

INFORME

RAQ-170830-1

Estudio de macroinvertebrados acuáticos en los ríos Pará y Tibás. Ubicación: San Isidro, Heredia, Costa Rica.

Fecha de elaboración: 19 de setiembre del 2017



Lucía Rodríguez Montero

Bióloga, Colegio de Biólogos N° 2465

Contenido

RESEÑA	3
OBJETIVO	3
MATERIALES Y MÉTODOS	3
<i>Área de estudio</i>	3
<i>Descripción de los sitios de muestreo del Río Pará</i>	4
<i>Descripción de los sitios de muestreo del Río Tibás</i>	6
<i>Recolecta de muestras</i>	8
<i>Evaluación de la calidad biológica del agua mediante el uso del índice BMWP-CR</i>	9
<i>Evaluación de la calidad físico-química del agua mediante el uso del índice de Clasificación Holandés</i>	9
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
<i>Río Pará</i>	12
<i>Río Tibás</i>	15
CONCLUSIONES	20
RECOMENDACIONES	21
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
ANEXOS	25

RESEÑA

Tradicionalmente, los análisis de calidad de agua se han realizado a través de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que, a pesar de ser métodos muy precisos, requieren ser complementados con técnicas de biomonitorio para lograr una caracterización biológica e integral. El biomonitorio incorpora los organismos presentes en el ecosistema (bioindicadores) y sus respuestas biológicas para identificar y monitorear cambios en el ambiente. Los macroinvertebrados acuáticos constituyen excelentes bioindicadores porque poseen amplia distribución y riqueza de especies y presentan diversidad de respuestas a los gradientes ambientales (Prat *et al.*, 2009). Algunos requieren buena calidad de agua para sobrevivir (sensibles) y otros crecen y abundan en sitios donde hay contaminación (tolerantes), así, cuando los parámetros son críticos, los organismos sensibles mueren y su lugar es ocupado por los tolerantes (Sermeño-Chicas, 2010).

OBJETIVO

Determinar la calidad del agua en las partes alta, media y baja del Río Pará y Río Tibás dentro del cantón de San Isidro de Heredia, esto mediante protocolos de biomonitorio y los Índices BMWP-CR y de Clasificación Holandés, con el fin de generar información sobre el estado ecológico de los cuerpos de agua para el seguimiento de actividades y la toma de decisiones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Las secciones de los ríos en estudio se encuentran en la provincia de Heredia, cantón de San Isidro, específicamente para el Río Pará, en el distrito de San Josecito, mientras que para el Río Tibás en Concepción, San Isidro y San Josecito las partes alta, media y baja respectivamente. Para el presente documento se realizó una visita de identificación de puntos de muestreo el 23 de agosto del 2017, y posteriormente se realizaron tres visitas en las que se realizaron los muestreos de la siguiente manera:

- 30 de agosto del 2017: parte baja y media del Río Pará.
- 31 de agosto del 2017: parte alta del Río Pará y parte baja del Río Tibás

- 1 de septiembre del 2017: parte media y alta del Río Tibás

Descripción de los sitios de muestreo del Río Parí

1. Parte baja (Datum WGS84, 10°01'21,7" N; 084°01'24,6"W)

Este sitio posee escasa vegetación en sus alrededores y un puente de paso de vehículos y peatones lo atraviesa. El agua era incolora e inodora, en el río no había basura ni residuos sólidos, tampoco presencia de aceites ni espumas, sin embargo sí se observó la descarga de aguas al mismo. El cauce tenía un ancho máximo menor a 10 metros y una profundidad no mayor a 1 metro, en algunas partes regulado por estructuras de concreto, con un caudal medio y rápido y con aproximadamente un 80% de su superficie expuesta. Los sustratos estaban compuestos principalmente por piedras y arena gruesa, había alguna vegetación y raíces dentro del agua y había presencia de peces. El muestreo se realizó en condiciones favorables del tiempo (Fig. 1).



Fig. 1. Parte baja del Río Parí, agosto del 2017.

2. Parte media (Datum WGS84, 10°01'37,1" N; 084°01'30,6"W)

Este sitio tiene más población y negocios en sus alrededores inmediatos, posee escasa vegetación en sus alrededores y un puente de paso de vehículos y peatones lo atraviesa. El agua era incolora, algo turbia y con un ligero olor a cloaca, en el río no había basura ni residuos sólidos, tampoco presencia de aceites ni espumas, sin embargo sí se observó la descarga de aguas residuales al mismo. El cauce tenía un ancho máximo menor a 8 metros y

una profundidad no mayor a 1 metro, en algunas partes regulado por estructuras de concreto, con un caudal bajo y velocidad moderada y con aproximadamente un 50% de su superficie expuesta. Los sustratos estaban constituidos principalmente por piedras, arena gruesa y arcilla, además, gran parte del fondo del cauce era concreto, lo cual destruye los hábitats naturales y homogeniza el paisaje. Dentro del agua había alguna vegetación y no se encontraron peces. El muestreo se realizó en condiciones favorables del tiempo (Fig. 2).



Fig. 2. Parte media del Río Pará, agosto del 2017.

3. Parte alta (Datum WGS84, 10°02'49,1" N; 084°00'51,3"W)

Este sitio se encuentra alejado de la zona con más población y negocios y está rodeado de bosque secundario. El agua era incolora e inodora, en el río no había basura ni residuos sólidos, tampoco presencia de aceites ni espumas, y en general no se observó afectación evidente. El cauce tenía un ancho máximo menor a 15 metros y una profundidad no mayor a 1 metro, la estructura del cauce era natural y en la fecha presentaba un caudal medio y velocidad moderada, con aproximadamente un 10% de su superficie expuesta. Los sustratos estaban constituidos principalmente por piedras y arena gruesa, había paquetes de hojarasca, troncos caídos y en general una estructura muy heterogénea. Dentro del agua había alguna vegetación y no se encontraron peces. El muestreo se realizó en condiciones de llovizna (Fig. 3).



Fig. 3. Parte alta del Río Pará, agosto del 2017.

Descripción de los sitios de muestreo del Río Tibás

4. Parte baja (Datum WGS84, 10°00'17,6" N; 084°02'45,3"W)

Este sitio posee escasa vegetación en sus alrededores y una calle de paso al lado. El agua tenía un color grisáceo y era algo turbia, además se observó basura y descargas de aguas residuales al mismo. El cauce tenía un ancho máximo menor a 10 metros y una profundidad no mayor a 1 metro, en algunas partes regulado por estructuras de concreto, con un caudal moderado y velocidad media y con aproximadamente un 50% de su superficie expuesta. Los sustratos estaban compuestos principalmente por piedras y arena gruesa aunque también lodo, había alguna vegetación y raíces dentro del agua y había presencia de peces. El muestreo se realizó en condiciones favorables del tiempo (Fig. 4).



Fig. 4. Parte baja del Río Tibás, agosto del 2017.

5. Parte media (Datum WGS84, 10°01'01,0" N; 084°03'15,1"W)

Este sitio tiene más población y negocios en sus alrededores inmediatos, posee escasa vegetación en sus alrededores y un puente de paso de vehículos y peatones lo atraviesa. El agua tenía un leve color gris-verdoso, algo turbia y con un ligero olor a cloaca; en el río había algunos desechos sólidos, no se observaron aceites ni espumas, sin embargo sí se observó la descarga de aguas residuales al mismo. El cauce tenía un ancho máximo menor a 12 metros y una profundidad no mayor a 1 metro, en algunas partes regulado por estructuras de concreto, con un caudal medio y velocidad moderada y con la mayoría de su superficie expuesta. Los sustratos estaban constituidos principalmente por piedras y arena gruesa aunque gran parte del fondo del cauce era concreto, lo cual destruye los hábitats naturales y homogeniza el paisaje. Dentro del agua había alguna vegetación y había presencia de peces. El muestreo se realizó en condiciones favorables del tiempo (Fig. 5).



Fig. 5. Parte media del Río Tibás, septiembre del 2017.

6. Parte alta (Datum WGS84, 10°01'46,6" N; 084°03'32,3"W)

Este sitio posee escasa vegetación remanente en sus alrededores. El agua era clara, con un ligero color verdoso, no se observó basura, tampoco presencia de aceites ni espumas, y en general no se observó afectación evidente. El cauce tenía un ancho máximo menor a 15 metros y una profundidad no mayor a 1 metro, la estructura del cauce era natural y en la fecha presentaba un caudal medio y velocidad moderada, con aproximadamente un 50% de su superficie expuesta. Los sustratos estaban constituidos principalmente por piedras y

arena gruesa, había paquetes de hojarasca, troncos caídos y en general una estructura muy heterogénea. Dentro del agua había alguna vegetación y había presencia de peces. El muestreo se realizó en condiciones favorables del tiempo (Fig. 6).



Fig. 6. Parte alta del Río Tibás, septiembre del 2017.

Recolecta de muestras

La recolecta de muestras estuvo a cargo de la Bióloga Lucía Rodríguez Montero (Col. Biol. No. 2465). En cada uno de los sitios intervenidos de ambos ríos se realizó un muestreo semi-cuantitativo tomando en cuenta todos los microambientes presentes (velocidad del agua, variedad de sustratos, profundidad, etc.) durante un tiempo total de recolección de 120 minutos según lo establece el Capítulo V del “*Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales* publicado en La Gaceta N°178 en el 2007.

Se realizó una recolección directa de los macroinvertebrados mediante la técnica de red de mano (500 μ m y apertura de 20-25 cm) según se indica en el artículo 13 de la legislación vigente en marras. Los organismos se depositaron cuidadosamente con la ayuda de pinzas entomológicas en recipientes con alcohol al 70% para su preservación. Posteriormente, con la ayuda de equipo óptico, se llevó a cabo la identificación de los individuos al nivel de familia, utilizando material bibliográfico y claves taxonómicas. Las muestras de macroinvertebrados fueron depositadas en el Museo de Zoología de la Universidad de Costa Rica.

Evaluación de la calidad biológica del agua mediante el uso del índice BMWP-CR

Para cada sitio en estudio se realizó un análisis de tipo descriptivo de la información obtenida, para ello se calculó el índice BMWP-CR (Biological Monitoring Working Party, modificado para Costa Rica) según lo establecido en el Apéndice III del Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (No. 33903-MINAE-S). Éste se obtiene mediante la sumatoria de las puntuaciones ya asignadas a las distintas familias de los macroinvertebrados encontrados, de acuerdo a su grado de sensibilidad a la contaminación, (donde se considera únicamente la presencia o ausencia de las familias, no la cantidad de individuos encontrados) y el mismo posiciona a las aguas analizadas en el nivel de calidad correspondiente (Kohlmann, 2011) (Cuadro 1). Además se calcularon los índices de Dominancia, Diversidad de Shannon-Weaver, Simpson y Similitud de Jaccard, utilizando el programa PAST 3.14.

Cuadro 1. Clasificación de la calidad del agua según el puntaje obtenido de acuerdo al índice BMWP-CR (Decreto 33903-MINAE-S, 2007).

CLASE	NIVEL DE CALIDAD	BMWP-CR	Color representativo
	Aguas de calidad excelente	>120	Azul
1	Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible	101-120	Azul
2	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada	61-100	Verde
3	Aguas de calidad mala, contaminadas	36-60	Amarillo
4	Aguas de calidad mala, muy contaminadas	16-35	Naranja
5	Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas	<15	Rojo

Evaluación de la calidad físico-química del agua mediante el uso del índice de Clasificación Holandés

Se calculó el índice de Clasificación Holandés de valoración de la calidad físico-química del agua según lo establecido en el Apéndice I del Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (No. 33903-MINAE-S).

Este índice toma en cuenta variables de importancia en la valoración de la contaminación orgánica en una corriente de agua, como la Demanda Bioquímica de Oxígeno, el Nitrógeno Amoniacal y la saturación de Oxígeno (Cuadro 2).

Cuadro 2. Asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico-Química del Agua para cuerpos receptores (Decreto 33903-MINAE-S, 2007).

Puntos	PSO (%)	DBO (mg/L)	N-NH ₄ (mg/L)*
1	91 - 100	< = 3	< 0,50
2	71-90/ 111-120	3.1 - 6.0	0.50-1
3	51-70/ 121-130	6.1 - 9.0	1.1-2
4	31-50	9.1 - 15	2.1-50
5	< = 30 y > 130	> 15	> 5.0

*Nitrógeno amoniacal

Para realizar el cálculo se suman los puntos correspondientes en cada uno de los ámbitos respectivos de cada una de las variables, esta sumatoria se traslada seguidamente a un código de colores con el cual queda clasificada la calidad del agua del cuerpo receptor de acuerdo al grado de contaminación (Cuadro 3).

Cuadro 3. Asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de codificación por colores, basado en valores de PSO, DBO y nitrógeno amoniacal.

Clase	Sumatoria de puntos	Código de Color	Interpretación de Calidad
1	3	Azul	Sin contaminación
2	4 a 6	Verde	Contaminación incipiente
3	7 a 9	Amarillo	Contaminación moderada
4	10 a 12	Naranja	Contaminación severa
5	13 a 15	Rojo	Contaminación muy severa

Finalmente, según lo establecido en el artículo 20, capítulo VI del reglamento en marras, para la compatibilidad en los resultados de los índices BMWP-CR y de

Clasificación Holandés, en caso de presentar una diferencia de menos de una clase la clasificación final será la de menor calidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cabe recalcar la importancia del uso de organismos bioindicadores en los análisis de contaminación del agua, ya que éstos tienen la capacidad de brindar información importante sobre el estado ambiental del sitio en estudio (Li *et al*, 2010). Los más utilizados frecuentemente son los macroinvertebrados acuáticos, los cuales en su mayoría desarrollan sus estadios inmaduros como huevos y larvas en ecosistemas acuáticos, mientras que los adultos suelen ser terrestres. Los órdenes más comunes de insectos acuáticos son los efemerópteros, plecópteros, odonatos, hemípteros, coleópteros, tricópteros y dípteros (Fernández, 2012). Estos grupos han sido de los más importantes en la evaluación del hábitat, debido a su respuesta a las alteraciones ocasionadas por actividades antropogénicas en ecosistemas fluviales, sensibilidad a la contaminación orgánica y a la degradación del hábitat (Meza *et al*, 2012).

Las familias a la que pertenecen los macroinvertebrados poseen un nivel de tolerancia a los cambios en el ambiente en el que habitan, por lo que solo ciertas familias estarán presentes en ambientes limpios sin influencia alguna de fuentes de contaminación, mientras que solo otras se encontrarán en ambientes contaminados (Giacometti & Bersosa, 2006). Estos organismos tolerantes suelen presentar adaptaciones que les permiten dar una respuesta con gran plasticidad a las alteraciones que se presenten en su hábitat, entre ellas la reducción o ampliación de sus ciclos biológicos y la implementación de estrategias de reproducción, con lo que pueden cambiar la abundancia y dinámica de sus poblaciones (Marchese & Paggi, 2004); de esta manera desplazan a las especies sensibles y proliferan cuando los parámetros son críticos. Una característica importante de estos bioindicadores es que sus comunidades residen en los sistemas acuáticos durante el tiempo suficiente para reflejar los efectos crónicos de contaminantes, aunque en períodos suficientemente cortos para responder a cambios agudos en la calidad del agua (Reboredo-Fernández *et al.*, 2014). A continuación se detallan los resultados para cada río en estudio.

Río Par 

En cuanto a la *parte baja*, en total se recolectaron 200 individuos repartidos en 11 órdenes y 19 familias (Cuadro 4, Anexo 1). La familia predominante fue Erphobdellidae con un 24% del total de la muestra. Estos organismos suelen indicar aguas eutrofizadas por efectos de contaminación orgánica ya que toleran bajas concentraciones de oxígeno, por lo que su marcada abundancia no es buena señal de la calidad del agua (Roldán, 1988). Seguido de Erphobdellidae la familia que más apareció fue Leptohiphidae (22%), conocida por ser importante indicadora debido a que se relaciona con variables que indican intervención antrópica como son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y coliformes totales. Las ninfas viven entre rocas, grava, hojarasca y vegetación acuática, y pueden llegar a tolerar niveles altos de contaminación (Jiménez, 2014). Finalmente, Calopterygidae tiene un 17% del total de la muestra, esta familia suele indicar aguas oligotróficas (Roldán, 1988) (Fig. 7).

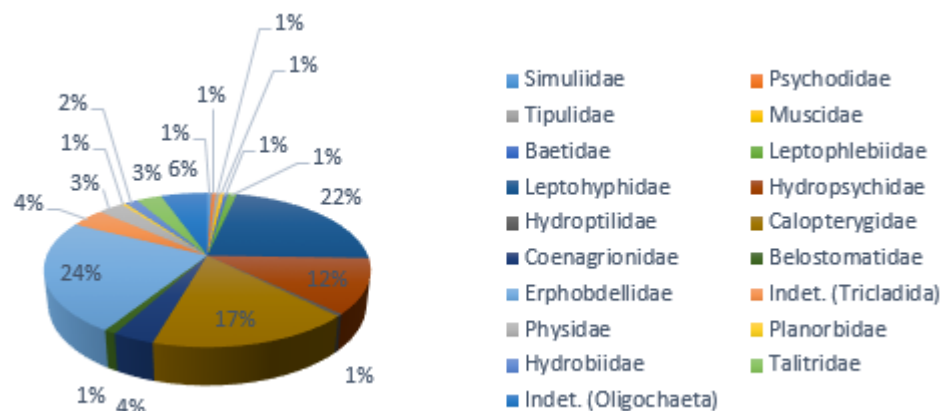


Figura 7. Familias identificadas y la relación con su respectivo número de individuos recolectados en la parte baja del Río Par , San Isidro, Heredia, Agosto del 2017.

En cuanto a la *parte media*, en total se recolectaron 197 individuos repartidos en 13 órdenes y 26 familias (Cuadro 4, Anexo 1). La familia predominante en este punto fue Leptohiphidae con un 40% del total de la muestra, seguida de Erphobdellidae que tuvo un 12% y finalmente Calopterygidae con un 10%. A pesar de ser las mismas familias las que predominan en la parte baja y en la media, en esta última se encontraron más familias con

cierta sensibilidad a contaminantes como por ejemplo Calamoceratidae, la cual suele indicar aguas oligotróficas, frías y bien oxigenadas (Fig. 8).

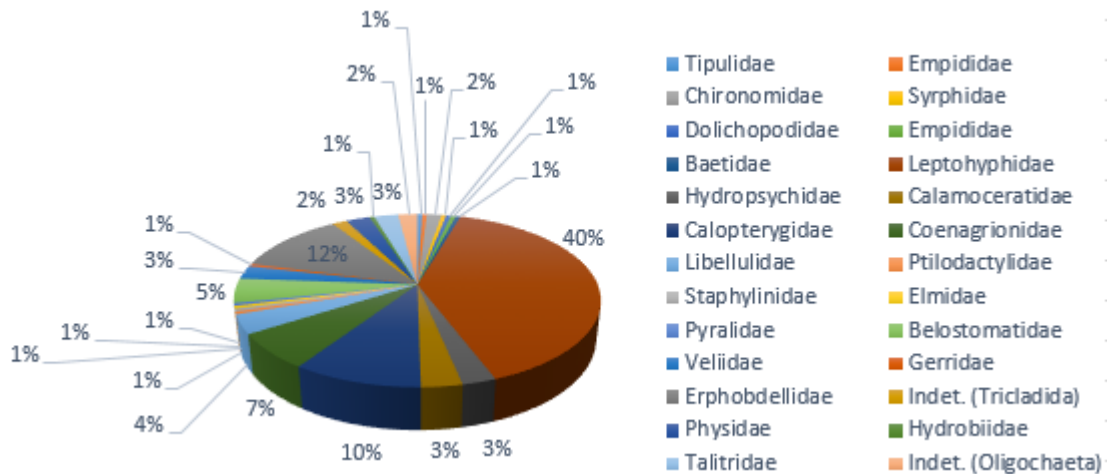


Figura 8. Familias identificadas y la relación con su respectivo número de individuos recolectados en la parte media del Río Parí, San Isidro, Heredia, Agosto del 2017.

En cuanto a la *parte alta* en total se recolectaron 270 individuos repartidos en 13 órdenes y 30 familias (Cuadro 4, Anexo 1). Se obtuvo predominancia por parte de la familia Talitridae con un 23% del total de la muestra, la cual pertenece al orden de los Anfípodos, organismos considerados en general como sensibles a la contaminación (de-la-Ossa-Carretero *et al*, 2011). Seguida de Talitridae apareció Veliidae, familia que no participa en el cálculo del índice BMWP-CR, sin embargo suele indicar aguas oligomesotróficas (Roldán, 1988), es decir, aguas con bajo contenido de nutrientes, baja productividad primaria y buen nivel de oxígeno (Adler, 2016). Finalmente otras familias que se encontraron en mayor número fueron Leptophlebiidae y Calamoceratidae, ambas indicadoras de aguas limpias y oxigenadas (Roldán, 1988) (Fig. 9).

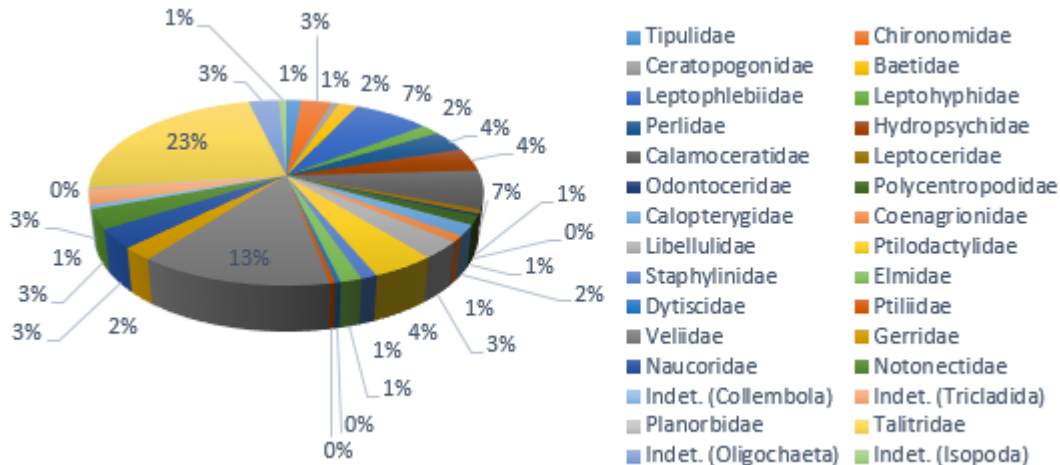


Figura 9. Familias identificadas y la relación con su respectivo número de individuos recolectados en la parte alta del Río Parí, San Isidro, Heredia, Agosto del 2017.

En cuanto a la calidad biológica de agua obtenida para cada sitio del Río Parí, el índice BMWP-CR resultó de la siguiente manera: **Parte baja:** 81, aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada; **Parte media:** 103, aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible; **Parte alta:** 136, aguas de calidad excelente. Estos resultados se sustentan con los índices ecológicos calculados, entre ellos el índice de Shannon el cual es una medida de la riqueza de la comunidad de macroinvertebrados con respecto a la dominancia, éste suele estar entre 1 y 4,5, donde valores mayores a 3 indican alta diversidad (Golicher, 2012). Para los sitios analizados del Río Parí, este índice fue mayor en la parte alta, mientras que en la parte baja fue menor. Con respecto a la Dominancia, en los tres sitios fue relativamente baja, con 15, 19 y 10% en las partes baja, media y alta respectivamente; en este caso el índice menor de dominancia lo tiene la parte alta. De este último índice se desprende Shannon, el cual indica la probabilidad de que, al sacar dos individuos al azar de una sola muestra, éstos pertenezcan a dos familias distintas (Pla, 2006), esta probabilidad es mayor en la parte alta, con un 90% lo cual respalda la alta riqueza que hubo en este sitio (Cuadro 5).

Cuadro 5. Clasificación según el Índice BMWP-CR así como índices de Shannon, Dominancia y Simpson de los tres sitios en estudio del Río Pará, San Isidro, Heredia, agosto del 2017.

Índices	Parte baja	Parte media	Parte alta
Total de individuos	200	197	270
Total taxa	19	26	30
Shannon	2,18	2,29	2,83
Dominancia	0,15	0,19	0,10
Simpson	0,85	0,81	0,90
BMWP-CR	81	103	136
Calidad	Clase 2 Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada	Clase 1 Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible	Clase 1 Aguas de calidad excelente

Tomando en cuenta los resultados fisicoquímicos presentados en los informes de resultados RAR-170830-2, RAR-170830-3 y RAR-170831-2 adjuntos, el índice de Clasificación Holandés posiciona a los tres sitios intervenidos del Río Pará de la siguiente manera (Cuadro 6):

Cuadro 6. Clasificación según el Índice de Clasificación Holandés de los tres sitios en estudio del Río Pará, agosto del 2017.

Calidad	Parte baja	Parte media	Parte alta
Puntuación	3	3	4
Clase	Clase 1 Sin contaminación	Clase 1 Sin contaminación	Clase 2 Contaminación incipiente

Río Tibás

En cuanto a la *parte baja*, en total se recolectaron 322 individuos repartidos en 12 órdenes y 20 familias (Cuadro 7, Anexo2). La familia predominante fue Leptohyphidae, con un 30% del total de la muestra, lo cual puede indicar contaminación con origen antrópico (Jiménez, 2014). Seguida de esta familia predomina Hydropsychidae con un 27%, la cual puede tolerar un poco de contaminación y es indicadora de aguas desde

oligotróficas a eutróficas (Roldán, 1988). Finalmente, Calopterygidae tiene un 16% del total de la muestra, indicadora de aguas oligotróficas (Roldán, 1988) (Fig. 10).

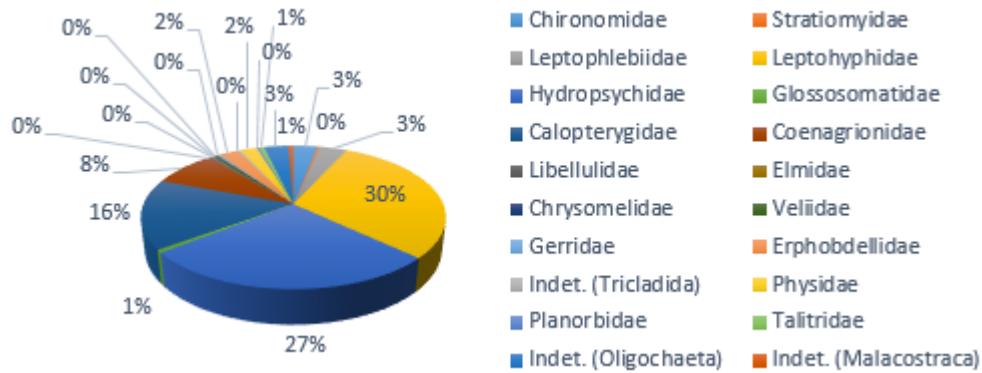


Figura 10. Familias identificadas y la relación con su respectivo número de individuos recolectados en la parte baja del Río Tibás, San Isidro, Heredia, Agosto del 2017.

En cuanto a la *parte media*, en total se recolectaron 443 individuos repartidos en 11 órdenes y 26 familias (Cuadro 7, Anexo 2). La familia predominante en este punto fue Leptohyphidae con un 35% del total de la muestra, seguida de Hydropsychidae que tuvo un 17% y finalmente Calopterygidae con un 15%. A pesar de ser las mismas familias las que predominan en la parte baja y en la media, en esta última se encontró más diversidad de taxa, con sensibilidades de media a altas (Fig. 11).

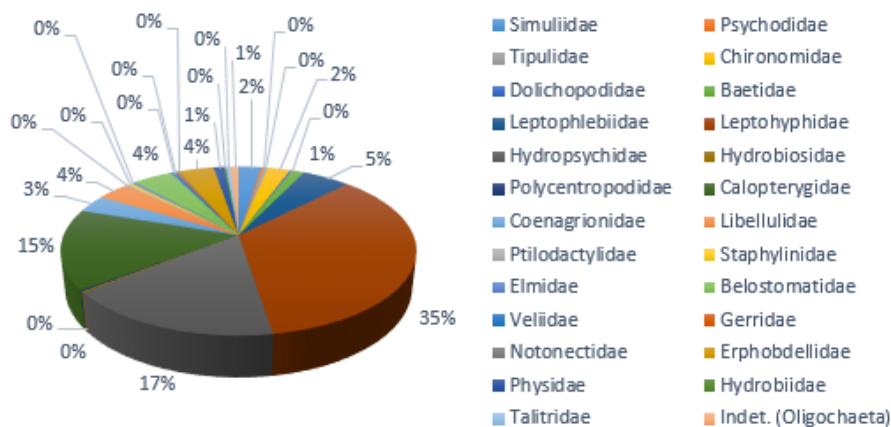


Figura. 11. Familias identificadas y la relación con su respectivo número de individuos recolectados en la parte media del Río Tibás, San Isidro, Heredia, Setiembre del 2017.

En cuanto a la *parte alta* en total se recolectaron 249 individuos repartidos en 13 órdenes y 27 familias (Cuadro 7, Anexo 2). Se obtuvo predominancia por parte de los libelúlidos con un 23% del total de la muestra, estos organismos suelen vivir en aguas limpias a ligeramente eutrofizadas. Luego de Libellulidae la familia que más apareció fue Veliidae con un 9% seguida de Calopterygidae con un 8%, ambas indicadoras de aguas oligomesotróficas (Roldán, 1988), es decir, aguas con bajo contenido de nutrientes, baja productividad primaria y buen nivel de oxígeno (Adler, 2016). Finalmente otras familias que sobresalen son Baetidae (7%) y Notonectidae (6%), ambas indicadoras de aguas limpias (Roldán, 1988). Cabe mencionar que en este sitio se encontraron dos familias de las más sensibles a la contaminación reportadas en Costa Rica, Perlidae (Plecoptera) y Heptageniidae (Ephemeroptera), además se encontraron Tricópteros, los cuales son buenos indicadores de aguas oligotróficas y cuando se encuentran junto con efemerópteros y plecópteros, no hay duda de que se trata de ecosistemas en buenas condiciones (Roldán 1988, 1999) (Fig. 12).

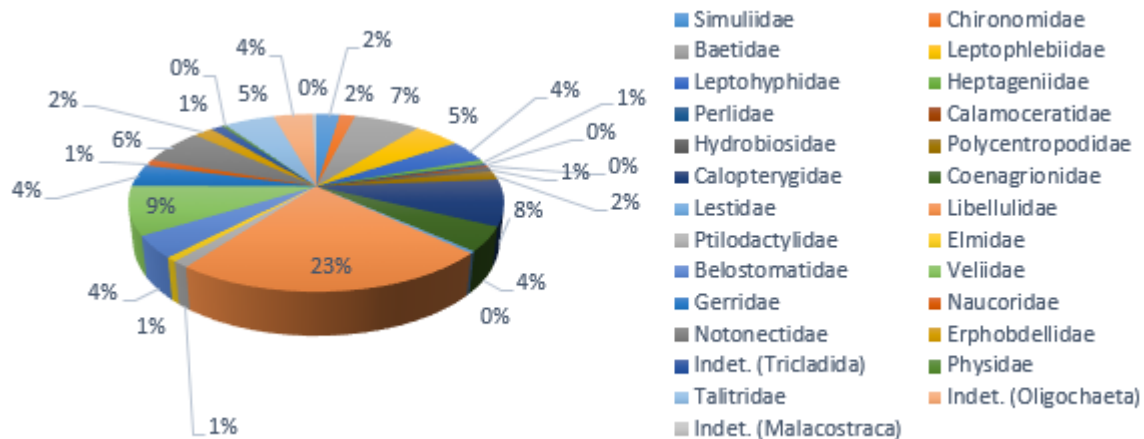


Figura. 12. Familias identificadas y la relación con su respectivo número de individuos recolectados en la parte alta del Río Tibás, San Isidro, Heredia, Setiembre del 2017.

En cuanto a la calidad biológica de agua obtenida para cada sitio del Río Tibás, el índice BMWP-CR resultó de la siguiente manera: **Parte baja:** 89, aguas de calidad regular,

eutrofia, contaminación moderada; **Parte media:** 117, aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible; **Parte alta:** 134, aguas de calidad excelente. Estos resultados se sustentan con los índices ecológicos calculados, entre ellos el índice de riqueza de Shannon, el cual fue mayor en la parte alta y menor en la baja. Con respecto a la Dominancia, en los tres sitios fue relativamente baja, con 20, 18 y 9% en las partes baja, media y alta respectivamente; en este caso el índice menor de dominancia lo tiene la parte alta. De este último índice se desprende Shannon, el cual indica la probabilidad de que, al sacar dos individuos al azar de una sola muestra, éstos pertenezcan a dos familias distintas (Pla, 2006), esta probabilidad es mayor en la parte alta, con un 91% lo cual respalda la alta riqueza que hubo en este sitio (Cuadro 8).

Cuadro 8. Clasificación según el Índice BMWP-CR así como índices de Shannon, Dominancia y Simpson de los tres sitios en estudio del Río Tibás, San Isidro, Heredia, agosto y setiembre del 2017.

Índices	Parte baja	Parte media	Parte alta
Total de individuos	322	443	249
Total taxa	20	26	27
Shannon	1,96	2,17	2,76
Dominancia	0,20	0,18	0,09
Simpson	0,8	0,82	0,91
BMWP-CR	89	117	134
Calidad	Clase 2 Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada	Clase 1 Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible	Clase 1 Aguas de calidad excelente

Tomando en cuenta los resultados fisicoquímicos presentados en los informes de resultados RAR-170831-3, RAR-170901-5 y RAR-170901-6 adjuntos, el índice de Clasificación Holandés posiciona a los tres sitios intervenidos del Río Tibás de la siguiente manera (Cuadro 9).

Cuadro 9. Clasificación según el Índice de Clasificación Holandés de los tres sitios del Río Tibás en estudio, agosto y setiembre del 2017.

Calidad	Parte baja	Parte media	Parte alta
Puntuación	6	6	6
Clase	Clase 2 Contaminación incipiente	Clase 2 Contaminación incipiente	Clase 2 Contaminación incipiente

Para saber si alguna especie de macroinvertebrado encontrado en el estudio se encuentra en peligro de extinción y está siendo amenazado, es necesario realizar la clasificación taxonómica a nivel de especie, como se detalla en *la Red List of Threatened Species*, de la *International Union for Conservation of Nature and Natural Resources* (UICN), sin embargo, para llegar a esta clasificación se requiere de un alto nivel de especialización y de experiencia en taxonomía, además de análisis de organismos adultos y no de etapas inmaduras, por lo que no se puede confirmar si hay especies dentro de estas listas.

En general, en ningún sitio intervenido en el estudio parece haber una degradación avanzada debido a que en ninguno hubo marcada proliferación de algún organismo altamente tolerante a la contaminación, y en todos los sitios se obtuvo una riqueza taxonómica aceptable y equilibrada. A pesar de esto, el biomonitoreo deja en evidencia el daño que sufren los cuerpos de agua al pasar por las zonas de alta densidad poblacional, donde reciben aguas de tipo residual y desechos de distintas actividades antrópicas como agricultura, ganadería e industrias diversas que pueden afectar a los macroinvertebrados debido a que éstos viven y se alimentan en o sobre sedimentos que pueden acumular estas sustancias tóxicas, esto resulta en un declive en la calidad del agua ya que estos organismos son fundamentales en la recirculación de los nutrientes y procesos de degradación de materia orgánica (Segnini, 2003). De ahí que los planes de monitoreo periódico sean fundamentales así como la existencia de programas de planificación de la utilización de los recursos hídricos en las diferentes comunidades.

CONCLUSIONES

- Según los resultados del monitoreo biológico y de las pruebas fisicoquímicas se logró determinar que ninguno de los dos ríos posee un deterioro importante, ambos están en buen estado ecológico en todos los tramos en estudio.
- En todos los sitios en estudio de ambos ríos hubo presencia de organismos Efemerópteros y Tricópteros, los cuales han sido de los más sensibles reportados para Costa Rica.
- El muestreo biológico muestra claramente que existe un leve declive en las condiciones de los cuerpos de agua al ir disminuyendo altitud, es decir, a su paso por las áreas más pobladas.
- Según el índice BMWP-CR para el Río Pará los sitios en estudio se clasifican de la siguiente manera:
 - Parte baja: Clase 2, Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
 - Parte media: Clase 1, Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible
 - Parte alta: Clase 1, Aguas de calidad excelente
- Según el índice BMWP-CR para el Río Tibás los sitios en estudio se clasifican de la siguiente manera:
 - Parte baja: Clase 2, Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
 - Parte media: Clase 1, Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible
 - Parte alta: Clase 1, Aguas de calidad excelente
- Según el índice de Clasificación Holandés para el Río Pará los sitios en estudio se clasifican de la siguiente manera:
 - Parte baja: Clase 1, Sin contaminación
 - Parte media: Clase 1, Sin contaminación

- Parte alta: Clase 2, Contaminación incipiente
- Según el índice de Clasificación Holandés para el Río Tibás los sitios en estudio se clasifican de la siguiente manera:
 - Parte baja: Clase 2, Contaminación incipiente
 - Parte media: Clase 2, Contaminación incipiente
 - Parte alta: Clase 2, Contaminación incipiente
- El índice BMWP-CR recopila información importante del comportamiento de las comunidades de macroinvertebrados en función de alteraciones en la calidad del agua o alteraciones en el paisaje en el sitio o aguas arriba del mismo, y refleja perturbaciones presentes o pasadas, no así el índice de Clasificación Holandés, el cual se compone de tres variables físico-químicas de un momento dado.
- Cualquier actividad cercana a los cuerpos de agua que influya en sus características físicas y químicas puede afectar de manera importante a las comunidades que lo habitan y en general a la salud del ecosistema.
- Es de suma importancia que se realicen biomonitoreos periódicamente para identificar posibles cambios de las condiciones de los cuerpos de agua y poder así tomar acciones correctivas o de mitigación.

RECOMENDACIONES

- Fomentar campañas de reforestación con especies nativas que involucren escuelas, colegios, universidades, personal de empresas y comunidad en general, además de proteger la vegetación existente en las orillas del río.
- Vigilar las buenas prácticas ambientales de la comunidad y capacitar a líderes en el buen uso del recurso hídrico.
- Diseñar estrategias o planes de acción que promuevan la protección de quebradas y ríos del cantón de San Isidro, mediante acciones en el campo de la educación ambiental, investigación, reforestación, manejo de residuos sólidos, manejo de cuencas hidrográficas, entre otros.

- Coordinar acciones con organizaciones comunales, otros Gobiernos locales e instituciones públicas y privadas en busca de la protección y recuperación de los ecosistemas acuáticos.
- Realizar monitoreos físico-químicos y biológicos periódicos en áreas clave de los cuerpos de agua que generen información importante para la toma de decisiones y seguimiento y reestructuración de actividades que puedan estar afectando el recurso hídrico del cantón de San Isidro de Heredia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adler, F. J. (2016). *El futuro del agua en Tucumán*. HESIODO: Argentina.
- Altamiranda, M. (2009). Diversidad de libélulas (Insecta-Odonata) para dos usos de suelo, en un bosque seco tropical. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 62(2), 5071-5079.
- Bonada, N., Rieradevall, N. & Prat, N. (2000). Temporalidad y contaminación como claves para interpretar la biodiversidad de macroinvertebrados en un arroyo mediterráneo (Riera de Saunt Cugat, Barcelona). *Limnética*, 18, 81-90.
- Cavanzón, L. E. (2011). *Biodiversidad y selección de artrópodos bioindicadores de tres tipos de manejo forestal en el sur de Quintana Roo*. (Tesis inédita de maestría). ECOSUR, Quintana Roo.
- da Rocha, J. R. M. (2010). Insects as indicators of environmental changing and pollution: a review of appropriate species and their monitoring. *HOLOS Environment*, 10(2): 250.
- de-la-Ossa-Carretero, J.A. Del-Pilar-Ruso, Y., Giménez-Casaldueiro, F., Sánchez-Lizaso, J.L. & Dauvin, J.C. (2011). Sensitivity of amphipods to sewage pollution. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1-10.
- Decreto 33903-MINAE-S. Diario Oficial la Gaceta de la República de Costa Rica, San José, Costa Rica, 17 de agosto del 2007.
- Fernández, R. (2012). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. *Páginas de información ambiental*, (39), 24-29.

- Flowers, R.W. & de la Rosa, C. (2010). Capítulo 4: Ephemeroptera. *Revista de Biología Tropical*, 58(Suppl. 4), 63-93.
- Giacometti, J. & F. Bersosa. (2006). Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. *Boletín Técnico*, 6, 17-32.
- Golicher, D. (2012). ¿Cómo cuantificar la diversidad de especies? Consejo de Formación en Educación Uruguay. Uruguay. Tomado de <http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/ecocomunidades/TPN3.pdf>
- International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. (2016). The IUCN Red List of Threatened Species. Tomado de <http://www.iucnredlist.org/search>.
- Kohlmann, B. (2011). Bioindicadores de calidad de agua. Boletín de Ciencia y Tecnología N° 107. Costa Rica: CONICIT, Universidad EARTH.
- Li, L., Zheng, B. & L. Liu. (2010). Biomonitoring and Bioindicators Used for River Ecosystems: Definitions, Approaches and Trends. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 1510–1524.
- Marchese, M., & A. Paggi. (2004). *Diversidad de Oligochaeta (Annelida) y Chironomidae (Diptera) del litoral fluvial argentino. Temas de la Biodiversidad del Litoral Fluvial Argentino*. INSUGEO. Tucumán, Argentina, 217-223.
- Meza, A., Rubio, J., Dias, L & J. Walteros. (2012). Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. *Caldasia*, 34(2), 443-456.
- Pinilla, G. A. (1998). *Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia: compilación bibliográfica*. Colombia: U. Jorge Tadeo Lozano.
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia* 31(8):583- 590.
- Prat, N., Ríos, B., Acosta, R. & Rieradevall, M. (2009). Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. En Domínguez, E. & Fernández, H.R. (Eds). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. (pp. 631). Tucumán: Fundación Miguel Lillo.
- Ramírez, A. (2010). Capítulo 5: Odonata. *Revista de Biología Tropical*, 58 (Suppl. 4), 97-136.

- Reynaga, M. C. & Dos Santos, D. A. (2012). Rasgos biológicos de macroinvertebrados de ríos subtropicales: patrones de variación a lo largo de gradientes ambientales espacio-temporales. *Ecol. austral*, 22(2), 112-120.
- Reboredo-Fernández, A., Prado-Merini, O., García-Bernadal, T., Gómez-Couso, H. & Ares-Mazás, E. (2014). Benthic macroinvertebrate communities as aquatic bioindicators of contamination by *Giardia* and *Cryptosporidium*. *Parasitol Res.*, 113:1625–1628. doi: 10.1007/s00436-014-3807-y
- Roldán, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Bogotá: Presencia Ltda.
- Roldán, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Academia Colombiana de Ciencia*, 23(88), 375-387.
- 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.
- Sermeño-Chicas, J.M. (2010). Biomonitorio de la calidad de agua. *Revista mejor ambiente*. Fondo de la iniciativa para las Américas (FIAES). El Salvador: Bavaria. (pp. 14-15).
- Springer, M., Ramírez, A. & P. Hanson. (eds.). Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica: Vol 2: Blattodea, Hemiptera, Hymenoptera, Coleoptera & Diptera. Suppl. *Revista Biología Tropical*. En prep.
- Springer, M., Ramírez, A. & P. Hanson. (eds.). Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica: Vol 3: Annelida, Hirudinea, Hidracarina, Crustacea & Mollusca. Suppl. *Revista Biología Tropical*. En prep.
- Springer, M., Ramírez, A. & P. Hanson. (eds.). (2010). Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica: Vol 1: Ephemeroptera, Plecoptera, Odonata, Trichoptera. *Revista Biología Tropical*, 58(4), 1-240.
- Wethington, A. R. (2004). Family Physidae. A supplement to the workbook accompanying the FMCS Freshwater Identification Workshop, University of Alabama, Tuscaloosa.

ANEXOS
Anexo 1
Cuadro 4. Clasificación taxonómica y número de macroinvertebrados recolectados en los sitios intervenidos del Río Pará, San Isidro, Heredia, agosto del 2017.

Clase	Orden	Familia	Puntaje BMWP-CR	Cantidad individuos parte baja	Cantidad individuos parte media	Cantidad individuos parte alta	
Insecta	Diptera	Simuliidae	4	1	0	0	
		Psychodidae	3	1	0	0	
		Tipulidae	4	1	1	4	
		Muscidae	4	1	0	0	
		Empididae	4	0	1	0	
		Chironomidae	2	0	3	8	
		Syrphidae	1	0	1	0	
		Dolichopodidae	4	0	1	0	
		Empididae	4	0	1	0	
		Ceratopogonidae	4	0	0	2	
	Ephemeroptera	Baetidae	5	1	1	5	
		Leptophlebiidae	8	2	0	20	
		Leptohyphidae	5	44	78	5	
	Plecoptera	Perlidae	9	0	0	10	
	Trichoptera	Hydropsychidae	5	23	5	11	
		Hydroptilidae	6	1	0	0	
		Calamoceratidae	8	0	6	18	
		Leptoceridae	8	0	0	2	
		Odontoceridae	9	0	0	1	
		Polycentropodidae	6	0	0	4	
		Odonata	Calopterygidae	4	34	19	5
			Coenagrionidae	4	7	13	3
			Libellulidae	6	0	7	8
		Coleoptera	Ptilodactylidae	7	0	1	12
	Staphylinidae		4	0	1	3	
	Elmidae		5	0	1	4	
	Dytiscidae		4	0	0	1	
	Ptiliidae		NA	0	0	1	
	Lepidoptera		Pyralidae	5	0	1	0
	Hemiptera	Belostomatidae	4	2	9	0	
		Veliidae	NA	0	5	36	
		Gerridae	NA	0	1	6	
		Naucoridae	4	0	0	9	
		Notonectidae	4	0	0	9	
	Collembola	Indet.	NA	0	0	2	
	Hirudinea	Arhynchobdellida	Erphobdellidae	3	47	23	0
	Turbellaria	Tricladida	Indet.	5	8	3	7
	Gastropoda	Basommatophora	Physidae	3	6	5	0
			Planorbidae	3	1	0	1
		Mesogastropoda	Hydrobiidae	3	3	1	0
		Malacostraca	Amphipoda	Talitridae	7	6	5
	Oligochaeta	Indet.	Indet.	1	11	4	8
	Malacostraca	Isopoda	Indet.	5	0	0	2

Anexo 2
Cuadro 7. Clasificación taxonómica y número de macroinvertebrados recolectados en los sitios intervenidos del Río Tibás, San Isidro, Heredia, agosto y setiembre del 2017.

Clase	Orden	Familia	Puntaje BMWPC-CR	Cantidad individuos parte baja	Cantidad individuos parte media	Cantidad individuos parte alta
Insecta	Diptera	Simuliidae	4	0	11	6
		Psychodidae	3	0	1	0
		Tipulidae	4	0	2	0
		Chironomidae	2	10	11	4
		Dolichopodidae	4	0	1	0
		Stratiomyidae	4	1	0	0
	Ephemeroptera	Baetidae	5	0	6	17
		Leptophlebiidae	8	11	23	12
		Leptohyphidae	5	97	155	10
		Heptageniidae	9	0	0	2
	Plecoptera	Perlidae	9	0	0	1
	Trichoptera	Hydropsychidae	5	88	75	0
		Calamoceratidae	8	0	0	1
		Hydrobiosidae	9	0	1	2
		Polycentropodidae	6	0	1	4
		Glossosomatidae	8	2	0	0
	Odonata	Calopterygidae	4	51	68	21
		Coenagrionidae	4	26	15	11
		Lestidae	7	0	0	1
	Coleoptera	Libellulidae	6	1	16	58
		Ptilodactylidae	7	0	1	3
		Staphylinidae	4	0	2	0
		Elmidae	5	1	2	2
		Chrysomelidae	4	1	0	0
	Hemiptera	Belostomatidae	4	0	19	10
		Veliidae	NA	1	2	22
		Gerridae	NA	1	1	10
		Naucoridae	4	0	0	3
		Notonectidae	4	0	1	16
	Hirudinea	Arhynchobdellida	Erphobdellidae	3	8	17
Turbellaria	Tricladida	Indet.	5	1	0	3
Gastropoda	Basommatophora	Physidae	3	7	5	1
		Planorbidae	3	1	0	0
	Mesogastropoda	Hydrobiidae	3	0	1	0
Malacostraca	Amphipoda	Talitridae	7	2	2	13
Oligochaeta	Indet.	Indet.	1	10	4	10
Malacostraca	Indet.	Indet.	5	2	0	1