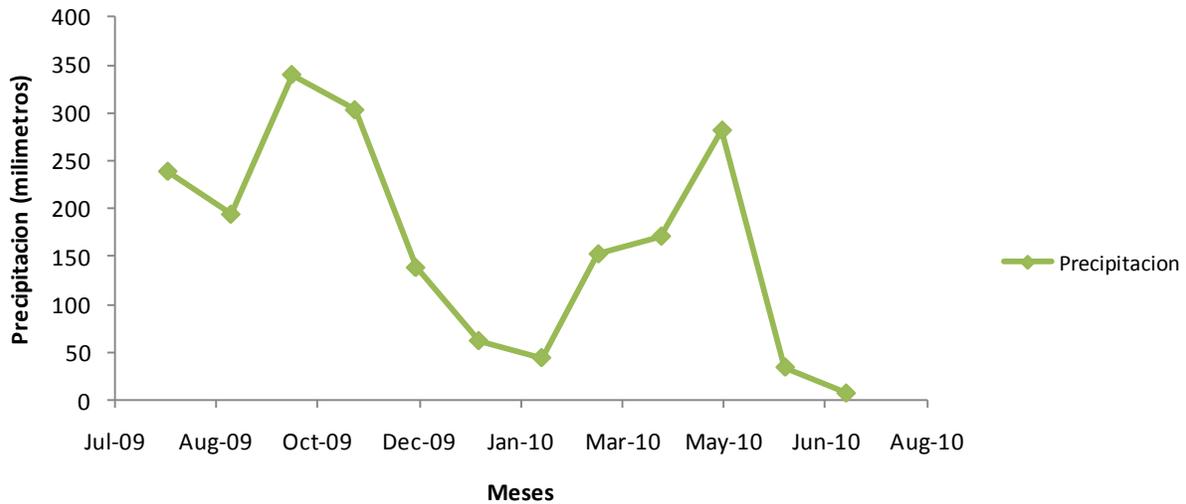
**Apéndice 7. Análisis de variancia no paramétrica Kruskal Wallis: Abundancia (número de organismos) por microhábitats examinados en la quebrada La Olimpia.**

	Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	F	p
Entre grupos	3.29297	2	1.64648	0.8355	0.4364
Dentro de grupos	218.735	111	1.97059		

**Apéndice 8. Análisis de variancia no paramétrica Kruskal Wallis: Abundancia (número de organismos) por meses de muestreo en la quebrada La Olimpia.**

	Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	F	p
Entre grupos	1.83804	3	0.612678	0.3566	0.7844
Dentro de grupos	254.286	148	1.71815		

**Apéndice 9. Promedios de precipitación registrada para Adjuntas (Estación de Adjuntas)**



**Apéndice 10. Análisis de correlación de Spearman: Promedios de precipitación durante los meses de muestreo en la quebrada La Olimpia vs Abundancia de los organismos.**

	Precipitación (mm)	Abundancia (No. ind)
Precipitación (mm)	1	1
Abundancia (No. ind)	0	1

**Apéndice 11. Estructura taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos colectados en río Rosario**

<b>Órden</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Farrodes	<i>F. taino</i>	
	Caenidae	Caenis	<i>Caenis</i> sp.	
	Baetidae	Cloeodes	<i>Cl. portoricensis</i>	
Baetis		<i>Baetis</i> sp.2		
Trichoptera	Polycentropodidae	Polycentropus	<i>Polycentropus</i> sp.	
	Philopotomidae	Chimarra	<i>C. albomaculata</i>	
				<i>C. portricensis</i>
				<i>N. iridiscens</i>
	Hydroptilidae	Neotrichia		<i>A. hiruopsis</i>
		Alisotrichia		<i>Metrichia</i> sp.
		Metrichia		<i>L. tubifex</i>
		Leucotrichia		<i>Cariboptila</i> sp.
		Glossosomatidae	Cariboptila	
		Hydrobiosidae	Atopsyche	<i>A. trifida</i>
Calamoceratidae		Pylloicus	<i>P. pulchrus</i>	
Coleoptera	Hydropsychidae	Smicridea	<i>S. protera</i>	
	Staphylinidae	Carpelimus	<i>Carpelimus</i> sp.	
		Elmidae	Phanocerus	<i>Phanocerus</i> sp.
				<i>Neoelmis</i> sp.
		Hexacylloepus	<i>Hexacylloepus</i> sp.	
	Psephenidae	Sphenus	<i>Sphenus</i>	
	Diptera	Sphaeruisidae		
Dixidae		Dixella	<i>Dixella</i> sp.	
Ceratopogonidae		Bezzia	<i>Bezzia</i> sp.	
			Forcipomyia	<i>Forcipomyia</i> sp.
			Hemerodromia	<i>Hemerodromia</i> sp.
Empididae				
Simuliidae		Simulium	<i>S. venustum</i>	
				<i>Simulium</i> sp.
		Cnephia	<i>Cnephia</i> sp.	
Lepidoptera		Chironomidae		
	Psychodidae	Maruina	<i>Maruina</i> sp.	
	Culicidae	Anopheles	<i>Anopheles</i> sp.	
	Pyrilidae	Petrophyla	<i>Petrophila</i> sp.	
Hemiptera	Veliidae	Rhagovelia	<i>Rhagovelia</i> sp.	
			<i>Microvelia</i> sp.	
			<i>Steinovelina</i> sp.	
	Mesoveliidae	Mesovelia	<i>Mesovelia</i> sp.	
	Gerridae			
		Limnporus	<i>Limnporus</i> sp.	

Órden	Familia	Género	Especie
		Limnogonus	<i>Limnogonus</i> sp.
	Notonectidae	Buenoa	<i>Buenoa</i> sp.
Decapoda	Atyidae	Micratyia	<i>M. poeyi</i>
		Potimirin	<i>P. mexicana</i>
Odonata	Coenagrionidae	Enallagma	<i>Enallagma</i> sp.
	Libellulidae	Sympetrum	<i>Sympetrum</i> sp.
		Brechmoroga	<i>Brechmoroga</i> sp.
Tricladia	Planariidae	Dugesia	<i>D. antillana</i>
Acarina	Hydrachnidae	Hydrachna	<i>Hydrachna</i> sp.
	Hydrachnidae		<i>Acaro</i>
	Thiaridae	Melanoides	<i>M. tuberculata</i>
Basommatophora	Ancylidae	Ferrisia	<i>Ferrisia</i> sp.?
Ostracoda			

**Apéndice 12. Análisis de variancia no paramétrica Kruskal Wallis: Abundancia (número de organismos) por microhábitats examinados en el río Rosario.**

	Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	F	p
Entre grupos	1.4476	2	0.723802	0.294	0.7457
Dentro de grupos	376.705	153	2.46212		

**Apéndice 13. Análisis de variancia no paramétrica Kruskal Wallis: Abundancia (número de organismos) por meses de muestreo en el río Rosario.**

	Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	F	p
Entre grupos	35.644	3	11.8813	5.473	0.00123
Dentro de grupos	440.661	203	2.17074		

**Apéndice 14. Análisis de correlación de Spearman: Promedios de precipitación durante los meses de muestreo en la quebrada La Olimpia vs Abundancia de los organismos.**

	Abundancia (No. ind)	Precipitación (mm)
Abundancia (No. ind)	1	0.49
Precipitación (mm)	0.4	1

**Apéndice 15. Estructura taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos colectados en el río Guanajibo**

<b>Órden</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Farrodes	<i>F. taino</i>
	Baetidae	Baetis	<i>Baetis sp.2</i> <i>B. garcianus</i>
Trichoptera	Philopotomidae	Cloeodes	<i>Cl. Portoricensis</i>
		Chimarra	<i>C. albomaculata</i> <i>C. portoricensis</i>
	Hydroptilidae	Neotrichia	<i>N. iridescens</i>
	Calamoceratidae	Phylloicus	<i>P. pulchrus</i>
	Glossosomatidae	Cariboptila	<i>Cariboptila sp.</i>
Coleoptera	Helicopsychidae	Helycopsiche	<i>H.minima</i>
	Staphylinidae	Carpelimus	<i>Carpelimus sp.</i>
	Elmidae	Phanocerus	<i>Phanocerus sp.</i>
		Neoelmis	<i>Neoelmis sp.</i>
		Hexaculloeopus	<i>Hexaculloeopus sp.</i>
Diptera	Curculionidae		
	Sphaeriusidae		
	Simuliidae	Simulium	<i>S. venustum</i> <i>Simulium sp.</i>
		Cnephia	<i>Cnephia sp.</i>
	Empididae	Hemerodromia	<i>Hemerodromia sp.</i>
	Chironomidae		
	Ceratopogonidae	Bezzia	<i>Bezzia sp.</i>
		Forcipomyia	<i>Forcipomyia sp.</i>
		Maruina	<i>Maruina sp.</i>
	Psychodidae	Dixella	<i>Dixella sp.</i>
Lepidoptera	Dixidae	Petrophyla	<i>Petrophila sp.</i>
	Pyralidae	Rhagovelia	<i>Rhagovelia sp.</i>
Hemiptera	Veliidae	Miccrovelia	<i>Miccrovelia sp.</i>
		Belostomatidae	Belostoma
	Gerridae	Gerris	<i>Gerris sp.</i>
	Pleidae	Paraplea	<i>Paraplea sp.</i>
	Odonata	Libellulidae	Perithemis
Macrothemis.			<i>Macrothemis sp.</i>
Brechmoroga			<i>Brechmoroga sp.</i>
Aeshnidae		Anax	<i>Anax sp.</i>
Coenagrionidae		Enallagma	<i>Enallagma sp.</i>
Colembolla	Entomobriidae	Dicanocentrus	<i>Dicanocentrus sp.</i>
		Salina	<i>Salina tristani</i>
Acarina	Hydrachnidae		<i>Acaro</i>

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>
Acarina	Hydrachnidae	Hydrachna	<i>Hydrachna</i> sp.
Ostracoda			
Decapoda	Atyidae	Atyia	<i>M. poeyi</i>
		Atyia	<i>A. lanipes</i>
		Xiphocaris	<i>X. elongata</i>
	Palaemonidae	Macrobrachium	<i>M. carcinus</i>
Pulmonata	Physidae	Physa	<i>P. cubensis</i>
	Thiaridae	Melanoides	<i>M. tuberculata</i>
Basommatophora	Ancylidae	Ferrisia?	<i>Ferrisia</i> sp.?
Hirudinea	Erpobdellidae	Erpobdella	<i>E. punctata</i> cf.

**Apéndice 16. Análisis de variancia no paramétrica Kruskal Wallis: Abundancia (número de organismos) por microhábitats examinados en el río Guanajibo**

	Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	F	p
Entre grupos	4.01663	2	2.00832	0.7357	0.4809
Dentro de grupos	401.281	147	2.7298		

**Apéndice 17. Análisis de variancia no paramétrica Kruskal Wallis: Abundancia (número de organismos) por meses de muestreo en el río Guanajibo**

	Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	F	p
Entre grupos	26.4296	4	6.60739	3.008	0.01896
Dentro de grupos	538.221	245	2.19682		

**Apéndice 18. Análisis de correlación de Spearman: Promedios de precipitación durante los meses de muestreo en la quebrada La Olimpia vs Abundancia de los organismos.**

	Precipitación (mm)	Abundancia
Precipitación (mm)	1	0.93
Abundancia	-0.05	1

**Apéndice 19. Criterios numéricos establecidos por el BMWP' (modificado) y las versiones de Cuba (BMWP'Cu) y Colombia (BMWP'Co). Puntuaciones asignados a las familias de macroinvertebrados bioindicadoras del río Cupeyes.**

.Familia	BMWP'	BMWP'Cu	BMWP'Co
Leptophlebiidae	10	9	10
Baetidae	4	7	8
Polycentropodidae	7	8	8
Philopotomidae	8	8	8
Hydroptilidae	6	7	8
Glossosomatidae	8	9	7
Hydrobiosidae		10	8
Calamoceratidae		8	10
Hydropsychidae	5	5	5
Helicopsychidae		8	10
Staphylinidae			6
Elmidae	5	6	6
Gyrinidae	3	3	3
Curculionidae	4		4
Blephariceridae	10	10	10
Dixidae	4	7	4
Ceratopogonidae	4	5	4
Empididae		5	4
Simuliidae	5	5	8
Chironomidae	2	4	2
Psychodidae	4	4	4
Tipulidae	5	6	4
Culicidae	2	2	2
Pyralidae		5	4
Veliidae		3	
Coenagrionidae	6	5	6
Libellulidae	8	3	6
Palaemonidae		6	
Atyidae	6	5	
Pseudothelphusidae		6	8
Gammaridae	6	1	5
Dugesidae	5	7	5
Thiaridae	6	7	8

**Apéndice 20. Criterios numéricos establecidos por el BMWP' (modificado) y las versiones de Cuba (BMWP'Cu) y Colombia (BMWP'Co). Puntuaciones asignados a las familias de macroinvertebrados bioindicadoras de la quebrada Olimpia.**

Familia	BMWP'	BMWP'Cu	BMWP'Co
Leptophlebiidae	10	9	10
Caenidae	4	4	
Baetidae	4	7	8
Polycentropodidae		8	8
Philopotomidae	8	8	8
Glossosomatidae	8	9	7
Hydroptilidae	6	7	8
Hydrobiosidae		10	8
Calamoceratidae		8	10
Hydropsychidae	5	5	5
Helycopsichidae		8	10
Leptoceridae	10	8	8
Staphylinidae			6
Elmidae	5	6	6
Gyrinidae	3	3	3
Dysticidae	3	4	
Blephariceridae	10	10	10
Dixidae	4	7	4
Ceratopogonidae	4	5	4
Simuliidae	5	5	8
Chironomidae	2	4	2
Psychodidae		4	4
Pyralidae		5	4
Veliidae	3	6	
Notonectidae	3	7	5
Coenagrionidae	6	5	6
Libellulidae	8	3	6
Pseudothelphusidae		6	8
Gammaridae	6	1	
Dugesiiidae	5	7	5

**Apéndice 21. Criterios numéricos establecidos por el BMWP' (modificado) y las versiones de Cuba (BMWP'Cu) y Colombia (BMWP'Co). Puntuaciones asignados a las familias de macroinvertebrados bioindicadoras del río Rosario.**

Familia	BMWP'	BMWP'Cu	BMWP'Co
Leptophlebiidae	10	9	10
Caenidae	4	4	
Baetidae	4	7	8
Polycentropodidae	7	8	8
Philopotomidae	8	8	8
Hydroptilidae	6	7	8
Glossosomatidae	8	9	7
Hydrobiosidae		10	8
Calamoceratidae		8	10
Hydropsychidae	5	5	5
Staphylinidae			6
Elmidae	5	6	6
Sphenidae		7	10
Dixidae	4	7	4
Ceratopogonidae	4	5	4
Empididae	4	5	4
Simuliidae	5	5	8
Chironomidae	2	4	2
Psychodidae	4	4	4
Culicidae		2	2
Pyralidae		5	4
Veliidae	3	6	
Mesoveliidae	3	3	4
Gerridae	3	3	
Notonectidae	3	7	5
Atyidae	6	5	
Coenagrionidae	6	5	6
Libellulidae	8	3	6
Dugesiididae	5	7	5
Thiaridae	6	7	
Ancylidae	6	6	6
Ostracoda	3		

**Apéndice 22. Criterios numéricos establecidos por el BMWP' (modificado) y las versiones de Cuba (BMWP'Cu) y Colombia (BMWP'Co). Puntuaciones asignados a las familias de macroinvertebrados bioindicadoras del río Guanajibo.**

Familias	BMWP'	BMWP'Cu	BMWP'Co
Leptophlebiidae	10	9	10
Baetidae	4	7	8
Philopotomidae	8	8	8
Hydroptilidae	6	7	8
Calamoceratidae		8	10
Glossosomatidae	8	9	7
Helicopsychidae			10
Staphylinidae			6
Elmidae	5	6	6
Curculionidae	4		4
Simuliidae	5	5	8
Empididae	4	5	4
Chironomidae	2	4	2
Ceratopogonidae	4	5	4
Psychodidae	4	4	4
Dixidae	4	7	4
Pyralidae		5	4
Veliidae	3	6	
Belostomatidae		4	4
Gerridae	3	3	
Pleidae	3	2	8
Atyidae	6	5	
Libellulidae	8	3	6
Aeshnidae		8	6
Coenagrionidae	6	5	6
Ostracoda	3		
Palaemonidae			3
Physidae		7	
Thiaridae	6	7	
Ancylidae	6	6	6
Erpobdellidae	3		