

# **CALIDAD ECOLÓGICA DEL AGUA EN EL “ARROYO MIL VARAS”, DEL MUNICIPIO DE MINEROS, PROVINCIA OBISPO SANTISTEVAN, DEPARTAMENTO DE SANTA CRUZ**

**ECOLOGICAL QUALITY OF THE WATER IN THE “ARROYO MIL VARAS”, OF THE MUNICIPALITY OF MINEROS, OBISPO SANTISTEVAN PROVINCE, DEPARTMENT OF SANTA CRUZ**

**CUELLAR RUEDA, R. J., ROJAS BANEGAS, S.**

## **RESUMEN**

La utilización de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, MIA, es una buena herramienta para determinar la calidad del agua de manera periódica, por lo tanto, es una manera que da buenos resultados respecto a costo-eficiencia para los lugares que fueron evaluados que son el Arroyo Mil Varas y un Arroyo sin Identificación. El objetivo del proyecto fue determinar la calidad ecológica del agua por la mortandad de peces que hubo en el año 2017, para ello se identificaron sitios perturbados y sitios de referencia basándose en la caracterización de las variables ambientales señaladas con distintos índices bióticos como ser el Índice de Hábitat Fluvial, IHF, Índice de Calidad de Bosque de Ribera, QBR, y el Índice de calidad de agua BMWP/Bol incluyendo la recolección de macroinvertebrados acuáticos y medir la biodiversidad con el índice de diversidad de Shannon y Simpson invertido usando curvas de diversidad de especies.

## **PALABRAS CLAVE**

Calidad del agua, Índices bióticos, Índice de calidad de agua BMWP/Bol, Índice de diversidad de Shannon y Simpson..

## **ABSTRACT**

The use of aquatic macroinvertebrate communities, AMI, is a good tool to determine water quality periodically, therefore, it is a way that gives good results regarding cost-efficiency for the places that were evaluated, which are the Mil Varas stream and other unidentified stream. The objective of the project was to determine the ecological quality of the water due to the mortality of fish that occurred in 2017, for which disturbed sites and reference sites were identified based on the characterization of the environmental variables indicated with different biotic indices such as the Index of River Habitat, IHF, Riparian Forest Quality Index, QBR, and the BMWP/Bol Water Quality Index including the collection of aquatic macroinvertebrates and measuring biodiversity with the inverted Shannon and Simpson diversity index using diversity curves of species.

## **KEYWORDS**

Water quality, Biotic indices, BMWP/Bol water quality index, Shannon and Simpson diversity index.

## INTRODUCCIÓN

Los cursos de agua han sido la cuna de las civilizaciones, dada la importancia del recurso hídrico para el desarrollo de las actividades humanas.

Es por lo que todas las grandes civilizaciones se desarrollaron relacionadas con cursos de agua; en Sudamérica, la situación no ha sido distinta. La función ecológica de los lechos, taludes y márgenes constituyen hábitats y corredores únicos para la preservación de la biodiversidad y del equilibrio ecológico de la vida acuática (Haun & Fortes, 2015)

El crecimiento poblacional a nivel mundial ha incrementado el uso de los recursos hídricos, aumentando así sus niveles de contaminación como respuesta a las diversas actividades humanas y de desarrollo (domésticas, industriales, recreacionales) que producen un aumento de elementos químicos de diversa naturaleza, por un lado, y, por el otro, descargas de efluentes con una elevada concentración de materia orgánica con altos niveles de microorganismos nocivos a la salud (Del Pilar et al, 2015).

En Bolivia el crecimiento demográfico en zonas urbanas y rurales ha aumentado el uso del recurso agua con fines doméstico, industrial y recreacional.

Actividades ellas que inciden en la contaminación del recurso, por lo que es de mucha importancia realizar controles, estudios de calidad y programas educativos para un mejor uso del agua. El acceso al agua en Bolivia se ve afectado por los fenómenos climáticos, mala gestión del recurso, que afectan al desarrollo y crecimiento del país en el sector agrícola (Cárdenas, 2014).

Dicho sector depende de la disponibilidad del recurso, además de la modernización de sus actividades y el uso de insumos que se vuelven contaminantes del medio ambiente en su conjunto (Forno, 2010).

El cambio de actitud de la sociedad en Bolivia respecto al cuidado del medio ambiente ha ido en crecimiento, sin embargo, estamos lejos de asegurar un ambiente saludable para las poblaciones actuales y menos aún para las futuras. La determinación y/o evaluación de la calidad del agua se realiza a través de métodos fisicoquímicos y biológicos, según sea la disponibilidad de medios y recursos.

Desde los años 50 del pasado siglo, las evaluaciones biológicas para el estudio de la calidad de agua están reemplazando o complementando progresivamente a las medidas químicas que por sí solas no proveen adecuada información de los efectos de perturbación sobre los organismos acuáticos.

El objetivo de las evaluaciones biológicas es detectar y comprender los cambios en los sistemas biológicos que resultan de las actividades antropogénicas respecto a condiciones de referencia, que son sitios mínimamente expuestos a perturbaciones antropogénicas tales como desechos domésticos, industriales o cambios en el uso del suelo que, a menudo, degradan los ecosistemas (Bailey, 2003).

En el año 2017 el Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz evaluó la calidad del agua en el Arroyo Mil Varas, ubicado en el Municipio de Mineros, tomando en cuenta diferentes parámetros físicos y químicos, debido a que este cuerpo de agua presentó una alta mortalidad de peces.

La Secretaría de Medio Ambiente de la Gobernación de Santa Cruz informó que, en los análisis y mediciones, se observaron alteraciones en los niveles de temperatura, oxígeno y conductividad, confirmando de esta manera la contaminación de las aguas.

El Arroyo Mil Varas del Municipio de Mineros es un área que se dedica a la producción agrícola donde se realizan trabajos de riego, con aditivos tóxicos o no (fertilizantes, fungicidas, plaguicidas, entre otros). Es sabido que en el aprovechamiento agrícola el clima juega un papel muy importante al producir precipitaciones que, a veces, producen rebalses en los terrenos de las zonas de cultivo, que, por escorrentías, desembocan en el Arroyo Mil varas, ocasionando su contaminación.

Según EL DEBER, los resultados de saturación de oxígeno disuelto en el agua alcanzaron a 16% (EL DEBER, 2017) siendo que lo normal debe ser mayor al 60%, según se estipula en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, RMCH y el anexo 1 (Nacional, 2017).

Los macroinvertebrados acuáticos son organismos que funcionan como bioindicadores naturales, existiendo una preferencia por este tipo de organismo que radica en su tamaño relativamente grande (visibles a simple vista), su muestreo no es difícil y a que existen técnicas de muestreo estandarizadas que no requieren equipos costosos, además presentan ciclos de desarrollo lo suficientemente largos, que les hace permanecer en los cursos de agua el tiempo suficiente para detectar cualquier alteración, y la diversidad que presentan es tal, que hay una gama de tolerancia frente a diferentes parámetros de contaminación (Alba, Tercedor, 1996).

El índice Biological Monitoring Working Party, BMWP, es un método simple que asigna un puntaje a todos los grupos de macroinvertebrados identificados a nivel familia, teniendo como requisito datos cualitativos de presencia o ausencia.

El puntaje asignado va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia a la contaminación: las familias más sensibles tienen una puntuación de 10 y las menos sensibles de 1 (Alba, Tercedor, 1996).

Se realizaron ajustes a este índice debido a las diferentes adaptaciones en la fauna existente en distintos ríos de Sudamérica (Rocabado, Goitia, 2011), y, aun así, presenta errores en su adaptación para Bolivia por lo que será comparado con el índice de hábitat fluvial y el índice de Calidad de Bosque de Ribera.

## DESARROLLO

Se realizó la visita a dos arroyos del municipio de Mineros, el primero es el Arroyo Mil Varas, el segundo un arroyo que no cuenta con un nombre propio en la zona, por lo tanto, fue definido como Arroyo Sin Identificación.

Para determinar la situación actual de los arroyos se utilizaron índices morfoestructurales y variables fisicoquímicas, tales como Índice de Hábitat Fluvial (IHF), Índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR) y toma de muestras de agua para análisis fisicoquímicos.

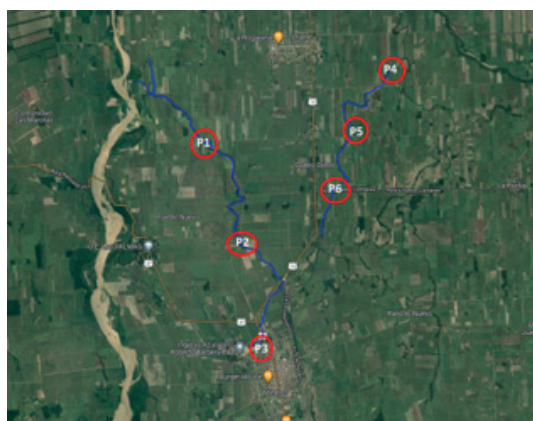


Figura 1. Estaciones de muestreo del Arroyo Mil Varas y Arroyo sin Identificación

Tabla 1. Coordenadas UTM de las estaciones de muestreo

| Estación | Coordenadas               |
|----------|---------------------------|
| P1       | X:480658,24; Y:8116864,75 |
| P2       | X:473911,00; Y:8112364,00 |
| P3       | X:474663,00; Y:8108183,00 |
| P4       | X:478920,95; Y:8117842,73 |
| P5       | X:478923,05; Y:8117845,23 |
| P6       | X:477316,04; Y:8114028,00 |

Se realizó el análisis del Arroyo Mil Varas y del Arroyo Sin Identificación para determinar los sitios de referencia y perturbados. El sitio de referencia debe tener características morfoestructurales a priori, estén o no en mejores condiciones que los sitios perturbados.

Los sitios de referencia y perturbados a priori presentan que:

El agua discurre sobre suelo cargado de lodos negros en el lecho del cauce, los cuales se encontraban fijados por materia orgánica en descomposición.

La vegetación de ribera no existe o se compone por especies de árboles y arbustos autóctonos, los cuales no tienen conexión con un ecosistema forestal adyacente dado que existen campos de cultivos adyacentes al bosque de ribera. Además, es posible observar un grado alto de turbidez del agua con presencia de espuma flotante.

La diferenciación se realizó por el grado de turbidez del agua: menor en los sitios de referencia y mayor en los sitios perturbados.

La determinación del Índice de Hábitat Fluvial, IHF, se realizó en un transecto de 50 m, donde fuera posible indicar la inclusión de rápidos-sedimentación, frecuencia de rápidos, composición del sustrato, regímenes de velocidad/profundidad, porcentaje de sombra en el cauce, elementos de heterogeneidad y la cobertura de vegetación acuática.

Donde se observó un valor más alto significaba que habría una mayor cantidad de hábitats acuáticos que albergaban una mayor biodiversidad de organismos.

Los resultados obtenidos para los sitios de referencia se reportan en la tabla 2. Mientras que en la tabla 3, se reportan los resultados obtenidos para los sitios perturbados.

Tabla 2. Puntuaciones del Índice de Hábitat Fluvial para los sitios de referencia

| Estación:  | P4   | Puntuación | P5   | Puntuación | P6                            | Puntuación |
|--|--|------------|--|------------|-------------------------------|------------|
| <b>Inclusión de rápidos - sedimentación pozas</b>                                  |  |            |  |            |                               |            |
| Solo pozas   | Sedimentación > 60%                              | 0          | Sedimentación > 60%                            | 0          | Sedimentación > 60%           | 0          |
| <b>Frecuencia de rápidos</b>   |  |            |  |            |                               |            |
| Solo pozas   | Si   | 2          | Si   | 2          | Si                            | 2          |
| <b>Composición del sustrato</b>  |  |            |  |            |                               |            |
| bloques y piedras, %   | 0  | 0          | 0  | 0          | 0                             | 0          |
| Cantos y gravas %  | 0  | 0          | 0  | 0          | 0                             | 0          |
| Arena, %   | 1-10   | 2          | 1-10   | 2          | 1-10                          | 2          |
| Limo arcilloso, %  | >10  | 5          | >10  | 5          | >10                           | 5          |
| <b>Regímenes de velocidad profundidad; Somero &lt; 0,5 m/s, lento &lt; 0,3 m/s</b> |  |            |  |            |                               |            |
| Somero o lento   | Solo 2 de los 4, profundo-rápido y somero-rápido | 6          | Solo 2 de los 4, profundo-lento y somero-lento | 6          | Solo 1 de los 4, somero-lento | 4          |
| <b>Porcentaje de sombra en cauce</b>   |  |            |  |            |                               |            |
|  | Grandes claros                                   | 5          | Grandes claros                                 | 5          | Expuesto                      | 3          |
| <b>Elementos de heterogeneidad</b>   |  |            |  |            |                               |            |
| Hojarasca  | >75  | 2          | >75  | 2          | >75                           | 2          |
| Presencia de troncos y ramas   | Si   | 2          | Si   | 2          | Si                            | 2          |
| Raíces expuestas   | Si   | 2          | Si   | 2          | Si                            | 2          |
| Diques naturales   | Si   | 2          | Si   | 2          | Si                            | 2          |
| <b>Cobertura de vegetación acuática</b>  |  |            |  |            |                               |            |
| plon + briofitos, %  | 10-50  | 10         | 0  | 0          | < 10                          | 5          |
| Pecton, %  | 10-50  | 10         | 0  | 0          | < 10                          | 5          |
| fanerógamas + charales, %  | 10-50  | 10         | 0  | 0          | < 10                          | 5          |
| <b>Sumatoria</b>   |  | <b>53</b>  |  | <b>28</b>  |                               | <b>37</b>  |

**CALIDAD ECOLÓGICA DEL AGUA EN EL "ARROYO MIL VARAS", DEL MUNICIPIO DE MINEROS, PROVINCIA OBISPO SANTISTEVAN, DEPARTAMENTO DE SANTA CRUZ**

Tabla 3. Puntuaciones del Índice de Hábitat Fluvial para los sitios perturbados

| Estación:  | P1   | Puntuación | P2   | Puntuación | P3                            | Puntuación |
|--|--|------------|--|------------|-------------------------------|------------|
| <b>Inclusión de rápidos - sedimentación, pozas</b>                                 |  |            |  |            |                               |            |
| Solo pozas   | Sedimentación > 60%                            | 0          | Sedimentación > 60%                            | 0          | Sedimentación > 60%           | 0          |
| <b>Frecuencia de rápidos</b>   |  |            |  |            |                               |            |
| Solo pozas   | Si   | 2          | Si   | 2          | Si                            | 2          |
| <b>Composición del sustrato</b>  |  |            |  |            |                               |            |
| Bloques y piedras, %   | 0  | 0          | 0  | 0          | 0                             | 0          |
| Cantos y gravas %  | 0  | 0          | 0  | 0          | 0                             | 0          |
| Arena, %   | 1-10   | 2          | 1-10   | 2          | 1-10                          | 2          |
| Limo arcilloso, %  | >10  | 5          | >10  | 5          | >10                           | 5          |
| <b>Regímenes de velocidad profundidad; Somero &lt; 0,5 m/s, lento &lt; 0,3 m/s</b> |  |            |  |            |                               |            |
| Somero o lento   | Solo 2 de los 4, profundo-lento y somero-lento | 6          | Solo 2 de los 4, profundo-lento y somero-lento | 6          | Solo 1 de los 4, somero-lento | 4          |
| <b>Porcentaje de sombra en cauce</b>   |  |            |  |            |                               |            |
|  | Expuesto                                       | 3          | Grandes claros                                 | 5          | Expuesto                      | 3          |
| <b>Elementos de heterogeneidad</b>   |  |            |  |            |                               |            |
| Hojarasca  | >75  | 2          | >75  | 2          | >75                           | 2          |
| Presencia de troncos y ramas   | Si   | 2          | Si   | 2          | Si                            | 2          |
| Raíces expuestas   | Si   | 2          | Si   | 2          | Si                            | 2          |
| Diques naturales   | Si   | 2          | Si   | 2          | Si                            | 2          |
| <b>Cobertura de vegetación acuática</b>  |  |            |  |            |                               |            |
| placon + briofitos, %  | 0  | 0          | 0  | 0          | < 10                          | 5          |
| Pecten, %  | 0  | 0          | 0  | 0          | < 10                          | 5          |
| Fanerógamas + charales, %  | 0  | 0          | 0  | 0          | < 10                          | 5          |
| <b>Sumatoria</b>   |  | <b>26</b>  |  | <b>28</b>  |                               | <b>37</b>  |

Con la ayuda de un profesional biólogo, especialista en plantas, proveniente del Área de Botánica del Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado se lograron identificar las siguientes plantas in situ para evitar transportar muestras de plantas a laboratorio, reduciendo así el tiempo de procesamiento de muestra.

Las plantas autóctonas encontradas en los puntos de muestreo fueron:

Motacu, *Attalea Speciosa*, Pacay, *Inga Feuillei*, Espino blanco, *Crataegus Monogyna*, Palo diablo, *Bocconia Arborea*, Pica pica, *Mucuna Pruriens*, Toco toco, *Tecoma stans*.

Tabla 4a. Resultados obtenidos de la planilla de Calidad de Bosque de Ribera

| Estación   | Puntuación |           |          |
|--|------------|-----------|----------|
|  | P1         | P2        | P3       |
| <b>Grado de cubierta de la zona de ribera</b>  |            |           |          |
| 10 – 50% de cubierta vegetal de la zona de ribera.   | 5          | 5         | 0        |
| Si la conectividad de entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es inferior al 25%. | 0          | 0         | 0        |
|  | -10        | -10       | -10      |
| <b>Estructura de la cubierta (se contabiliza la zona de ribera)</b>                                    |            |           |          |
| Cobertura de árboles inferior al 50% y el resto de la cubierta con arbustos entre 10 y 25%.            | 5          | 5         | 5        |
|  | 5          | 5         | 5        |
| Si en la orilla la concentración de helofitos o arbustos es entre 25 y 50%                             | -          | -         | -        |
| <b>Calidad de la cubierta (depende del tipo geomorfológico de árboles o arbustos autóctonos)</b>       |            |           |          |
| Número de especies de árboles o arbustos autóctonos.   | 5          | 10        | 0        |
| Si hay estructuras construidas por el hombre.  | -          | 5         | -5       |
|  | 5          | 5         | -5       |
| Si el número de especies de arbustos es >4   | -          | -         | -        |
| <b>Grado de naturalidad del canal fluvial</b>  |            |           |          |
| El canal del río no ha estado modificado.  | 25         | 10        | -10      |
| Signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río.               | -          | -         | 5        |
|  | 25         | 10        | 0        |
| Si existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río.   | -          | -         | -        |
| <b>Modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal</b>              |            |           |          |
| <b>Sumatoria</b>   | <b>35</b>  | <b>20</b> | <b>5</b> |

Para completar los 4 apartados de la metodología QBR se realizó un transecto de 50 m a ambos lados de la zona de ribera, identificando las características morfoestructurales que son: grado de cubierta de la zona de ribera, estructura de la cubierta, calidad de la cubierta y grado de naturalidad del canal fluvial.

Tabla 4b. Resultados obtenidos de la planilla de Calidad de Bosque de Ribera

| Estación   | Puntuación |           |           |   |    |   |
|--|------------|-----------|-----------|---|----|---|
|  | P4         | P5        | P6        |   |    |   |
| <b>Grado de cubierta de la zona de ribera</b>  |            |           |           |   |    |   |
| 10 – 50% de cubierta vegetal de la zona de ribera.   | 5          | 5         | 0         |   |    |   |
| Si la conectividad de entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es inferior al 25%. | -10        | -10       | -10       |   |    |   |
| <b>Estructura de la cubierta (se contabiliza la zona de ribera)</b>                                    |            |           |           |   |    |   |
| Cobertura de árboles inferior al 50% y el resto de la cubierta con arbustos entre 10 y 25%.            | 5          | 5         | 5         |   |    |   |
|  | 10         | 15        | 15        |   |    |   |
| Si en la orilla la concentración de helofitos o arbustos es entre 25 y 50%                             | 5          | 10        | 10        |   |    |   |
| <b>Calidad de la cubierta (depende del tipo geomorfológico de árboles o arbustos autóctonos)</b>       |            |           |           |   |    |   |
| Número de especies de árboles o arbustos autóctonos.   | 5          | 10        | 0         |   |    |   |
| Si hay estructuras construidas por el hombre.  | -5         | 0         | -5        | 5 | -5 | 0 |
| Si el número de especies de arbustos es >4   | -          | 5         | -         |   |    |   |
| <b>Grado de naturalidad del canal fluvial</b>  |            |           |           |   |    |   |
| El canal del río no ha estado modificado.  | -          | -         | -         |   |    |   |
| Signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río.               | -          | -         | -         |   |    |   |
|  | 0          | 0         | 0         |   |    |   |
| Sí existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río.   | 10         | 10        | -10       |   |    |   |
| Modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal                     | -10        | -10       | 10        |   |    |   |
| <b>Sumatoria</b>   | <b>10</b>  | <b>20</b> | <b>15</b> |   |    |   |

Tabla 5. Segunda parte de la planilla de Calidad de Bosque de Ribera para el apartado 3



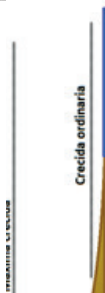



| Estación | Tipo de desnivel de la zona riparia  | Pendiente | Existencia de una isla o islas en el medio del lecho del río. | Porcentaje de sustrato duro con incapacidad para enraizar una masa vegetal permanente, % | Puntuación total | Tipo geomorfológico según la puntuación   |
|----------|--|-----------|---|--|------------------|---|
| P1       |   | <20       | No  | 20 a 30  | 4                | <5 Tipo 3 Riberas extensas, tramos bajos de los ríos, con elevado potencial para poseer un bosque extenso |
| P2       |    | <20       | No  | 20 a 30  | 4                |   |
| P4       |   | <20       | No  | 20 a 30  | 4                |   |
| P5       |   | <20       | No  | 20 a 30  | 4                |   |
| P6       |   | <20       | No  | 20 a 30  | 4                |   |
| P3       |  | 40 45     | No  | 20 a 30  | 6                |   |



Tabla 6. Resultado obtenido de la sumatoria de la planilla de Calidad de Bosque de Ribera

| Estación | Interpretación                       | Rango de puntuación | Color y Valor obtenido calidad |
|----------|--------------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| P1       | Alteración fuerte, mala.             | 30 - 50             | 35                             |
| P2       | Degradación extrema, calidad pésima. | <25                 | 20                             |
| P3       | Degradación extrema, calidad pésima. | <25                 | 5                              |
| P4       | Degradación extrema, calidad pésima. | <25                 | 10                             |
| P5       | Degradación extrema, calidad pésima. | <25                 | 20                             |
| P6       | Degradación extrema, calidad pésima. | <25                 | 15                             |

Los resultados de los análisis microbiológicos y fisicoquímicos se muestran en la tabla.

Tabla 7. Resultados de análisis microbiológicos y fisicoquímicos de muestras de agua de las diferentes estaciones

| Parámetros                       | Límite | P1   | P2   | P3   | P4   | P5   | P6    |
|----------------------------------|--------|------|------|------|------|------|-------|
| Coliformes fecales, NMP/100 ml.  | < 1000 | 2100 | 2400 | 4300 | 930  | 1500 | 1500  |
| DBO5 Total, mg/l.                | < 20   | < 4  | < 4  | < 4  | < 4  | < 4  | < 4   |
| DQO, mg/l.                       | < 40,0 | 48,1 | 48,9 | 41,7 | 37,0 | 41,1 | 32,8  |
| Fosfato, mg/l.                   | 1,0    | 1,31 | 0,66 | 0,09 | 0,22 | 0,23 | 0,23  |
| Grasas y aceites, mg/l.          | 0,3    | 1,3  | <1,0 | <1,0 | <1,0 | <1,0 | <1,0  |
| Hierro, mg/l.                    | 0,50   | 0,51 | 4,53 | 2,68 | 0,85 | 0,77 | 00,57 |
| Nitratos, mg/l.                  | 50     | < 5  | < 5  | < 5  | < 5  | < 5  | < 5   |
| Nitrógeno total, mg/l.           | 12,0   | 10,3 | 3,6  | 2,3  | 2,2  | 2,1  | <2,0  |
| Sólidos disueltos totales, mg/l. | 1500   | 1920 | 590  | 590  | 404  | 412  | 468   |
| Sólidos suspendidos, mg/l.       | 60     | 34   | 134  | 96   | 19   | 19   | 14    |

La comunidad de macroinvertebrados acuáticos taxonómicamente estaba constituida por 3 *Phyllum*, 7 Clases, 20 Órdenes, 57 Familias, distribuidas en un total de 5644 individuos colectados. El *Phyllum Arthropoda*, *Mollusca* y *Annelida* fueron los más representativos, denotándose la importancia de la clase Insecta, *Gastropoda* y *Ciliceta*; por su frecuencia, el orden *Hemiptera* (14 %), *Diptera* (14 %), *Basommatophora* (11 %), *Coleóptera* (10 %), *Ephemeroptera* (10 %), *Odonata* (8%), *Haplotaixida* (7%), *Trichoptera* (7%), *Sorbeoconcha* (7%), *Arhynchobdellida* (6%), *Unionoidea* (4%) y otras de menor frecuencia de aparición (<2%) las cuales fueron *Amphypoda*, *Lepidóptera*, *Decápoda*, *Hirudínea*, *Architaeniglossa*, *Mesogastropoda*, *Entomobryomorpha*, *Heterostropha* y *Trombidiformes*.

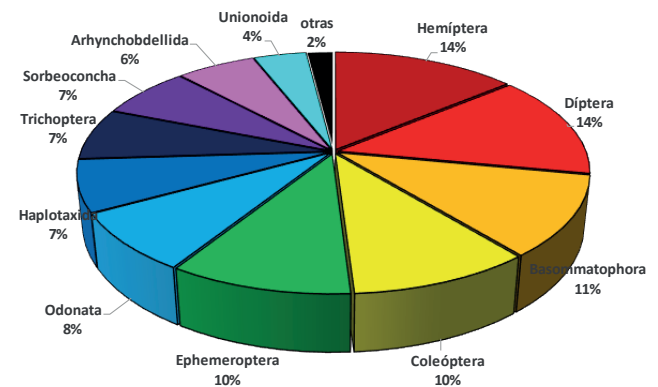


Figura 2. Grupos taxonómico con mayor frecuencia de aparición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos (MIA)

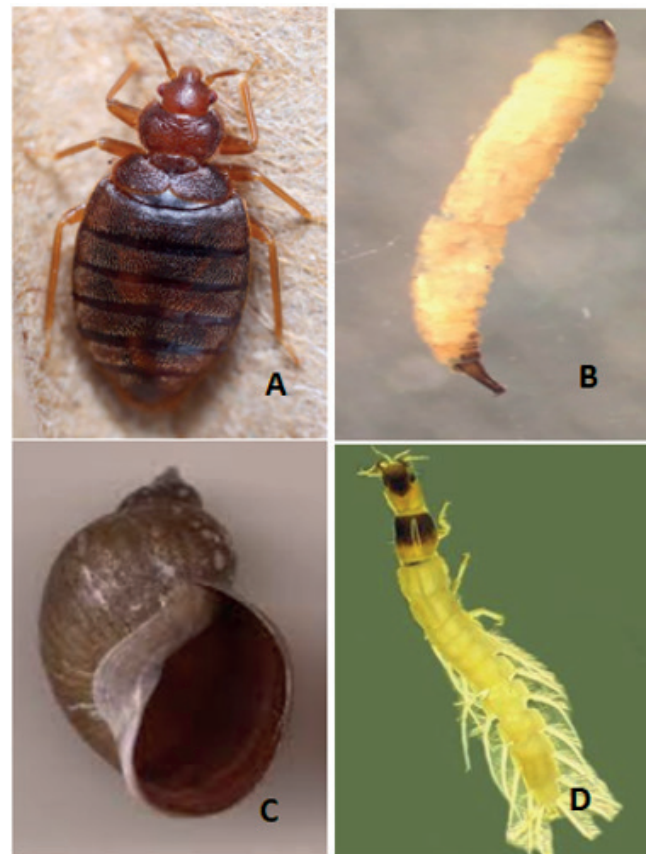


Figura 3. Orden de macroinvertebrados acuáticos: A) Hemiptera, B) Diptera, C) Basommatophora, D) Coleoptera

Respecto a la composición y estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, el lugar con mayor riqueza correspondió al:

- P3 con 32 Familias,
- P1 con 16 familias,
- P2 con 16 familias,
- P4 con 24 familias,
- P5 con 32 familias,
- P6 con 28 familias.

La abundancia de las comunidades de MIA no siguió los mismos patrones de riqueza de familias, pudiendo observarse que el P3 presenta la mayor abundancia registrada, con un promedio de 471,78 individuos colectados. Los puntos P1 y P2 presentaron abundancias similares promedio de 51,06 y 51,00 individuos respectivamente y los puntos P4, P5 y P6 presentaron abundancias similares en promedio de 129,81; 149,45 y 113,91 respectivamente, de individuos promedio colectados por puntos.

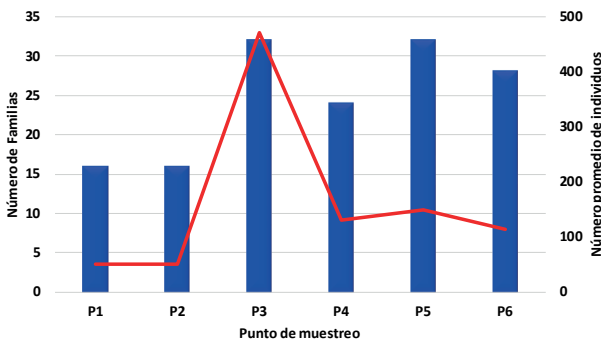


Figura 4. Composición y abundancia de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en los puntos de muestreo

El conjunto de familias de MIA clasificados como Bioindicadores de calidad buena de agua, *Caenidae*, *Calopterygidae*, *Chrysomelidae*, *corixidae*, *Hydrobiosidae*, *Hydropsychidae*, *Hydroptilidae*, *Leptoceridae*, *Leptophlebiidae*, *Palaemonidae*, *Pyralidae*, *Scirtidae*, se encontraron solo en el Arroyo Sin Identificación, presentando valores de contaminantes menores al Arroyo Mil Varas.

Para la determinación del índice biótico BMWP/Bol se procedió a la toma de muestras de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en los dos arroyos, en un espacio de 50 m de longitud por cada punto de muestreo en cada arroyo. Para la toma de muestras biológicas se utilizó una Red Surber de 900 cm<sup>2</sup> y de 250 μm de apertura de malla para cada punto, obteniéndose 7 muestras, recolectándose un área total de 0,63 m<sup>2</sup> para cada punto.

Una vez concluida la toma de muestras en campo, se procedió a realizar la separación, identificación de las comunidades de los MIA y la correspondencia de las familias encontradas con las del índice biótico BMWP/Bol para determinar la calidad de agua en cada uno de los puntos de muestreo.

Se obtuvo el valor del índice biótico para cada uno de los sitios de muestreos.

En los sitios catalogados como Sistemas Perturbados (P1, P2, P3), la calidad del agua variaba entre agua dudosa y de buena calidad, mientras que en los catalogados como Sistemas de Referencia (P4, P5, P6), la calidad del agua variaba entre agua aceptable y de buena calidad. El P3 se catalogó como un sitio perturbado a priori, cuya calidad de agua era Buena, para la fecha que fue tomada la muestra, contrastando con los puntos P1 y P2 que muestran aguas de dudosa calidad.

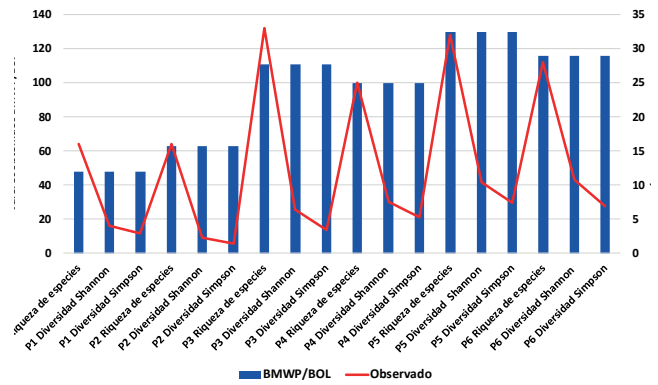


Figura 5. Valores obtenidos del BMWP/Bol en los puntos de muestreo

La correspondencia de la riqueza específica de los valores obtenidos del índice BMWP/Bol, con excepción de los índices de diversidad de Shannon y Simpson invertido, no muestran una tendencia que relacione con el BMWP/Bol.

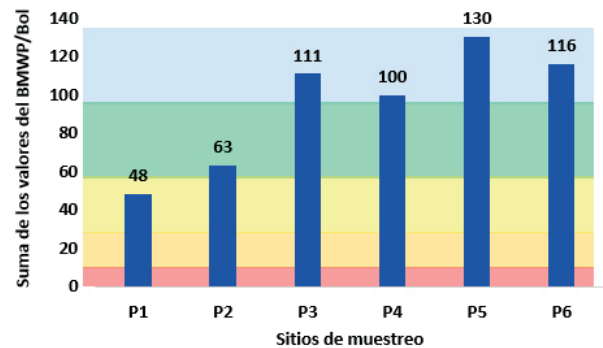


Figura 6. Comparación entre los valores del BMWP/Bol y los índices de diversidad

## DISCUSIÓN

La morfoestructura de los hábitats fluviales se determinó mediante el índice de Hábitat Fluvial, el cual se diferencia de manera importante en los sitios perturbados con los de sitio de referencia.

En el Arroyo Mil Varas se evidencia que existen perturbaciones de origen antrópico, caracterizados por las aguas que discurren sobre sedimento (lodos negros) en mayor proporción que los Sitios de Referencia.

Las principales diferencias entre los Sitios de Referencia y Perturbados son la presencia de vegetación acuática (mayor en los Sitios Perturbados) y la prevalencia de aguas claras (mayor en los Sitios de Referencia).

El Índice de calidad de bosque de ribera, QBR, no diferencia de manera importante en los Sitios de Referencia y Sitios Perturbados. Donde hay diferencia en los Sitios de Referencia y Perturbados es en las áreas con baja cobertura vegetal de ribera y los suelos donde se producen cultivos, que suelen ser más inestables.

El bosque de ribera en Sitios de Referencia y Sitios Perturbados se caracteriza por la presencia de árboles y arbustos autóctonos, denotándose que la cobertura vegetal en todos los puntos evaluados es menor al 50 %, con ninguna conexión a un bosque forestal (por los cultivos aledaños a los cuerpos de agua estudiados).

Según los resultados de los análisis fisicoquímicos se observa que los Sitios Perturbados tienden a tener valores más altos que en los Sitios de Referencia, indicando que el Arroyo Mil Varas

está más contaminado que el Arroyo Sin Identificación, según el RMCH de la Ley de Medio Ambiente N° 1333.

La comunidad de macroinvertebrados acuáticos taxonómicamente se constituye en 57 familias distribuidas en un total de 5644 individuos.

El *phylum Arthropoda*, *Mollusca* y *Annelida* fueron las más representativas denotando la importancia de la clase *insecta*, *gastropoda* y *Ctillela* por su frecuencia.

Las familias que son clasificadas como bioindicadores de buena calidad de agua sólo se encontraron en el Arroyo Sin Identificación: *Caenidae*, *Calopterygidae*, *Chrysomelidae*, *corixidae*, *Hydrobiosidae*, *Hydropsychidae*, *Hydroptilidae*, *Leptoceridae*, *Leptophlebiidae*, *Palaemonidae*, *Pyralidae*, *Scirtidae*.

En los sitios evaluados no hubo contraste con los niveles de cobertura obtenidos, siendo estos muy similares entre sí,

además de ser valores bastantes elevados, cercanos al 100 %, mostrando que el ensamblaje es completo y que se realizó una comparación confiable.

La calidad del agua del arroyo Mil Varas y Sin Identificación fue evaluada a través del índice biótico BMWP/Bol, en base a la fauna de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, que indica que, en los puntos P3 P4, P5, P6, muestran Buena calidad del agua, más no así en los puntos P1, P2 que presentan dudosa y aceptable calidad de agua, respectivamente.

Es importante indicar que existe diferencia temporal en la toma de muestra de MIA: los puntos P1 y P2 fueron tomadas en el mes de abril de 2021 (húmeda) y los puntos P3, P4, P5, P6 fueron tomadas en el mes de mayo de 2021 (seca), lo que podría suponer algún sesgo en la toma de muestras de MIA, en la obtención de los valores del BMWP/Bol, de la composición y estructura de los MIA.

## REFERENCIAS

- ALBA TERCEDOR, J. (1996). Macroinvertebrados Acuáticos Y Calidad De Las Aguas De Los Rios 1. ISBN, II, 203-213. <https://doi.org/10.1080/11250009409355910>
- BAILEY, R. C., R. H. N., T. B. R. (2003). Bioassessment of freshwater ecosystems using the reference condition approach.
- CÁRDENAS, N. C. (2014). La economía del cambio climático en Bolivia: Cambios en la demanda hídrica. *Iadb.Org*. <https://publications.iadb.org/en/handle/11319/6523>
- DEL PILAR, M., PULIDO, A., LILIA ÁVILA DE NAVIA, S., MÓNICA, S., TORRES, E., CRISTINA, A., & PRIETO, G. (2015). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. In *hemeroteca.unad.edu.co*. <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/nova/article/view/338>
- EL DEBER (2017). Muestras confirman contaminación en arroyo Mil Varas. [https://eldeber.com.bo/santa-cruz/muestras-confirman-contaminacion-en-arroyomil-varas\\_79800](https://eldeber.com.bo/santa-cruz/muestras-confirman-contaminacion-en-arroyomil-varas_79800)
- FORNO, E., TINKAZOS, G. P., & 2010, U. (2010). Contaminación ambiental y actores sociales en Bolivia: Un balance de la situación. *Scielo.Org.Bo*. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1990-74512010000300013&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1990-74512010000300013&script=sci_arttext)
- HAUN, R. S., & FORTES, J. A. (2015). Utilización de los índices de hábitat fluvial, bosque de ribera y macrófitas para la determinación de calidad del recurso hídrico del estero catapilco, región de valparaíso.
- NACIONAL E. D. (2017). Contaminación Causa mortandad de Peces en el Arroyo Mil Varas. [https://www.eldiario.net/noticias/2017/2017\\_07/nt170709/nacional.php?n=75&-contaminacion-causa-mortandad-de-peces-en-arroyo-mil-varas](https://www.eldiario.net/noticias/2017/2017_07/nt170709/nacional.php?n=75&-contaminacion-causa-mortandad-de-peces-en-arroyo-mil-varas)
- ROCABADO, G., GOITIA, E. (Universidad M. de S. S. (2011). Guía para la Evaluación de la Calidad Acuática Mediante el índice BMWP / Bol (MMAyA (ed.))

## CITA

