



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
PROGRAMA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA PROFESIONAL EN MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS**

PROYECTO DE TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA CON LA METODOLOGÍA DE
MACROINVERTEBRADOS EN LA MICROCUENCA RÍO LA PAZ, SAN
RAMÓN, COSTA RICA**

PROFESORA ASESORA: M. SC. GABRIELA CHAVES SOTO

JORGE ARTURO RODRÍGUEZ JIMÉNEZ

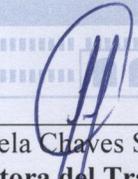
TURRIALBA, COSTA RICA

2017

Este trabajo de graduación ha sido aceptado en su presente forma por la División de Educación y el Programa de Posgrado del CATIE y aprobado por el Comité Asesor del estudiante, como requisito para optar por el grado de

Máster en Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas

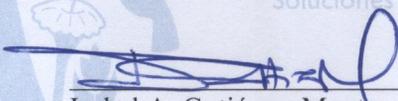
FIRMANTES:



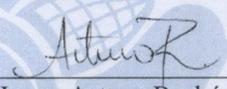
Gabriela Claves Soto, M.Sc.
Directora del Trabajo de Graduación



Diego Tobar, M.Sc.
Segundo lector



Isabel A. Gutiérrez-Montes, Ph.D.
Decana del Programa de Posgrado



Jorge Arturo Rodríguez Jiménez
Candidato

DEDICATORIA

A mi familia, sin cuyo apoyo constante no hubiera logrado esta meta tan anhelada.

A mis profesores de maestría que, con el trabajo arduo y el acompañamiento constante, me dieron aliento para seguir con este proyecto.

A Aymé y Stefanía, mis compañeras de estudio a distancia, que estuvieron para darme ánimos y consejos en este proceso formativo.

A todas las personas que de una u otra forma brindaron su apoyo y consejo durante estos dos años de estudios superiores.

AGRADECIMIENTOS

A la División de Educación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE por su dedicación y apoyo en este proceso formativo. Agradecimiento especial a mi directora del trabajo de grado, Gabriela Chaves Soto, por sus consejos en el proceso de elaboración de este estudio.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Página
Dedicatoria	III
Agradecimientos	IV
Índice de cuadros	VII
Índice de figuras	VIII
Acrónimos	IX
Resumen	X
Abstract	XII
1. Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	3
1.3 Importancia del estudio	5
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivos específicos	6
2. Marco teórico	7
2.1 Definición de cuenca hidrográfica	7
2.2 Impacto de la actividad humana en las cuencas hidrográficas	7
2.3 Macroinvertebrados como indicadores de calidad del agua	8
2.4 Principales grupos de macroinvertebrados en ambientes de agua dulce e importancia como indicadores de calidad del ambiente	9
2.5 Índice de calidad de agua utilizando macroinvertebrados	11
3. Metodología	12
3.1 Ubicación de la zona de estudio	12

3.2 Descripción del área de estudio	13
3.3 Parámetros climáticos generales del área de estudio	13
3.4 Procedimiento metodológico	14
3.4.1 Materiales	14
3.4.2 Recolección de datos	15
3.4.2.1 Selección de los sitios de muestreo	15
3.4.2.2 Actividades de campo	16
3.4.2.3 Tratamiento de las muestras	17
3.4.2.4 Estimación de los índices de diversidad	17
4. Resultados	19
4.1 Características biofísicas de los sitios de estudio	19
4.2 Grupos taxonómicos encontrados según sitio de colecta	22
4.3 Principales índices para medir la calidad de agua del cauce	24
4.4 Índices biológicos determinados en la zona de estudio	24
5. Análisis de resultados	26
6. Conclusiones y recomendaciones	31
6.1 Conclusiones	31
6.2 Recomendaciones	32
7. Bibliografía	33
6. Anexos	36

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Resumen sinóptico-climático de la región Valle Central Occidental, Costa Rica	14
Cuadro 2. Ubicación de los sitios de muestreo de macroinvertebrados en el cauce del río La Paz durante enero/febrero 2017	15
Cuadro 3. Características biofísicas de los puntos de muestreo en el cauce del río La Paz. Enero/febrero 2017	19
Cuadro 4. Variables físicas observadas en los puntos de muestreo en el cauce del río La Paz. Enero/febrero 2017	21
Cuadro 5. Riqueza y abundancia de macroinvertebrados acuáticos colectados según sitio de muestreo en el cauce del río La Paz. Enero/febrero 2017.	22
Cuadro 6. Valor del índice de biodiversidad de Margalef, Simpson y Shannon para los cinco puntos de muestreo del río La Paz. Enero/febrero 2017	25

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Perímetro y área de la microcuenca del río La Paz, San Ramón, Costa Rica.	12
Figura 2. Ubicación de la microcuenca del río La Paz en los distritos del cantón de San Ramón, Costa Rica	13
Figura 3. Climograma de San Ramón, Alajuela.	14
Figura 4. Secuencia de actividades de campo y procesamiento de datos.	16
Figura 5. Distribución en porcentaje del total de individuos (n=490) y riqueza de especies de macroinvertebrados (n=24) en la cuenca del Río La Paz, Costa Rica.	23
Figura 6. Valores de BMWP-CR en los sitios de muestreo en el cauce del río La Paz. Enero/febrero 2017	24

ACRÓNIMOS

BMWP: Biological Monitoring Working Party

BMWP-CR: Biological Monitoring Working Party – Costa Rica

EPT: Ephemeroptera Plecoptera Trichoptera

FBI: Family Biotic Index

HBI: Índice biótico de Hilsenhoff

MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía

msnm: metros sobre el nivel del mar

SETENA: Secretaría Técnica Nacional

RESUMEN

Los índices de calidad de agua y de biodiversidad de Simpson, Margalef y Shannon son parámetros útiles para calificar la condición de ríos y lagos ante la intervención humana. Junto con otras metodologías podrían ser utilizados como herramientas para realizar evaluaciones objetivas de los recursos hídricos disponibles y, de esta manera, mejorar el aprovechamiento de los mismos en forma sostenible.

La microcuenca del río La Paz, ubicado en el cantón de San Ramón, Alajuela, Costa Rica, es uno de los muchos contribuyentes en la cuenca del río Barranca. Dada su ubicación y las condiciones inalteradas en la parte alta de su microcuenca podría considerarse una importante fuente de recursos hídricos para múltiples usos en la zona, algo destacable al formar parte de la segunda cuenca más deteriorada del país.

Se realizó una evaluación del cauce del río La Paz mediante la colecta directa de macroinvertebrados acuáticos en cinco puntos del cauce bajo diferentes niveles de intervención humana durante los meses de enero y febrero de 2017. En cada punto se hicieron mediciones de las condiciones ambientales de luminosidad, temperatura y velocidad del agua, además se atraparon los animales sumergidos observados en roca y hojarasca. Las muestras recogidas fueron analizadas y clasificadas hasta nivel taxonómico de género para posteriormente determinar varios índices de biodiversidad y calcular el índice de calidad de agua BMWP-CR para cada sitio muestreado.

Entre los resultados obtenidos se observó que en la parte alta el río posee aguas de alta calidad (aguas muy limpias) y una rica biodiversidad de macroinvertebrados, lo que evidencia las buenas condiciones ambientales del sitio según la presencia/ausencia de grupos sensibles a la contaminación. Conforme se realizaron los muestreos en otros puntos del cauce, donde el río ha atravesado sectores intervenidos por el ser humano, hay evidencia de reducción en la calidad del agua y alteración de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos presentes. Según el índice Biological Monitoring Working Party para Costa Rica (BMWP-CR) el río en su parte alta presenta calidad buena en sus aguas, en el sector medio 1 muestra condición regular y en el sector medio 2 y bajo del cauce poseen una calificación de mala para su recurso hídrico (Valores por debajo de 60, indicando aguas contaminadas).

Especies de insectos acuáticos sensibles a la contaminación, como los plecópteros, se observan en abundancia río arriba donde hay presencia de bosque, conformando el 25% de los organismos colectados. El cambio del entorno y la transformación en el uso del suelo altera las condiciones ambientales del cauce, eliminando especies sensibles a la contaminación y propiciando la dominancia de otros grupos tolerantes a modificaciones ambientales como simúlidos y planarias.

Para recuperar las condiciones óptimas del cauce y mejorar la calidad del agua que fluye por el río La Paz es fundamental recuperar el bosque ripario en los puntos donde está

ausente, reducir la contaminación por aguas con desechos domésticos e industriales, evitar la escorrentía y sedimentación y modificar los patrones de agricultura en la subcuenca.

Palabras claves: Índice de calidad de agua, macroinvertebrados acuáticos, recursos hídricos, biodiversidad.

ABSTRACT

Simpson, Margalef and Shannon's water quality and biodiversity indices are useful parameters for assessing the condition of rivers and lakes in the face of human intervention. In addition to other methodologies, they can be used as tools to carry out objective assessments of available water resources and, in this way, to improve the use of these water systems in a sustainable way.

Río la Paz microbasin, located in San Ramón, Alajuela, Costa Rica, is one of the many contributors to the Rio Barranca basin. Given its location and unaltered condition in the upper part of its micro-watershed, it could be considered an important source of water resources for multiple uses in the area, something remarkable since it forms part of the second most deteriorated basin in the country.

An evaluation of Río la Paz channel was carried out by means of the direct collection of aquatic macroinvertebrates in five points of the channel under different levels of human intervention during the months of January and February of 2017. At each point, measurements were made of the environmental conditions of temperature and the speed of water, and submerged animals were observed in rock and leaf litter. The collected samples were analyzed and classified up to genus taxonomic level to later determine several biodiversity indexes and calculate the Biological Monitoring Working Party index for Costa Rica (BMWP-CR) water quality index for each sampled site.

Among the results obtained, it was observed that in its upper part the river has high quality water (very clean waters) and a rich biodiversity of macroinvertebrates, which is evidence of the good environmental condition of the site according to the presence/absence of macroinvertebrate groups sensitive to pollution. As samples were taken at other points in the channel, where the river has crossed into sectors influenced by humans, there is evidence of a reduction in water quality and an alteration in the aquatic macroinvertebrate communities. According to the BMWP-CR, the river in its upper part presents good quality in its waters, in the lower part it shows a regular condition and in the sector under the channel it has a bad rating for its water resources (values below 60 indicates contaminated water).

Species of aquatic insects sensitive to pollution, such as plecoptera, are observed in abundance upstream where there is forest presence, making up 25% of the organisms collected. A change in the environment and the transformation in the use of the soil alters the environmental conditions of the channel, eliminating species sensitive to contamination and promoting the dominance of other groups tolerant to environmental modifications, such as simuliidae and dugesiidae.

To recover the optimal conditions of the river bed and improve the quality of the water flowing through the La Paz river, it is essential to recover the riparian forest at the points

where it is absent, to reduce water pollution with domestic and industrial waste, to avoid runoff and sedimentation, and to modify the patterns of agriculture in the sub-basin.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Las cuencas hidrográficas brindan a los seres humanos una serie de servicios imprescindibles para la vida. Muchas de las actividades humanas y la mayor parte de los recursos que se utilizan diariamente son obtenidos de las cuencas. El suministro mundial de agua dulce para usos doméstico, agrícola e industrial depende mucho de los caudales que se producen y regulan en las cuencas (FAO, s.f.). Así mismo, las acciones del ser humano generan un impacto negativo sobre las condiciones generales de las cuencas, causando un gradual deterioro de los servicios que aportan.

Los ecosistemas lóticos han sufrido múltiples impactos a lo largo del tiempo debido a las actividades humanas realizadas en los cursos de agua o en su zona de influencia. Millán y Araujo (2007) mencionan, por ejemplo, basureros a cielo abierto, manejo inadecuado de desechos sólidos y líquidos, caza ilegal y furtiva, tala legal e ilegal del bosque, deforestación, tráfico de flora y fauna y erosión de los suelos. La creación de represas para producción eléctrica, la extracción de agua para consumo y riego, así como la modificación del uso del suelo en las cuencas son algunas de las principales causas de alteración negativa en nuestros ríos. Según FAO (s.f.) la minería ha sido una industria importante en las tierras altas desde hace mucho tiempo. Se han construido centrales hidroeléctricas y presas en muchas cuencas hidrográficas en los últimos 50 años. La industria turística también ha proliferado, aprovechando paisajes naturales y culturales de las cuencas.

Actualmente muchas fuentes de agua que eran utilizadas para consumo se han contaminado y/o han visto reducido el volumen de líquido que aportan. Reduciendo así, con el paso del tiempo, los estándares de calidad del agua serán cada vez más difícil de lograr. Actividades como la agricultura y la urbanización modifican las características de la cobertura vegetal y afectan los patrones de escorrentía y la cantidad de sedimentos depositados en el cauce del río (García y Jiménez, 2006).

El uso de los ecosistemas acuáticos para suplir las necesidades de las diversas actividades humanas exige el monitoreo de las cuencas para garantizar el uso sostenible del recurso hídrico y la calidad del agua. Para ello los expertos toman datos en los cauces y subsuelo por medio de diferentes herramientas, muchas de tipo físicas, químicas y biológicas. Gracias a los avances tecnológicos se tienen equipos que miden las características fisicoquímicas del agua in situ y facilitan el análisis de los parámetros fisicoquímicos.

Como una forma de evaluación del impacto humano en los cauces se emplea la metodología de colecta de macroinvertebrados acuáticos. La utilización de dichos indicadores biológicos o bioindicadores se basa en el análisis de la alteración de la comunidad de organismos que habitan los ecosistemas fluviales frente a una perturbación

determinada (Ladrera, 2012). Para ello se determina la riqueza y abundancia en estos organismos en los ecosistemas como ríos, riachuelos y lagos. Estos seres vivos, principalmente insectos, presentan una fase en la cual viven dentro o sobre la masa de agua de los ríos y quebradas. Por ello son susceptibles a los cambios en la calidad del agua y son excelentes bioindicadores, brindando un panorama de las condiciones del ecosistema a lo largo del tiempo.

Múltiples autores (Hurtado, García y Gutiérrez, 2005; Barba-Álvarez, De la Lanza-Espino, Contreras-Ramos y González-Mora, 2013; Endara, 2012; Reinoso, Guevara, Vejarano, García y Villa, 2008; Alonso y Camargo, 2005, entre otros) han evaluado la calidad del agua de ríos y quebradas por medio de muestreos de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en estos ecosistemas. En los ríos y quebradas de América Latina ha sido ampliamente utilizado este método utilizando diversos índices que dan un valor numérico a los taxones encontrados a través de muestreos y facilita el cálculo de una calificación para la calidad del agua.

Múltiples índices se han utilizado para determinar la calidad del agua en los cauces de ríos y quebradas, siendo el más común el BMWP. Giacometti y Bersosa (2006) han determinado la calidad de las aguas en ríos ecuatorianos utilizando esta técnica. También se puede utilizar las estrategias de valoración FBI y EPT. Otra estrategia utiliza el HBI para este tipo de estudios (Barba-Álvarez, De la Lanza-Espino, Contreras-Ramos y González-Mora, 2013). Springer (2010) recomienda que al utilizar índices estos deben adaptarse a las condiciones ecológicas de cada país antes de su aplicación.

En Costa Rica se ha aplicado esta metodología para analizar la calidad del agua en varios cauces. Esto se ha hecho para valorar el impacto ambiental de proyectos hidroeléctricos, mineros y agrícolas (Springer, 2010). Guevara (2011) lo utilizó en el río Peñas Blancas para determinar el impacto de la represa hidroeléctrica del Instituto Costarricense de Electricidad en la zona. Para ello utilizó el índice BMWP-CR que es una adaptación de dicha herramienta para los ecosistemas lóticos costarricenses.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Día con día los países latinoamericanos ven crecer su población y con ello sus requerimientos de recursos naturales, como el agua, aumentan. El crecimiento de las zonas urbanas, la deforestación, el cambio climático –entre otras causas- ha llevado a una reducción de las fuentes de agua limpia para uso humano. Costa Rica no se escapa de esta triste realidad y hoy en día los recursos hídricos se encuentran en niveles críticos en muchas zonas del país, principalmente aquellas con altas densidades demográficas.

La región occidental del Valle Central, donde se ubican los cantones de San Ramón, Palmares, Naranjo, entre otros, han experimentado un alto crecimiento demográfico sin planificación, acompañado de un deterioro gradual de las zonas boscosas locales y una alteración en los patrones de lluvia producto de la variación climática. Con ello las fuentes de agua se han visto sobre explotadas y durante la estación seca de la zona se tornan críticos los niveles de abastecimiento de líquido en las zonas urbanas de estos municipios.

Las fuentes de agua utilizadas actualmente en la zona no dan abasto a las exigencias de consumo de las comunidades locales en los meses secos, que van de noviembre a abril. Con ello hay posibilidades de un aumento de la presión antrópica sobre otras fuentes de agua aún no explotadas y que se encuentran vulnerables.

Algunas cuencas que no han sido altamente explotadas y podrían ser utilizadas como fuente de agua para consumo humano y actividades agrícolas e industriales se ubican en el extremo oeste del cantón de San Ramón. Esta zona es altamente montañosa y la densidad poblacional es baja por encontrarse en los linderos de la Cordillera Volcánica de Tilarán donde la topografía no ha permitido el crecimiento urbano ni otro uso del suelo. Aquí nacen una serie de ríos que se nutren de las fuertes lluvias y la neblina imperante en bosques nubosos de montaña durante los meses de abril a noviembre. Uno de estos cauces pertenece al llamado río La Paz.

La microcuenca del río La Paz se ubica en el cantón de San Ramón, Costa Rica, abarcando los distritos de Piedades Norte y Ángeles. Su cauce principal inicia en una zona boscosa inalterada y con fuertes pendientes en el extremo oriental de la Cordillera de Tilarán. A su paso atraviesa bosques secundarios, áreas de cultivos y pequeños poblados hasta desembocar en el río Barranca. El río La Paz se presenta con un gran potencial hídrico, tanto para la actividad agrícola e industrial que se desarrolla en sus riveras como para el consumo humano. Los recursos hídricos de esta zona representan una alternativa viable para obtener agua de uso múltiple ante la variación climática actual y la reducción de otras fuentes de líquido ya explotadas en la zona. Sin embargo, no hay evidencias que determinen el impacto de las actividades humanas en esta microcuenca, principalmente en la calidad del agua en el cauce principal de la misma por ninguno de los métodos citados.

Como una medida para la gestión adecuada del recurso hídrico en la microcuenca del río La Paz es fundamental conocer las características del mismo y tomar las medidas

necesarias para mitigar el impacto humano. Para ello se propone aplicar la metodología del uso de los macroinvertebrados como indicadores biológicos en la elaboración de una evaluación rápida de la calidad de agua de un cauce. A partir de la presencia/ausencia de estos organismos se puede emitir criterios para proponer estrategias adecuadas para conservar o mejorar la calidad del agua en la unidad hidrográfica. El uso de índices de calidad del agua es una herramienta comunicativa y entendible para los diferentes actores involucrados en el manejo y la gestión del recurso hídrico (Zhen-Wu 2010).

1.3 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

La zona de occidente tiene una severa carencia de agua para abastecimiento humano. Los habitantes de la zona experimentan cortes frecuentes del servicio debido a la reducción del caudal en las nacientes, poca disponibilidad del líquido y aumento de la población. Esta situación se agrava principalmente en la temporada seca. Durante esta estación hay cortes frecuentes en las ciudades de San Ramón y Palmares porque los acuíferos presentes no dan abasto (Avendaño, 2015). Es por ello que hay una imperiosa necesidad de evaluar y buscar nuevas opciones para brindar agua a las poblaciones circunvecinas.

Algunas microcuencas ubicadas en el sector occidental del cantón ramonense podrían servir como fuentes de líquido para consumo humano, riego y procesos industriales. En esta zona hay aún una alta cobertura boscosa que, junto con la topografía y clima locales, funcionan como un importante centro de captación de agua. Entre ellos podemos mencionar la microcuenca del río La Paz, que forma parte de la cuenca del río Barranca, siendo uno de sus principales afluentes.

Estudios previos son necesarios para valorar la importancia en algunas cuencas que permitan la obtención de agua con fines múltiples. Los índices con macroinvertebrados son un punto de partida útil que puede, incluso, ser monitoreado por miembros de la comunidad para avanzar hacia otros análisis de mayor complejidad y costos económicos que permitan valorar las fuentes de agua dentro de la microcuenca ante los requerimientos de líquido en el futuro próximo. A partir de la calidad del agua en los cauces podemos detectar posibles focos de contaminación a nivel subterráneo y los eventos humanos que alteran la calidad del suelo y agua en la región.

El presente proyecto tiene como fin aplicar técnicas de muestreo y análisis de los macroinvertebrados acuáticos presentes en el cauce principal del río La Paz con el fin de elaborar una evaluación sobre la calidad del agua. Estos datos podrán servir de apoyo en el plan de gestión integral de la cuenca del río Barranca. También puede brindar insumos como una línea base para el monitoreo por parte de la comunidad mediante un plan integral de gestión de la microcuenca.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad del agua en el río La Paz en la parte alta, media y baja, mediante la metodología de macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad del agua para proponer estrategias de manejo.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar los principales taxones de macroinvertebrados existentes en el cauce del río La Paz a partir del muestreo en varios puntos del mismo.
2. Calificar la calidad del agua superficial en varios puntos del cauce del río La Paz a partir de índices bajo la metodología de muestreo y clasificación de macroinvertebrados.
3. Proponer acciones para el mejoramiento de la calidad del agua en el cauce del río La Paz a partir de los índices utilizados.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 DEFINICIÓN DE CUENCA HIDROGRÁFICA

Las cuencas hidrográficas son vitales para el desarrollo humano y el establecimiento de la vida en la tierra. Faustino y Jiménez (2000) definen la cuenca hidrográfica como el espacio de terreno limitado por las partes más altas de las montañas, laderas y colinas, en él se desarrolla un sistema de drenaje superficial que concentra sus aguas en un río principal el cual se integra al mar, lago y otro río más grande.

Dentro de las cuencas hidrográficas se ubican los recursos naturales utilizados por el ser humano, como el suelo, agua, vegetación y fauna. Además, todas las actividades humanas en tierra firme se desarrollan dentro de las cuencas hidrográficas. Por tanto, las cuencas sufren los impactos negativos de las acciones del hombre sobre ellas.

2.2 IMPACTO DE LA ACTIVIDAD HUMANA EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Los sistemas de agua dulce (lénticos y lóticos) más que ningún otro ecosistema son sensibles a modificaciones antrópicas (Lozano, 2005). Los ríos, riachuelos y lagos han sufrido el impacto de las actividades humanas durante muchos años. En las últimas décadas los ecosistemas acuáticos han tenido una fuerte presión humana, debido a las actividades agrícolas, crecimiento urbano, deforestación, fragmentación del hábitat, cambios del sustrato por la remoción y extracción de materiales, ingreso de aguas servidas, actividad petrolera, etc., todo esto afectando la calidad del agua (Dominguez y Fernández, 2009, mencionados por Endara, 2012).

A través de los años los sistemas de agua dulce han sido usados como depósitos de desechos, tanto líquidos como sólidos. Esto ha generado un importante impacto en las poblaciones de organismos reduciéndolas o eliminándolas de los ecosistemas. Dentro de estas comunidades, se encuentran los macroinvertebrados bénticos, representados por un gran número de especies que realizan interacciones biológicas importantes con el medio acuático (Lozano, 2005). Los posibles efectos de una alteración de las condiciones del medio donde una comunidad habita pueden evidenciarse a diferentes niveles. Si la perturbación es muy grande (por ejemplo, una contaminación por vertidos domésticos que agota el oxígeno del agua) los efectos se notan a nivel de la comunidad entera con la única presencia de unas pocas especies tolerantes (Prat, Ríos, Acosta, Rieradevall, 2009)

Son muchos los impactos por acciones humanas al ecosistema fluvial y su entorno que alteran la composición biológica. Ladrera (2012) indica principalmente los siguientes:

- Contaminación del agua, principalmente por los vertidos de núcleos urbanos e industriales.
- Eutrofización y consecuente pérdida de oxígeno dado el aumento en los nutrientes en el agua, principalmente nitratos provenientes de actividades agrícolas y ganaderas y los fosfatos aportados por los detergentes.
- Pérdidas de hábitats y homogenización del cauce por acciones humanas como minería, extracción de materiales, tala del bosque de ribera, etc.
- Alteraciones del régimen del caudal por la extracción para riego, consumo humano y producción hidroeléctrica principalmente.
- Especies invasoras.
- Alteraciones del bosque de ribera, desestabilizando los márgenes de los ríos, reduciendo la capacidad de captar sedimentos y pérdida de hábitats para muchos seres vivos

2.3 MACROINVERTEBRADOS COMO INDICADORES DE CALIDAD DE AGUA

Existen varios tipos de indicadores biológicos de ecosistemas fluviales, como microorganismos, macrófitos o peces. Sin embargo, uno de los grupos más ampliamente utilizados son los macroinvertebrados acuáticos (Ladrera, 2012). Gracias a sus atributos, los macroinvertebrados acuáticos presentan diversas ventajas para la evaluación de la calidad del agua, entre la cuales destacan: su sensibilidad a los diversos contaminantes, reaccionan relativamente rápido a los cambios del entorno. Son omnipresentes, aprovechan prácticamente todos los hábitats disponibles, además son abundantes y relativamente fáciles de recolectar. Su taxonomía está bien establecida en la mayoría de los casos; los macroinvertebrados bentónicos en su mayoría son sedentarios y representativos de las condiciones locales, tienen ciclos de vida largos, permiten esclarecer cambios temporales ocasionados por alguna perturbación, sus comunidades son heterogéneas, con una alta riqueza taxonómica y distintos grupos funcionales, por lo que ofrecen un espectro amplio de respuestas a diferentes afectaciones (Cook, 1976; Plafkin et al., 1989; Rosenberg y Resh, 1993, mencionados por Barba-Álvarez, De la Lanza-Espino, Contreras-Ramos y González-Mora, 2012)

Se denominan macroinvertebrados acuáticos a aquellos invertebrados con un tamaño superior a 500 μm , entre los que se incluyen animales como esponjas, planarias, sanguijuelas, oligoquetos, moluscos o crustáceos (Ladrera, 2012). No obstante, el grupo de invertebrados acuáticos más ampliamente distribuido en las aguas dulces es el de los insectos. En estos los estados inmaduros (huevos y larvas) son acuáticos, mientras los adultos son terrestres. Ladrera (2012) destaca a los efemenópteros, plecópteros, odonatos, hemípteros, coleópteros, tricópteros y dípteros por su distribución y abundancia.

Lozano (2005) comenta que los macroinvertebrados acuáticos se consideran actualmente como los mejores bioindicadores de la calidad del agua, debido a su tamaño,

a su amplia distribución y a su adaptación a diferentes variables fisicobióticas. En los últimos años el concepto de la calidad de las aguas ha ido cambiando de un enfoque fisicoquímico a otro que integre todos los componentes del ecosistema. Se considera que un organismo es buen indicador de calidad de agua cuando se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población es superior al resto de los organismos con los que comparte el mismo hábitat (Roldán, 2001, mencionado por Lozano, 2005).

Ladrera (2012) menciona algunas ventajas de usar los macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua. Entre ellas tenemos:

- a. Su elevada diversidad.
- b. Son relativamente fáciles de muestrear.
- c. Los diferentes taxones presentan requerimientos ecológicos diferentes.
- d. Los protocolos de muestreo y elaboración de índices están bien estandarizados.
- e. Posen un tiempo de vida relativamente largo, que permite integrar los efectos de la contaminación en el tiempo.

No todos los macroinvertebrados sufren alteraciones poblacionales ante los problemas de contaminación. Para estos casos se usa el concepto de biomarcador, el cual mide a nivel estructural o funcional el efecto de las perturbaciones sobre el organismo desde el punto de vista individual (Prat, Ríos, Acosta y Rieradevall, 2009).

Es necesario mencionar que frente al concepto de organismo indicador (según el cual si tal especie está presente el agua es de buena/mala calidad), hoy en día se ha evolucionado conceptualmente utilizándose el concepto de comunidad indicadora en los diferentes y múltiples métodos e índices que actualmente están siendo utilizados y que son de obligado cumplimiento en diferentes países europeos y estados de Norteamérica. Al tener en cuenta a toda una comunidad se minimizan los errores y se multiplica la capacidad de detección de alteraciones (Alba-Tenedor 1996)

2.4 PRINCIPALES GRUPOS DE MACROINVERTEBRADOS EN AMBIENTES DE AGUA DULCE E IMPORTANCIA COMO INDICADORES DE CALIDAD DEL AMBIENTE

Los phylum más comunes a encontrar en agua dulce son Coelenterata, Platyhelminthes, Nematomorpha, Annelida, Mollusca y Arthropoda. Los artrópodos, y principalmente la clase Insecta, corresponde al grupo más numeroso en los muestreos hechos en ríos y lagos, llegando a alcanzar el 70-90% de los especímenes colectados en estos sitios (Endara, 2012).

Los coelenterados de agua dulce, conocidos comúnmente como hidras, son indicadores de buena calidad ambiental al preferir aguas duras y bien oxigenadas (Roldán, 1988). Se les encuentra adheridos a rocas, vegetación acuática o troncos sumergidos.

La mayoría de oligoquetos (filo Annelida) prefieren aguas eutroficadas, sobre fondo fangoso y con abundante detrito (Roldán, 1988). Por ellos son organismos abundantes en ecosistemas contaminados con materia orgánica y aguas negras donde el oxígeno es escaso, siendo excelentes indicadores de aguas con estas condiciones.

Las sanguijuelas (filo Annelida, clase Hirudinea) los encontramos en aguas quietas o con poco movimiento, sobre troncos, rocas y residuos vegetales. Son abundantes en ambientes con abundante materia orgánica en descomposición, siendo indicadores de aguas eutroficadas por contaminación orgánica (Roldan, 1988).

La clase Insecta corresponde al grupo más numeroso de animales en el planeta. Muchos órdenes de insectos poseen una etapa acuática o pasan su vida entera sumergidos en estos ecosistemas. A continuación, se describen los órdenes de insectos acuáticos mejor conocidos y de mayor importancia para utilizar como bioindicadores:

Los efemenópteros son insectos que viven en aguas corrientes, limpias y bien oxigenadas. Solo algunas especies resisten cierto grado de contaminación (Roldán, 1988). Son considerados indicadores de buena calidad de agua. Las etapas de ninfa pueden recolectarse sobre rocas, vegetación o materia orgánica sumergida principalmente.

El grupo de las libélulas (orden Odonata) acostumbra vivir en pozos, lagos, pantanos y corrientes lentas donde exista abundante vegetación sumergida. Roldán (1988) los presenta como animales que prefieren aguas limpias o ligeramente eutroficadas.

El orden Plecoptera es el grupo que presenta la menor cantidad de especies entre los insectos acuáticos utilizados como bioindicadores. Gustan de vivir en aguas rápidas, bien oxigenadas, debajo de piedras, troncos y ramas. Son un excelente indicador de aguas muy limpias y oligotróficas (Roldán, 1988).

Al igual que los plecópteros, los neurópteros (Orden Neuroptera) posee pocas especies que vivan en ecosistemas acuáticos. Viven en corrientes limpias debajo de piedras, troncos y vegetación. Se pueden considerar indicadores de aguas oligotróficas o levemente mesotróficas.

Las chinches de agua (Orden Hemiptera) viven en remansos de ríos y quebradas; poco resisten las corrientes rápidas. Son frecuentes también en ciénegas, lagos y pantanos. Algunas especies resisten cierto grado de salinidad y las temperaturas de las aguas termales (Roldán, 1988). La mayoría de chinches de agua son indicadores de ecosistemas oligomesotróficos principalmente.

Los coleópteros están representados por varias familias con hábitos acuáticos y semiacuáticos. Roldán (1988) menciona que viven tanto en aguas lólicas como lénticas y en todo tipo de sustratos. Prefieren las aguas limpias con altas concentraciones de oxígeno y temperaturas medias, aunque algunos grupos se adaptan a ambientes más extremos dados sus mecanismos que les permite tomar oxígeno del aire.

Un grupo de insectos que ha sido visto como un buen indicador de aguas limpias son los tricópteros (Orden Trichoptera). La mayoría vive en aguas corrientes y bien oxigenadas, debajo de piedras, tronco y materia vegetal. Algunas especies viven en aguas quietas y remansos de ríos (Roldan 1988).

Quizás el grupo que presenta la mayor variedad en cuanto a tolerancia a la contaminación acuática sean los dípteros que se encuentran en ríos, arroyos, quebradas y lagos a todas profundidades. Roldan (1988) anota la existencia de representantes de aguas muy limpias, mientras que otros, como Tipulidae y Chironomidae, predominan en ambientes contaminados.

2.5 ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA UTILIZANDO MACROINVERTEBRADOS

Los índices bióticos son una de las maneras más comunes de establecer la calidad biológica de los ríos. Se suelen expresar en forma de un valor numérico único que sintetiza las características de todas las especies presentes. Habitualmente consisten en la combinación de dos o tres propiedades de la asociación: la riqueza de taxa y la tolerancia/intolerancia a la contaminación para los índices cualitativos, y estos junto a la abundancia (absoluta o relativa) para los índices cuantitativos (Prat, Ríos, Acosta, Rieradevall, 2009).

Los índices más ampliamente usados para sistemas lóticos (ríos y riachuelos) y lénticos (lagos, lagunas) son el índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) que se adapta a cada país o región según sus características ecológicas y el Índice Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera (EPT) (Carrera y Fierro, 2001, mencionado por Endara, 2012), los cuales son útiles en el análisis de la calidad del agua, debido a que necesitan bajo nivel taxonómico (familia), bajo costo en términos de tiempo (identificación de insectos) y dinero, convirtiéndose en metodologías rápidas y útiles para ser utilizadas en la fiscalización por parte de algún organismo público que requiera en poco tiempo y de una forma acertada evaluar la calidad del agua de una cuenca hidrográfica determinada (Roldán, 2003, mencionado por Endara, 2012).

El índice BMWP combina el número de taxa totales con un valor de tolerancia/intolerancia, pero en este caso el nivel taxonómico es el de familia y el valor final se obtiene de una sumatoria de los valores de intolerancia de cada una de las familias, que van de 0 a 10. El índice se incrementa cuantas más familias intolerantes haya, aunque pueden darse valores altos con muchas familias de puntuación intermedia (Prat, Ríos, Acosta, Rieradevall, 2009).

3. METODOLOGÍA

3.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en el cauce del río La Paz, ubicado entre los distritos de Piedades Norte y Ángeles en el cantón de San Ramón. (figura 1). Esta microcuenca forma parte de la cuenca del río Barranca, el cual desemboca en el golfo de Nicoya. Dada la cercanía con importantes núcleos de población y la calidad ambiental en la parte alta de la microcuenca, esta zona podría considerarse como una fuente de agua de buena calidad para actividades humanas de uso múltiple.



Figura 1. Perímetro y área de la microcuenca del río La Paz, San Ramón, Costa Rica.

Fuente: Google Earth

El distrito de Piedades Norte posee 9039 habitantes (INEC, 2011.). Todos sus poblados y caseríos importantes se encuentran dentro de la microcuenca del Río La Paz (figura 2), entre ellos: La Esperanza, Bajo Zúñiga (comunidad ubicada entre Piedades Norte y Ángeles), Piedades Norte, La Paz y Bajo La Paz.

El distrito Ángeles posee 9293 habitantes (INEC, 2011.), pero pocas comunidades se ubican dentro del área de influencia de la microcuenca en estudio (Figura 2), entre ellas: Bajo Zúñiga, Ángeles Sur (ubicada en el límite entre la microcuenca del río La Paz y el río Barranca) y Ángeles Norte (localizada entre la microcuenca del río La Paz y los ríos Barranca y La Balsa).

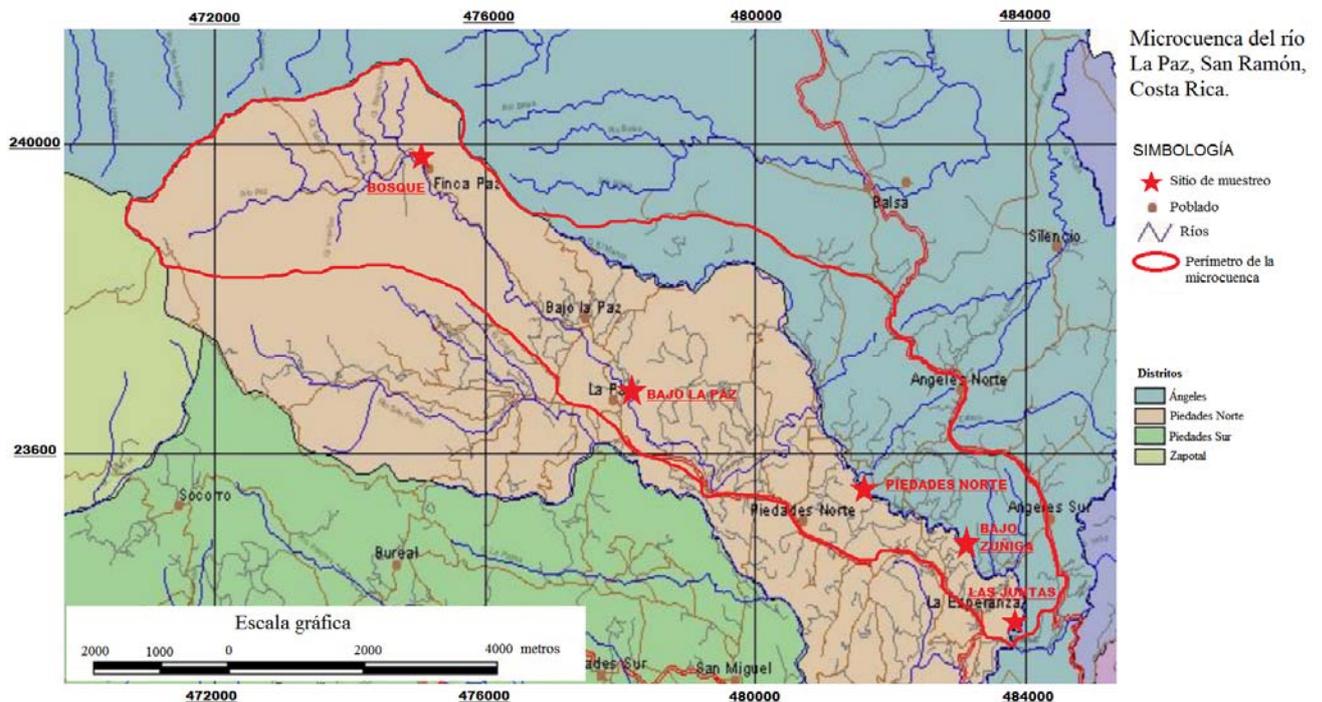


Figura 2. Ubicación de la microcuenca del río La Paz en los distritos del cantón de San Ramón, Costa Rica. Los límites de la unidad hidrográfica se muestran como una línea de color rojo y se definen los puntos de muestreo.

Fuente: Municipalidad de San Ramón.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La longitud del cauce es de 19,7 km, con variaciones altitudinales que van desde los 1264 msnm hasta los 970 msnm en la desembocadura en el río Barranca. El área total de la microcuenca es 39,44 km².

En la parte alta, correspondiente a la región occidental de la microcuenca, predomina la cobertura de bosque con algunas zonas dedicadas a pastos. La topografía en este sector del río es muy quebrada, siendo la ganadería y producción de caña de azúcar las actividades económicas más comunes.

Cerca del cauce principal se ubican dos poblados importantes dada la cantidad de viviendas existentes: Bajo La Paz y Bajo Zúñiga. La primera es una comunidad dedicada a la producción de caña de azúcar, ganadería y café. En la segunda predomina el cultivo de hortalizas y café junto con actividad ganadera.

3.3 PARÁMETROS CLIMÁTICOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

La microcuenca del río La Paz se ubica cerca de la costa pacífica de Costa Rica. Por tanto, se ve influenciado por los fenómenos climáticos de esta región y su patrón de lluvias es muy similar a los que se observan en la región Pacífico Central. La época seca va desde noviembre hasta abril y la temporada lluviosa se extiende de mayo a noviembre. En la ciudad de San Ramón (punto más cercano donde se ubica una estación meteorológica) el mes más seco corresponde a febrero, con 7 mm, y setiembre corresponde al mes más lluvioso con 409 mm (figura 3).

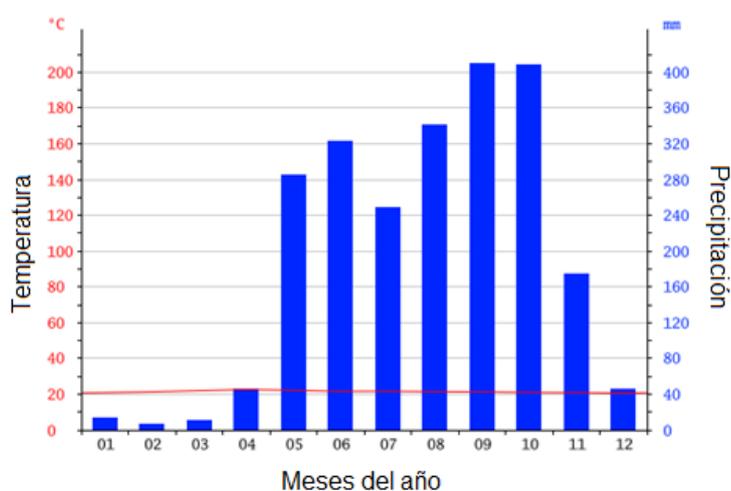


Figura 3. Climograma de San Ramón, Alajuela. El eje horizontal corresponde a los meses del año.

Fuente: climate-data.org

Los datos climáticos generales para el Valle Central Occidental, zona donde se ubica la microcuenca, se resumen en el cuadro 1.

Cuadro 1. Resumen sinóptico-climático de la región Valle Central Occidental, Costa Rica, para el año 2001.

Parámetro	Lluvia media anual (mm)	T. Máx Media Anual (°C)	T. Min Media Anual (°C)	T. Media Anual (°C)	Promedio de días de lluvia	Duración del período seco (meses)
Dato	1950	27	18	22	129	5

Fuente: Solano y Villalobos, s.f.

3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

3.4.1 MATERIALES

- Cronómetro.
- Pinzas para colecta de insectos.

- Viales para conservar macroinvertebrados.
- Alcohol al 70%
- Termómetro.
- Objeto flotante.
- Cinta métrica.

3.4.2 RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.2.1 SELECCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO

Se establecieron cinco puntos de muestreo en el cauce, seleccionados según factibilidad de acceso y nivel de afectación del agua por factores humanos. Cada sitio de colecta fue definido para medir el impacto de actividades agrícolas e industriales y por la cercanía a viviendas en la zona, para ello se hicieron dos visitas previas para seleccionar los puntos idóneos de toma de datos. Otros sitios podrían cumplir las condiciones para la recolección de organismos, pero por su dificultad de acceso no fueron considerados para este estudio.

Por factibilidad de acceso se entiende como la facilidad de llegar hasta el cauce del río sin que existan limitaciones por propiedades colindantes o accidentes geográficos. En los cinco puntos los sitios de colecta se ubican a la orilla de una vía pública.

Sobre el nivel de afectación por actividades agrícolas se entiende como el impacto de la sedimentación, extracción de líquido, caída de plaguicidas y otros agroquímicos, entre otras razones, sobre el cauce. Dado que la microcuenca posee muchas zonas dedicadas al cultivo de caña de azúcar, café, pastos y hortalizas se procuró cuantificar los macroinvertebrados presentes en un punto posterior a estos sitios para cuantificar su impacto en la calidad del agua. Los sitios de muestreo llamados zona media 2 y zona baja 2 se eligieron con este fin. La zona alta se ubicó en un punto donde el cauce no haya sufrido efectos por actividades humanas, es decir, que se encontrara dentro de una zona boscosa inalterada.

Por cercanía a viviendas se define como la concentración de hogares en las cercanías del cauce y potenciales focos de contaminación por aguas residuales y desechos sólidos. Los puntos de muestreo llamados zona media 1 y zona baja 1 se seleccionaron para medir el efecto de las viviendas y sus aguas residuales en las comunidades de Bajo La Paz y Bajo Zúñiga respectivamente.

Los sitios de muestreo elegidos se indican en el cuadro 2.

Cuadro 2. Ubicación de los sitios de muestreo de macroinvertebrados en el cauce del río La Paz durante enero/febrero 2017.

Sitio	Ubicación y criterio de afectación del cauce	Latitud	Longitud	Altitud

Zona alta (Bosque)	Parte alta de la cuenca, donde el río se encuentra en la zona boscosa.	10°10'10" N	84°34'14" O	1236 m.s.n.m.
Zona media 1 (Bajo La Paz)	Posterior al poblado de La Paz, junto a la plaza de deportes.	10°08'56" N	84°31'54" O	1098 m.s.n.m.
Zona media 2 (Piedades Norte)	Posterior a las zonas de producción de caña de azúcar, previo a su ingreso al poblado de Bajo Zúñiga, junto al puente que comunica con Piedades Norte.	10°08'45" N	84°30'20" O	1038 m.s.n.m.
Zona baja 1 (Bajo Zúñiga)	Posterior al poblado de Bajo Zúñiga, junto al puente.	10°08'02" N	84°29'30" O	1007 m.s.n.m.
Zona baja 2 (Las Juntas)	En el punto donde el río La Paz se une con el río Barranca.	10°07'06" N	84°28'45" O	974 m.s.n.m.

Fuente: Autor

3.4.2.2 ACTIVIDADES DE CAMPO

La secuencia de actividades de campo se describe en la figura 4 a continuación:

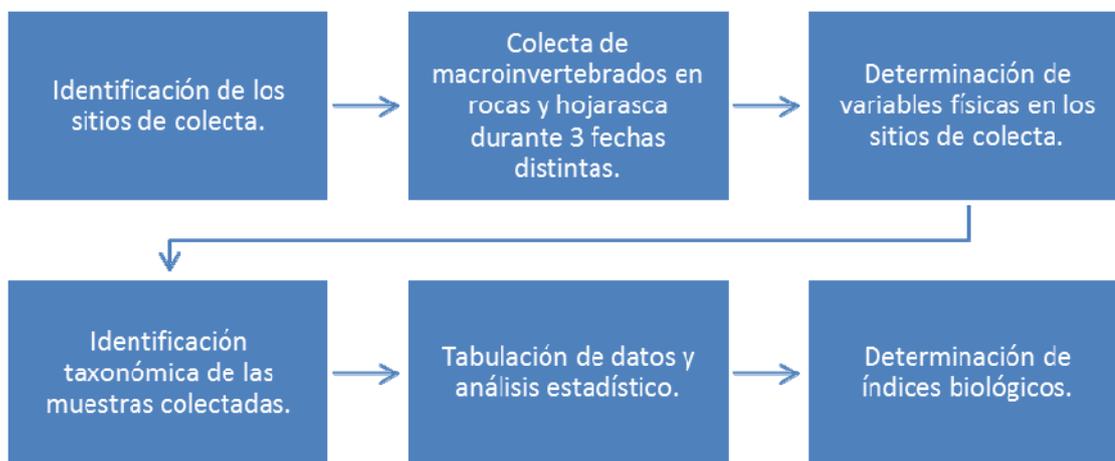


Figura 4. Secuencia de actividades de campo y procesamiento de datos.

Para la colecta de macroinvertebrados acuáticos se realizaron tres muestreos en cada sitio en fechas diferentes con una repetición por sustrato (hojarasca y roca) en todos los casos, según el protocolo propuesto por Pinheiro et al. (2004) mencionado por González, Ramírez, Meza y Días (2012). En todos los lugares de colecta el muestreo fue durante 15 minutos por cada sustrato, sumando en total 90 minutos por sitio. La toma de datos siempre se hizo en horas de la mañana, entre 8:00 y 10:00 am, donde los aspectos

relevantes fueron anotados con una hoja de campo diseñada para tal fin (Anexo 1). Cada sitio fue visitado para la toma de datos de campo durante los meses de enero y febrero.

Se atraparon todos los individuos observados sobre rocas con pinzas finas para depositarlos en viales con solución de alcohol al 70%. Las rocas son revisadas visualmente fuera del agua, colectando todos los organismos que se mueven. Para la colecta en hojarasca se usa un recipiente de color blanco donde se coloca una cantidad considerable de hojas para, posteriormente, revisar la presencia de organismos. En todos los casos no fue considerado el efecto del borde en el cauce y las colectas se hicieron en la parte central del canal del río gracias a que los volúmenes de agua son bajos en la época en estudio y la profundidad es poca en las zonas de colecta.

En cada punto de muestreo se midieron las siguientes variables físicas:

- Temperatura del agua
- Turbidez del agua.
- Velocidad.

La temperatura se tomó en tres puntos utilizando un termómetro tradicional sumergido durante un minuto en el agua. Los valores obtenidos se promediaron para obtener una temperatura media. Esto se hizo en cada punto durante cada muestreo. La temperatura es importante porque brinda una idea de la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto.

La turbidez del agua se indicó mediante una valoración cualitativa, indicando si el punto de muestreo presenta agua turbia o cristalina a la hora de recolectar los macroinvertebrados.

Para medir la velocidad se colocó un objeto flotante en un punto y se midió el tiempo de su desplazamiento hasta otro punto previamente establecido a una distancia conocida. Una vez se contó con estos dos datos se procedió a dividir el valor de la distancia recorrida entre el tiempo para determinar la velocidad. Esta medición se hizo tres veces en cada punto de muestreo y se reportó un promedio de los mismos.

3.4.2.3 TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Las muestras fueron conservadas en alcohol al 70% y separadas según grupo taxonómico. La determinación de los taxos se hizo a nivel de género, se empleó para ello claves taxonómicas de Roldán (1988). El material colectado se depositó en la colección zoológica de la Sección de Biología de la Universidad de Costa Rica en San Ramón.

3.4.2.4 ESTIMACIÓN DE LOS ÍNDICES DE DIVERSIDAD

Para estimar la diversidad de macroinvertebrados bentónicos se utilizaron índices de dominancia de Simpson, de diversidad de Margalef y de equidad de Shannon utilizando el número de individuos encontrados separados por género.

El índice de dominancia de Simpson es uno de los parámetros que permite medir la riqueza de organismos y cuantificar la biodiversidad en un hábitat a partir de un número determinado de morfoespecies y su abundancia relativa. Mide la probabilidad de que dos individuos de la población extraídos al azar sean de la misma especie (Del Río, Montes, Cañellas y Montero, 2003). Cuanto más se acerca el valor de este índice de dominancia a la unidad existe mayor posibilidad de dominancia de una especie y de una población. Cuanto más se acerque el valor a cero mayor es la biodiversidad del hábitat. Para obtener el índice de diversidad de Simpson se le resta a la unidad el valor del índice de dominancia.

El índice de equidad de Shannon se utiliza para medir la biodiversidad específica en un sitio. Se expresa con un número positivo que en la mayoría de los ecosistemas varía entre 0,5 y 5, siendo su valor normal entre 2 y 3. Valores inferiores a 2 se consideran bajos en biodiversidad y superiores a 3 son altos en diversidad de especies. La ventaja de un índice de este tipo es que no es necesario identificar las especies presentes; basta con poder distinguir unas de otras para realizar el recuento de individuos de cada una de ellas y el recuento total. El índice de Shannon viene dado por la expresión $H' = -\sum p_i \cdot \log_2(p_i)$ donde p_i es la abundancia relativa de cada especie (en número de especies o en cobertura). Este índice aumenta con el número de especies presentes y toma mayores valores cuando las proporciones de las distintas especies son similares (Del Río et al, 2003)

El índice de Margalef es una medida utilizada en ecología para estimar la biodiversidad de una comunidad con base a la distribución numérica de los individuos de las diferentes morfoespecies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada. Los análisis valoraron tanto los géneros encontrados como su frecuencia en cada punto de muestreo. El índice de diversidad de Margalef se estima con la ecuación $D_a = (s-1)/\text{Log}N$ donde s es el número de especies y N es el número total de individuos (Alanís, Jiménez, Aguirre, Treviño, Jurado y González, 2008)

Para cada sitio de colecta se estimó el índice BMWP-CR modificado por Springer (2010) para Costa Rica (Anexo 2). Este índice otorga un valor a cada familia de macroinvertebrados basado en su sensibilidad a la contaminación. A mayor tolerancia menor será su valor para efectos de cálculo. No se toma en cuenta la abundancia de organismos de una familia, solamente se utiliza su presencia/ausencia.

A partir de los índices obtenidos y las observaciones de campo se hizo una valoración de la calidad del agua en el cauce para cada sitio y sus posibles fuentes de contaminación, si los hubiera.

Con el fin de controlar las variables de campo se hicieron todas las colectas en el mismo punto en las tres visitas hechas a cada sitio y siempre a la misma hora del día. Sin embargo se tienen algunas limitaciones del estudio, entre los cuales se tienen:

- La falta de colectas en otras épocas del año.

- Posibles alteraciones climáticas entre cada fecha de colecta.
- Alteraciones poblacionales por ciclos naturales de vida de algunos organismos acuáticos.

4. RESULTADOS

4.1 CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS DE LOS SITIOS DE ESTUDIO

Los sitios elegidos para la toma de datos en el cauce del río fueron seleccionados basados en criterios de acceso y representatividad de las condiciones propias del cauce (cuadro 3). El río La Paz atraviesa una zona donde los impactos por actividades humanas son más evidentes conforme el agua avanza por el cauce del río La Paz.

Cuadro 3. Características biofísicas de los puntos de muestreo en el cauce del río La Paz. Enero/febrero 2017.

Sitio	Características biofísicas	Imagen del sitio de muestreo
Zona alta	<p>Parte alta de la microcuenca. Zona con baja perturbación antrópica, en el cual el uso del suelo dominante es el bosque que se localiza en la naciente del río. En el recorrido previo a este punto el cauce ha recorrido zonas boscosas inalteradas. Después de este sector el cauce ingresa a zonas de cultivos y al poblado de La Paz de San Ramón, las cuales podrían considerarse la parte media de la microcuenca.</p> <p>Abundante bosque natural en ambos linderos del río</p>	 <p>Sitio de colecta en la zona alta del cauce del río La Paz, Enero/febrero 2017</p>

<p>Zona media 1</p>	<p>Parte media de la microcuena. Zona de alta presión antrópica, debido a que en este sector el paisaje se encuentra dominado por cultivos de caña, café y pasturas para la actividad ganadera. De igual manera se localiza el poblado de Bajo La Paz, en el cual se depositan residuos sólidos y líquidos al cauce del río.</p>	 <p>Sitio de colecta en la zona media 1 del cauce del río La Paz, Enero/febrero 2017</p>
<p>Zona media 2</p>	<p>Parte media de la microcuena. Zona de alta presión antrópica, debido a que en este sector se encuentra dominado por cultivos de caña, seguido de café y pastos. Se puede apreciar un posible riesgo de contaminación del cauce del río, por los altos insumos de agroquímicos que necesita la caña para su producción.</p>	 <p>Sitio de colecta en la zona media 2 del cauce del río La Paz, Enero/febrero 2017.</p>
<p>Zona baja 1</p>	<p>Parte baja de la microcuena. Zona de alta presión antrópica, debido a que el cauce atraviesa el poblado de Bajo Zúñiga, con un posible impacto por el depósito de las aguas servidas en el cauce. Se puede apreciar un posible riesgo por contaminación con agroquímicos utilizados en los cultivos de caña, café y hortalizas cercanos al río</p>	 <p>Sitio de colecta en la zona baja 1 del cauce del río La Paz, Enero/febrero 2017.</p>

<p>Zona baja 2</p>	<p>Parte baja de la microcuenca. Zona de alta presión antrópica, debido al impacto por posibles derrames de agroquímicos y sedimentos desde las zonas de actividad agrícola en los márgenes del cauce. El paisaje se encuentra dominado por cultivos de hortalizas, café y pastos para producción ganadera. En este punto se une al río Barranca.</p>	 <p>Sitio de colecta en la zona baja 2 del cauce del río La Paz, Enero/febrero 2017.</p>
--------------------	--	--

Las variables físicas observadas en los sitios de muestreo fueron bastante regulares en las tres fechas de muestreo (cuadro 4).

Cuadro 4. Variables físicas observadas en los puntos de muestreo en el cauce del río La Paz. Enero/febrero 2017.

Sitio/Variable	Temperatura promedio del agua	Turbidez del agua	Velocidad promedio del agua
Zona alta	14 °C	Aguas cristalinas	1,5 m/s
Zona media 1	16 °C	Turbidez baja. Se observan sedimentos sobre las rocas.	1,1 m/s
Zona media 2	15 °C	Turbidez media. Se observan abundantes sedimentos sobre las rocas.	0,9 m/s
Zona baja 1	15 °C	Turbidez baja. Se observan sedimentos sobre las rocas.	1,0 m/s
Zona baja 2	15,5 °C	Turbidez media. Se observan abundantes sedimentos sobre las rocas.	0,8 m/s

4.2 GRUPOS TAXONÓMICOS ENCONTRADOS SEGÚN SITIO DE COLECTA

Se colectaron un total de 490 organismos distribuidos en 9 órdenes, 22 familias, 22 géneros y 24 morfoespecies (cuadro 5).

Cuadro 5. Riqueza y abundancia de macroinvertebrados acuáticos colectados según sitio de muestreo en el cauce del río La Paz. Enero/febrero 2017.

Familia	Zona alta		Zona media 1		Zona media 2		Zona baja 1		Zona baja 2	
	No. Individuos	No. morfo - especies								
Basommatophora										
Lymnaeidae	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
Coleoptera										
Elmidae	2	1	33	1	1	1	5	1	7	1
Psephenidae	15	1	2	1	1	1	0	0	0	0
Ptilodactylidae	12	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Diptera										
Ceratopogonidae	4	1	2	1	0	0	0	0	0	0
Simuliidae	1	1	38	1	0	0	30	1	36	1
Tipulidae	1	1	0	0	0	0	4	1	5	1
Ephemeroptera										
Baetidae	13	2	29	2	3	1	10	2	1	1
Euthyplociidae	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Leptophlebiidae	12	1	1	1	5	1	15	1	0	0
Leptohyphidae	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Oligoneuriidae	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Hemiptera										
Belastomatidae	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0
Naucoridae	0	0	0	0	1	1	0	0	3	1
Odonata										
Calopterygidae	0	0	1	1	0	0	2	1	3	1
Coenagrionidae	1	1	10	1	0	0	2	1	1	1
Libellulidae	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Plecoptera										
Perlidae	29	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Trichoptera										
Glossosomatidae	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Hydropsychidae	13	1	6	1	4	1	3	1	4	1
Hidrobiosidae	2	1	3	1	0	0	0	0	0	0
Tricladida										

Planariidae	1	1	43	1	5	1	15	1	31	1
Total general	116	19	176	17	21	8	86	10	91	9
%	23,7	30,2	35,91	27	4,28	12,7	17,55	15,9	18,57	14,3

Fuente. Autor.

El punto de muestreo que presentó la mayor abundancia de organismos fue la zona media 1 (35,9% de los individuos capturados), mientras que el menor número de individuos fue encontrado en el sector de zona media 2 (4,2%). Con respecto a la riqueza de especies se observó un total de 19 morfoespecies (23,7% de las especies registradas), seguido de la zona media 1 (70,8%). En la zona alta mientras que en la zona media 2 se observa la menor riqueza con tan solo 8 morfoespecies (33,3%) (Figura 5).

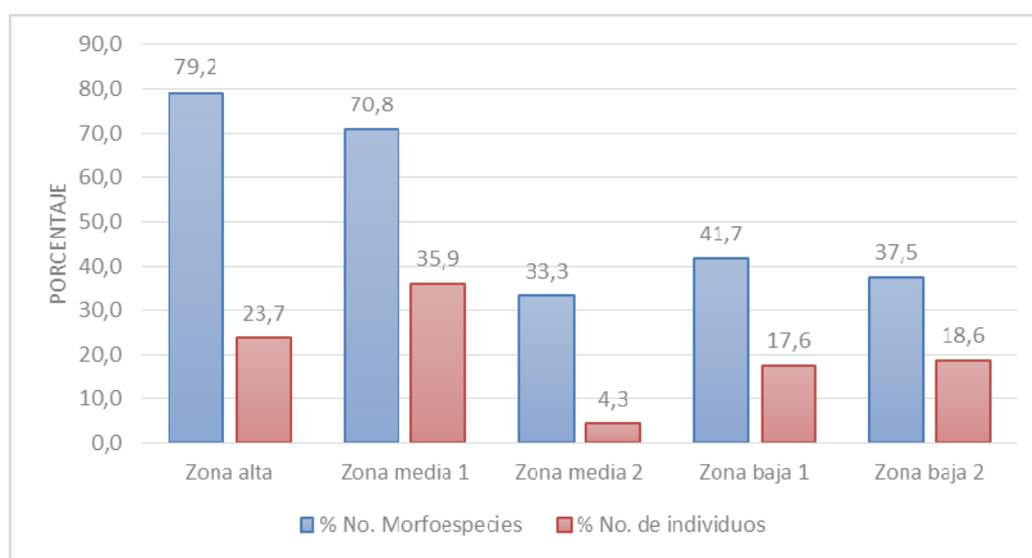


Figura 5. Distribución en porcentaje del total de individuos (n=490) y riqueza de especies de macroinvertebrados (n=24) en la cuenca del Río La Paz, Costa Rica.

En la zona alta se observó la mayor cantidad de familias representadas de todos los sitios de muestreos analizados, siendo la familia Perlidae la que muestra el mayor número de organismos en este sitio. También destacan por su abundancia las familias Psephenidae (Coleoptera), Hydropsychidae (Trichoptera), Baetidae (Ephemeroptera), Leptophebiidae (Ephemeroptera) y Ptilodactylidae (Coleoptera) (cuadro 5).

En la zona media 1 se encontraron 17 grupos taxonómicos, donde Planariidae (Tricladida) y Simulidae (Diptera) son los predominantes. También sobresalen Elmidae (Coleoptera) y Baetidae (Ephemeroptera) por su abundancia (cuadro 5).

Las familias predominantes en el sector de zona media 2 son Planariidae (Tricladida) y Leptophebiidae (Ephemeroptera). Este punto solo presenta 8 grupos taxonómicos representados donde también sobresalen Hydropsychidae (Trichoptera) y Baetidae (Ephemeroptera)

En el sector de la zona baja 1 el taxón con mayor abundancia corresponde a las familias Simuliidae (Díptera), Planariidae (Tricladida), Hydropsychidae (Trichoptera) y Baetidae (Ephemeroptera) respectivamente.

En el sector de la zona baja 2 el taxón con mayor abundancia corresponde a las familias Simuliidae (Díptera) y Planariidae (Tricladida) respectivamente, siendo estos grupos los de mayor dominancia en este punto.

4.3. PRINCIPALES ÍNDICES PARA MEDIR LA CALIDAD DE AGUA DEL CAUCE

El índice BMWP-CR presentó el mayor valor en la zona alta. Mientras que río abajo, en las zonas media 2, baja 1 y baja 2 son prácticamente iguales (figura 6). En el sector del bosque el agua puede calificarse bajo la categoría azul (buena calidad/no contaminada). En la zona media 1 su categoría es verde (Calidad regular/Aguas eutrofizadas/contaminadas). Para los puntos de muestreo de las zonas media 2, baja 1 y baja 2 el agua se clasifica en amarillo (Calidad mala/ Aguas contaminadas)

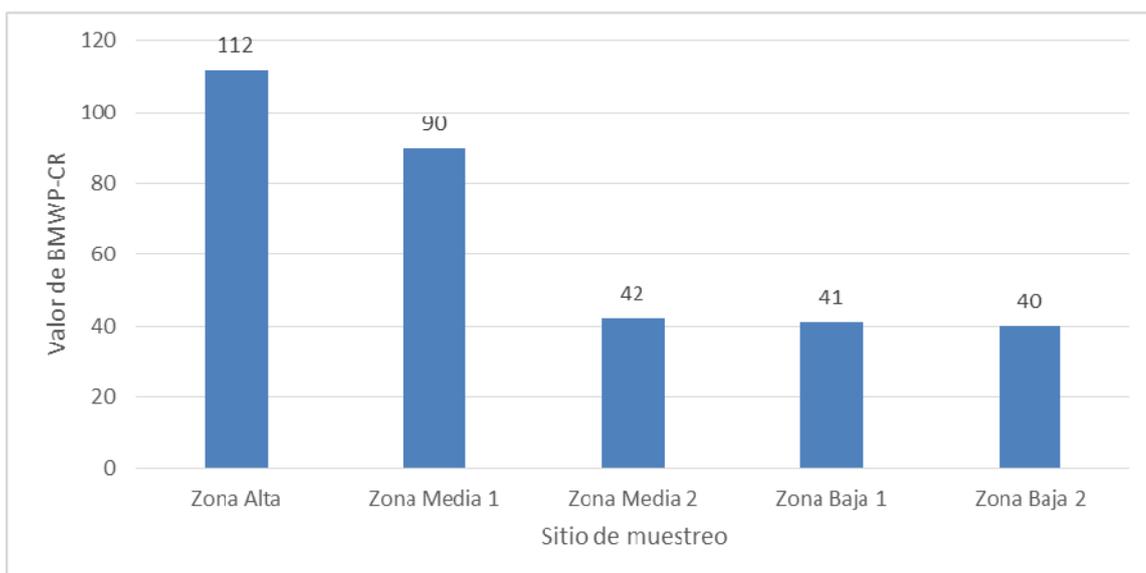


Figura 6. Valores de BMWP-CR en los sitios de muestreo en el cauce del río La Paz. Enero/febrero 2017.

4.4. ÍNDICES BIOLÓGICOS DETERMINADOS EN LA ZONA DE ESTUDIO

El índice de biodiversidad de Margalef muestra la zona alta como el punto con mayor biodiversidad entre los cinco sitios de muestreo (cuadro 6). El sitio con la menor biodiversidad corresponde a la zona baja 2 en la parte final del cauce del río.

Cuadro 6. Valor del índice de biodiversidad de Margalef, Simpson y Shannon para los cinco puntos de muestreo del río La Paz. Enero/febrero 2017.

Sitio de muestreo	Índice de Margalef	Índice de dominancia de Simpson	Índice de diversidad de Simpson	Índice de Shannon-Weaver
Zona alta	3,58	0,1236	0,8763	3,47
Zona media 1	2,90	0,1617	0,8383	3,04
Zona media 2	2,30	0,1791	0,8209	2,68
Zona baja 1	2,02	0,2015	0,7985	2,69
Zona baja 2	1,77	0,2858	0,7141	2,24

Fuente: propia

Según el índice de diversidad de Simpson la zona alta presenta la mayor diversidad, caso opuesto con el sector de la zona baja 2 que muestra el valor menor en este criterio (cuadro 6). Cuanto más cerca se encuentre el índice de diversidad de Simpson a la unidad menor será la probabilidad de que dos organismos de la misma especie se encuentren en el sitio, por tanto, en forma inversa baja el índice de dominancia. Por ello se puede ver una mayor dominancia en el punto de la zona baja 2 debido al gran número de individuos de las familias Simuliidae y Planariidae.

El índice de diversidad de Shannon muestra nuevamente la zona alta como el punto con mayor biodiversidad entre los cuatro sitios de muestreo (cuadro 6). El sector de la zona baja 2 tiene el menor valor de biodiversidad según este índice.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las observaciones de campo muestran que la microcuenca del río La Paz posee una importante intervención humana debido a la presencia de cultivos, cambio en el uso del suelo y contaminación por unidades habitacionales. Las zonas con bosque natural se ven limitadas a la parte alta del cauce y a partir de la zona media 1 predominan los pastizales, cafetales, cañales y casas junto al río con escasos parches de bosque ripario en algunos sectores.

La zona alta presenta la mayor biodiversidad. Esto se debe a lo poco alterado que se encuentra el ecosistema. González *et al.* (2012) indican que la presencia de bosque ripario en mejor estado de conservación en este punto de muestreo, en relación con los otros sitios, permite mayor protección del recurso hídrico, garantizando una mayor calidad del hábitat. La zona de colecta elegida se ubica donde se termina el camino y el suelo se ha conservado solo para protección forestal. Se podría pensar que no existe contaminación antrópica porque río arriba no hay actividades humanas, sin embargo, no se puede garantizar la ausencia de sustancias alterantes porque no se hicieron estudios fisicoquímicos del agua. Según Blinn y Kilgore (2001) mencionados por González *et al.* (2012) el bosque ripario tiene un papel importante al retardar y reducir la escorrentía superficial, utilizar el exceso de nutrientes, atrapar los sedimentos y otros contaminantes que se desprenden de los suelos descubiertos o suelos de cultivos y de esta manera proteger los cuerpos de agua. Arcos (2005) y Alonso (2006), mencionados por Meza, Rubio, Dias y Walteros (2012), han demostrado que la deforestación de los bosques riparios tropicales provocan una pérdida de la biodiversidad y empobrecimiento de la composición de los macroinvertebrados bentónicos.

La mayor velocidad en el flujo del agua se observa en el punto de colecta de la zona alta. Es de esperar una mayor oxigenación en este sitio dado que el movimiento del líquido entre rocas y pequeños desniveles del cauce favorecen la disolución de este gas desde la atmósfera. La baja temperatura del agua también facilita la presencia de oxígeno. Desde el punto de vista cualitativo fue observada la ausencia de sedimentos adheridos a las rocas, muestra de que no hay afectación por residuos en este punto del cauce gracias a la abundante presencia de bosque ripario, como se discutió anteriormente. Es recomendable que en futuros estudios de esta naturaleza se haga una medición del oxígeno disuelto en el sitio.

Basados en la escala del índice BMWP-CR los grupos taxonómicos más abundantes en el sector de la zona alta (Perlidae, Psephenidae, Leptophlebiidae y Ptilodactylidae) presentan un valor numérico alto, siendo grupos sensibles a la contaminación y baja oxigenación del agua. La presencia de estas familias de macroinvertebrados y su dominancia entre los grupos identificados evidencian una alta calidad del agua en este punto de muestreo según el índice utilizado. Es de destacar que esta zona es importante porque se toma agua para consumo humano que es llevada hasta la ciudad de San Ramón y otros poblados vecinos ya que el punto de toma de los pozos del Instituto Costarricense

de Acueductos y Alcantarillados se ubica cerca. Esto se apoya con lo indicado por Alba-Tercedor (1996) quien propone que tales bioindicadores son una importante herramienta para la detección de puntos de alteración del recurso hídrico para consumo humano. Los plecópteros fueron especialmente abundantes en las colectas dentro la zona alta, duplicando prácticamente al segundo grupo más numeroso, los psefénidos. Las larvas de los plecópteros viven en aguas rápidas, bien oxigenadas, debajo de piedras, troncos, ramas y hojas (Roldán, 1988). Estos organismos son indicadores de aguas muy limpias y oligotróficas.

Organismos de las familias Hydropsychidae (Tricoptera) y Baetidae (Ephemeroptera) colectados en todos los puntos de colecta son indicadores de agua limpias, pero pueden tolerar ecosistemas con un poco de contaminación, que van de oligotróficas a eutróficas (Roldán, 1988). Su presencia en todos los sitios de muestreo puede ser evidencia de que tienen un amplio nivel de distribución siempre que la contaminación no sea muy alta, exista vegetación riparia y la disponibilidad de oxígeno sea abundante. Todos los aspectos anteriores son visibles en los cinco puntos de muestreo. Hay géneros ampliamente distribuidos (p.ej.: *Anacroneuria*, *Hydroptila*, *Baetodes*, *Thraulodes* y *Leptohyphes*), los cuales presentan distintos tipos de adaptaciones al medio donde se encuentran, lo cual hace que su rango de tolerancia varíe ampliamente y al considerar un valor medio, para el género o familia, este podría no reflejar la calidad ecológica real del río (Prat et al, 2009).

El punto de muestreo en la zona media 1 presenta el mayor número de individuos recolectados, pero predominan cuatro familias: Planariidae (Tricladida), Simuliidae (Diptera), Elmidae (Coleoptera) y Baetidae (Ephemeroptera). Los simúlidos evidencian aguas oligotróficas muy oxigenadas (Roldán 1988), siendo también tolerantes a la presencia de un cierto nivel de contaminación y presencia de materia orgánica. Esta última familia de dípteros es abundante en ambos puntos de muestreo en la zona baja, donde se esperaría un mayor impacto antropogénico, evidenciando su tolerancia a la contaminación. Su presencia también demuestra los altos niveles de oxígeno disueltos a todo lo largo del cauce.

El elevado número de individuos de la familia Dugesiidae (Tricladida) en la zona media 1 es un indicador de aguas bien oxigenadas, pero con algún grado de contaminación. Estos seres vivos se encuentran adheridos a las rocas en los puntos donde la corriente es importante dado que requieren un importante acceso a oxígeno debido a que respiran a través de su epidermis (Roldán, 1998). Perez y Roldán (1978), mencionados por Roldán (1988), reportan la presencia de este grupo en ríos con alta contaminación de materia orgánica. La oxigenación de las aguas se puede deber a que en todo el tramo anterior a este punto el río presenta zonas con turbulencia importante para el intercambio gaseoso con el aire y una baja temperatura. La desaparición de familias intolerantes a la contaminación en este sitio, como Perlidae, Ptilodactylidae y Psephenidae, indican que han ocurrido cambios ecológicos negativos en las zonas de muestreo conforme el río va corriendo en su cuenca. Esta desaparición de biodiversidad

puede estar directamente relacionada con la actividad turística, las actividades agrícolas, las densidades humanas, los cambios en el paisaje y el aumento en los valores de los parámetros químicos (Rosas-Acevedo *et al*, 2014).

El uso del índice BMWP-CR para el punto de muestreo de la zona media 1 evidencian aguas de calidad regular, no recomendables para consumo humano sin tratamiento adecuado. Los organismos presentes, así como la pérdida de especies sensibles a la contaminación muestran un deterioro general en las condiciones del caudal. Diversos trabajos sustentan que el estudio de las comunidades del macrobentos, incluso analizadas a nivel taxonómico de orden, han resultado útiles en el análisis del ecosistema para elaborar planes de manejo, ya que estas comunidades y su productividad se ven afectadas por diversos factores del medio físico (Bournaud *et al.*, 1996, mencionado por Hurtado, García-Trejo y Gutiérrez-Yurrita 2005). El río recibe aguas sin tratamiento de los hogares cercanos al mismo. Desechos como materia orgánica, residuos fecales, aguas jabonosas y residuos industriales de la producción de dulce de caña son solo algunos de los que pueden observarse en ciertos puntos del cauce. Los ríos se han convertido en lugares de desechos domésticos e industriales, lo que ocasiona un aumento en su contaminación y con ello un cambio químico tanto en el agua como en el sedimento (Hurtado *et al.*, 2001 y Rodríguez, 2003; mencionados por Hurtado, García-Trejo y Gutiérrez-Yurrita 2005).

Entre el sitio de muestreo de la zona alta y la zona media 1 presenta áreas con un cambio en el uso del suelo. Aunque las pendientes son pronunciadas hay una sustitución del bosque por pastizales en varios sectores en este trayecto, favoreciendo la escorrentía y la depositación de sedimentos en el río durante la época lluviosa. Aumento de unidades habitacionales, presencia de trapiches, cafetales y cañales terminan de completar la transformación del paisaje en este segmento del cauce.

El sector medio 2 muestra la menor abundancia de macroinvertebrados acuáticos de todos los sitios estudiados. Este punto de muestreo se encuentra después de un sector importante del cauce donde predominan los cañales en ambos lados del cauce y el bosque ripario está prácticamente ausente. Estas condiciones pueden ser la causa de la pobre composición de las comunidades de organismos acuáticos en este punto, como se mencionó anteriormente.

Los cantos rodados dentro del agua en el punto de muestreo de la zona media 2 demuestran la depositación de sedimentos en el cauce. Las rocas poseen una cubierta lodosa típica de los ríos con esta condición. Ante estas condiciones ambientales predominan las especies que pueden aprovechar el alimento disponible, como las planarias y los leptoflébidos. Estos organismos se alimentan exitosamente en estos ambientes y aprovechan la abundancia de nutrientes y materia orgánica presente en los sedimentos. Además, son grupos con algún grado de tolerancia a la contaminación en ambientes que se tornan eutróficos.

Al igual que la zona media 2 se puede ver una baja diversidad en el punto de la zona baja 1 justo donde el río sale de dicha comunidad para seguir su rumbo río abajo. La abundancia de organismos y la cantidad de especies se reducen en la zona baja 2, justo antes que se una con el cauce del río Barranca. El índice BMWP-CR señala a la zona baja 1 como de mala calidad de aguas, caso que puede explicarse por la presencia de fuentes de contaminación que afectan las aguas del cauce y se han venido acumulando a lo largo de este. La situación se repite en la zona baja 2 donde los valores del índice de calidad de aguas la ubican en amarillo.

En los dos últimos sitios de muestreo río abajo (zonas bajas 1 y 2) predominan dos grupos de macroinvertebrados: simúlidos y planarias. Como se mencionó anteriormente, esto demuestra que el río mantiene aún altos niveles de oxigenación, pero deben existir una contaminación que elimine organismos sensibles. La tolerancia de los simúlidos y las planarias les permitió reproducirse y ser competitivos en estos ecosistemas alterados, conformando así las poblaciones más importantes en estos sectores del río. Ellos pueden aprovechar la aparición de algas y formación de bacterias por la acumulación de residuos sobre las rocas como fuente de alimentación.

Es de destacar que todos los índices de diversidad calculados en este estudio evidencian un cambio en la composición de las comunidades de macroinvertebrados conforme el río corre a lo largo de su microcuenca. Conforme transcurre el agua los valores se ven disminuidos, indicando una reducción de la biodiversidad y la dominancia de algunas especies en particular. Las razones para ello pueden deberse, como se ha venido indicando, a los siguientes factores:

- Pérdida de cobertura forestal riparia.
- Caída de sedimentos al cauce por erosión en la orilla.
- Contaminación con desechos de índole agrícola como fosfatos y nitratos, propios de los fertilizantes y otros insumos utilizados para tal fin.
- Contaminación por actividades industriales y unidades habitacionales que depositan sus aguas contaminadas sin tratamiento dentro del cauce.

Todas las colectas se realizaron en los meses de enero y febrero, coincidiendo con la época seca en la zona. Esto puede influir en forma importante en la composición de las comunidades biológicas relacionadas con el cauce del río. Hurtado, García y Gutiérrez (2005) encontraron que en los meses con balance hídrico positivo son los más diversos biológicamente, por tanto, estudios más integrales requerirían un muestreo en la época lluviosa.

A partir de la composición de las comunidades biológicas en los puntos de muestreo y las condiciones encontradas en la cuenca se proponen las siguientes acciones para mejorar la calidad del agua en el cauce y aumentar la biodiversidad de macroinvertebrados:

1. Recuperar la cobertura de bosque en las riveras del cauce para controlar la escorrentía, depósito de sedimentos, exceso de nutrientes, entre otras. Para ello se pueden utilizar árboles nativos de la zona como el sotacaballo (*Zygia longifolia*) y/o leche maría (*Symphonia globulifera*). Es importante que la selección de plantas para cultivar en los bordes del río debe poseer adaptaciones para este tipo de terrenos, resistir la erosión por crecidas del cauce y brindar múltiples servicios ecológicos.
2. Introducir prácticas amigables con el ambiente en las actividades industriales y agrícolas de la zona. Mecanismos para protección del suelo, fertilización por abonos orgánicos, reducción en el uso de plaguicidas, entre otras acciones, disminuiría notablemente la contaminación del cauce. Esto se puede lograr mediante talleres a los agricultores de la zona con apoyo de organizaciones no gubernamentales, Ministerio de Ambiente y Energía, Ministerio de Agricultura y Ganadería, entre otros.
3. Revisión e instalación de sistemas de tratamiento de aguas servidas en los hogares cercanos al cauce. Esto con el fin de evitar que dichas fuentes de contaminación lleguen hasta el río. Además introducir en los hogares campañas de reciclaje de residuos mediante talleres participativos con el fin de evitar fuentes de basura sólida que podría contaminar la zona.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- La biodiversidad de macroinvertebrados del río La Paz se ve reducida conforme su cauce avanza entre zonas con intervención antrópica, evidenciando un efecto directo de las actividades humanas sobre la composición de las comunidades de organismos dentro del curso de agua.
- El índice BMWP-CR es una herramienta importante para calificar la calidad del agua en ríos, quebradas y lagunas. Esta metodología permitió evidenciar el deterioro del líquido que fluye por el río La Paz conforme hace su recorrido a lo largo de su subcuenca.
- La pérdida de cobertura boscosa en los márgenes del río puede afectar en forma significativa la composición de las comunidades de macroinvertebrados.
- Aquellas especies que son tolerantes a ciertos niveles de contaminación, como los simúlidos y las planarias, se tornan dominantes en ecosistemas bajo alguna alteración antrópica. En el caso del río La Paz esto puede causarse por el depósito de aguas sin tratamiento en su cauce o la sedimentación por escorrentía.
- La utilización del agua del cauce en su punto medio y bajo es viable para actividades agrícolas como riego. Sin embargo, su uso para consumo humano o animal requiere de analizar otras variables físicas y químicas, además de realizar el tratamiento pertinente.

6.2 RECOMENDACIONES

- Con las observaciones de este inventario se apreció el estado de conservación del río, en los cinco sectores evaluados, sin embargo, se recomienda poder desarrollar un monitoreo, para apreciar la dinámica de macroinvertebrados para mejorar la gestión de la cuenca.
- Hay que tomar en consideración variables fisicoquímicas como pH, dureza, presencia de sustancias disueltas (fosfatos, nitratos, oxígeno, etc.) en futuras investigaciones dado que estas afectan a las comunidades de macroinvertebrados y brindan un panorama de las condiciones inmediatas del agua en la cuenca.
- En futuros análisis de la calidad del agua de este río hay que valorar las posibles fuentes de contaminación mediante una inspección a lo largo del cauce. Aunque no fueron parte de los objetivos de este estudio definir las fuentes de alteración por actividad humana, es necesario considerarlas para plantear posibles medidas de mitigación.

7. BIBLIOGRAFÍA

Alanís, E; Jiménez, J; Aguirre, O; Treviño, E; Jurado, E. y González, M. 2008. Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencia UANL*, 11(1): 56-62.

Alonso, A; Camargo, J. 2005. Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. *Ecosistemas* 14(3): 87-99.

Alba-Tenedor, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio sobre el agua en Andalucía. Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España.

Barba-Álvarez, R; De la Lanza-Espino, G; Contreras-Ramos, A. y González-Mora, I. 2013. Insectos acuáticos indicadores de calidad del agua en México: casos de estudio, ríos Copalita, Zimatán y Coyula, Oaxaca. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84: 381-383.

Del Río, M, Montes, F, Cañellas, I. y Montero, G. 2003. Revisión: índices de diversidad estructural en masas forestales. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 12(1): 159-176.

Endara, A. 2012. Identificación de macro invertebrados bentónicos en los ríos: Pindo Mirador, Alpayacu y Pindo Grande: determinación de su calidad de agua.

FAO. s.f. Servicios de las cuencas hidrográficas. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/012/a1295s/a1295s02.pdf>

Faustino, J. y Jiménez, F. 2000. Manejo de cuencas hidrográficas. Turrialba, Costa Rica. Recuperado de http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2946/Manejo_de_cuencas_hidrograficas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

García. L. y Jiménez, F. 2006. Efectos del bosque ribereño y de las actividades antrópicas en las características físico-químicas y en poblaciones de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del río Tascalapa, Honduras. *Recursos Naturales y Ambiente* n.48: 35-46.

Giacometti, J. y Bersosa, F. 2006. Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. *Serie Zoológica* 2: 17-32.

González, S; Ramírez, Y; Meza, A. y Díaz, L. 2012. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat.* 16(2): 135-148.

Guevara, M. 2011. Insectos acuáticos y calidad de agua en la cuenca y embalse del río Peñas Blancas, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop* 59 (2): 635-654.

Hurtado, S; García, F. y Gutiérrez, P. 2005. Importancia ecológica de los macroinvertebrados bentónicos de la subcuenca del río San Juan, Querétaro, México. *Folia Entomológica Mexicana* 44(3): 271-286.

INEC. 2011. Indicadores demográficos según cantón y distrito. Recuperado de <http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos/poblacion/estadisticas/resultados/repoblacenso2011-01.xls.xlsx>

Ladrera, R. 2012. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. *Páginas de Información Ambiental* n°4: 24-29.

Lozano, L. 2005. La bioindicación de la calidad del agua: importancia de los macroinvertebrados en la cuenca alta del río Juan Amarillo, cerros orientales de Bogotá. *Umbral Científico*, 7: 5-11.

Meza, A; Rubio, J; Días, L. y Walteros, J. 2012. Calidad del agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. *Caldasia* 34(2): 443-456.

Millan, J. y Cruz, C. 2007. Agua, cultura y ambiente: El caso de la cuenca hidrográfica Morote, Guanacaste. *Biocenosis* 20(1-2): 199-125.

Prat, N; Ríos, B; Acosta, R; Rieradevall, M. 2009. Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. En: Domínguez, E. y Fernández, H. (Ed). 2009. *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos*. Tucumán, Argentina:

Reinoso, G; Guevara, G; Vejarano, M; García, J; Villa, F. 2008. Evaluación del río Prado a partir de los macroinvertebrados y de la calidad del agua. *Rev. Asoc. Col. Cienc. Biol.* 20: 102-116

Roldán, G. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquía. Bogotá: Ed. Presencia.

Rosas-Acevedo, J; Ávila-Pérez, H; Sánchez-Infante, A; Rosas-Acevedo, A; García-Ibañez, S; Sampedro-Rosas, L; Granados-Ramírez, J. y Juárez-López, A. 2014. Índice

BMWP, FBI y EPT para determinar la calidad del agua en la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 1(2): 81-88.

Springer, Astorga, Martínez y Flowers. 2007. Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica. *Diario oficial La Gaceta* n° 178. 7

Springer, M. 2010. Biomonitorio acuático. *Rev. Biol. Trop.* 58 (4): 53-59

Solano, J. y Villalobos, R. s.f. Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional. Recuperado de <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalizaci%C3%B3n+clim%C3%A1tica+de+Costa+Rica>

Zhen-Wu, B. 2010. Índices de calidad del agua en la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica (2007-2008). *Cuadernos de Investigación UNED* 2(1): 45-61.

8. ANEXOS

Anexo 1. Perfil de instrumentos a utilizar en la toma de datos:

Hoja de campo para toma de datos sobre macroinvertebrados

Fecha: _____ Hora inicio: _____ Hora finalización:

Sitio de colecta: _____

Temperatura del agua: _____

Velocidad del flujo de agua: _____

Turbidez del agua: _____

Características climáticas del momento de la colecta: _____

Descripción biofísica del sitio de colecta: _____

Descripción de impactos antropogénicos visibles en el sitio de colecta: _____

Anexo 2. Valores de sensibilidad a la contaminación para familias de macroinvertebrados según el índice BMWP-CR (Biological Monitoring Working Party – Costa Rica) (Tomado de Springer, Astorga, Martínez y Flowers, 2007)

Valor	Grupo taxonómico
9	O: Polythoridae D: Blephariceridae; Athericidae E: Heptageniidae P: Perlidae T: Lepidostomatidae; Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae
8	E: Leptophlebiidae O: Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae T: Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae B: Blaberidae
7	C: Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrachidae O: Gomphidae; Lestidae; Megapodagrionidae; Protoneuridae; Platystictidae T: Philopotamidae Cr: Talitridae; Gammaridae
6	O: Libellulidae M: Corydalidae T: Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae E: Euthyplociidae; Isonychidae
5	L: Pyralidae T: Hydropsychidae; Helicopsychidae C: Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae E: Leptohiphidae; Oligoneuriidae; Polymitarcyidae; Baetidae Cr: Crustacea Tr: Turbellaria
4	C: Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae, Dytiscidae, Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae. D: Dixidae; Simuliidae; Tipulidae; Dolichopodidae; Empididae; Muscidae; Scionryzidae; Ceratopogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae. H: Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae; Notonectidae O: Calopterygidae; Coenagrionidae E: Caenidae Hi: Hidracarina
3	C: Hydrophilidae D: Psychodidae Mo: Valvatidae; Hydrobiidae; Lymnaeidae; Physidae; Planorbidae; Bithyniidae; Bythinellidae; Sphaeriidae. A: Hidrudinea; Glossiphonidae; Hirudidae; Erpobdellidae Cr: Asellidae

2	D: Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae
1	D: Syrphidae A: Oligochaeta (todas las clases)

Nota: D: Diptera; E: Ephemeroptera; P: Plecoptera; T: Trichoptera; O: Odonata; C: Coleoptera; M: Megaloptera; H: Hemiptera; L: Lepidoptera; B: Blattodea; Tr: Tricladida; Cr: Crustacea; A: Annelida; Mo: Mollusca.

La clasificación de las aguas según este índice adquiere valores comprendidos entre 0 y un máximo indeterminado que, en la práctica, no suele superar 200. En función de este puntaje se establecen 6 niveles de calidad para el agua (los dos primeros pertenecen al grupo de aguas no contaminadas).

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

Anexo 3. Órdenes, familias, número de morfoespecies y número de individuos encontrados en los puntos de muestreo en el cauce del río La Paz. Enero/febrero 2017.

Sitio	Orden	Familia	N° de morfoespecies	N° de individuos
Bosque	Coleoptera	Elmidae	1	2
		Psephenidae	1	15
		Ptilodactylidae	1	12
	Diptera	Ceratopogonidae	1	4
		Simuliidae	1	1
		Tipulidae	1	1
	Ephemeroptera	Baetidae	2	13
		Euthyplociidae	1	3
		Leptohyphidae	1	2
		Leptophlebiidae	1	12
		Oligoneuriidae	1	1
	Odonata	Coenagrionidae	1	1
		Libellulidae	1	1
	Plecoptera	Perlidae	1	29
	Trichoptera	Glossosomatidae	1	3
		Hidrobiosidae	1	2
Hydropsychidae		1	13	
Tricladida	Planariidae	1	1	
Bajo La Paz	Coleoptera	Elmidae	1	33
		Psephenidae	1	2
		Ptilodactylidae	1	1
	Diptera	Ceratopogonidae	1	2
		Simuliidae	1	38
	Ephemeroptera	Baetidae	2	29
		Leptohyphidae	1	1
		Leptophlebiidae	1	1
	Hemiptera	Belastomatidae	1	4
	Odonata	Calopterygidae	1	1
		Coenagrionidae	1	10
	Trichoptera	Glossosomatidae	1	1
		Hydrobiosidae	1	3

		Hydropsychidae	1	6
	Tricladida	Planariidae	1	43
	Basommatophora	Lymnaeidae	1	1
Piedades Norte	Coleoptera	Elmidae	1	1
		Psephenidae	1	1
	Ephemeroptera	Baetidae	1	3
		Leptophlebiidae	1	5
	Hemiptera	Naucoridae	1	1
	Trichoptera	Hydropsychidae	1	4
	Tricladida	Planariidae	1	5
Basommatophora	Lymnaeidae	1	1	
Bajo Zúñiga	Coleoptera	Elmidae	1	5
	Diptera	Simuliidae	1	30
		Tipulidae	1	4
	Ephemeroptera	Baetidae	2	10
		Leptophlebiidae	1	15
	Odonata	Calopterygidae	1	2
		Coenagrionidae	1	2
Trichoptera	Hydropsychidae	1	3	
Tricladida	Planariidae	1	15	
Las Juntas	Coleoptera	Elmidae	1	7
	Diptera	Simuliidae	1	36
		Tipulidae	1	5
	Ephemeroptera	Baetidae	1	1
	Odonata	Calopterygidae	1	3
		Coenagrionidae	1	1
	Trichoptera	Hydropsychidae	1	4
Tricladida	Planariidae	1	31	
Hemiptera	Naucoridae	1	3	

Anexo 8. Grupos taxonómicos y su abundancia en los puntos de muestreo en el cauce del río La Paz. Enero/febrero 2017.

Sitio	Orden	Familia	Género	Cantidad
Bosque	Coleoptera	Elmidae	<i>Macrelmis</i>	2
		Psephenidae	<i>Psephenops</i>	15
		Ptilodactylidae	<i>Anchytarsus</i>	12
	Diptera	Ceratopogonidae	<i>Stilobezzia</i>	4
		Simuliidae	<i>Simulium</i>	1
		Tipulidae	<i>Hexatoma</i>	1
	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetodes</i>	8
			Indeterminado	5
		Euthyplociidae	<i>Euthyplocia</i>	3
		Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i>	2
		Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	12
	Odonata	Oligoneuriidae	<i>Lachlania</i>	1
		Coenagrionidae	<i>Acanthagrion</i>	1
	Libellulidae	<i>Erythemis</i>	1	
		Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>
	Trichoptera	Glossosomatidae	<i>Protoptila</i>	3
Hidrobiosidae		<i>Atopsyche</i>	2	
Hydropsychidae		<i>Leptonema</i>	13	
Tricladida	Planariidae	<i>Dugesia</i>	1	
Bajo La Paz	Coleoptera	Elmidae	<i>Macrelmis</i>	33
		Psephenidae	<i>Psephenops</i>	2
		Ptilodactylidae	<i>Anchytarsus</i>	1
	Diptera	Ceratopogonidae	<i>Stilobezzia</i>	2
		Simuliidae	<i>Simulium</i>	38
	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetodes</i>	8
		Baetidae	<i>Moribaetis</i>	21
		Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i>	1
		Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	1
	Hemiptera	Belastomatidae	<i>Lethocerus</i>	4
	Odonata	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	1
		Coenagrionidae	<i>Acanthagrion</i>	10
	Trichoptera	Glossosomatidae	<i>Protoptila</i>	1
		Hidrobiosidae	<i>Atopsyche</i>	3
		Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	6
Tricladida	Planariidae	<i>Dugesia</i>	43	

	Basommatophora	Lymnaeidae	Indeterminado	1
Piedades Norte	Coleoptera	Elmidae	Indeterminado	1
		Psephenidae	<i>Psephenops</i>	1
	Ephemeroptera	Baetidae	Indeterminado	3
		Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	5
	Hemiptera	Naucoridae	<i>Cryphocricos</i>	1
	Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	4
	Tricladida	Planariidae	<i>Dugesia</i>	5
Basommatophora	Lymnaeidae	Indeterminado	1	
Bajo Zúñiga	Coleoptera	Elmidae	<i>Macrelmis</i>	5
	Diptera	Simuliidae	<i>Simulium</i>	30
		Tipulidae	<i>Hexatoma</i>	4
	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetodes</i>	1
		Baetidae	Indeterminado	9
		Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	15
	Odonata	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	2
		Coenagrionidae	<i>Acanthagrion</i>	2
Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	3	
Tricladida	Planariidae	<i>Dugesia</i>	15	
Las Juntas	Coleoptera	Elmidae	<i>Macrelmis</i>	7
	Diptera	Simuliidae	<i>Simulium</i>	36
		Tipulidae	<i>Hexatoma</i>	5
	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetodes</i>	1
	Odonata	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	3
		Coenagrionidae	<i>Acanthagrion</i>	1
	Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	4
	Tricladida	Planariidae	<i>Dugesia</i>	31
Hemiptera	Naucoridae	<i>Cryphocricos</i>	3	