

2. CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Concepto de cuenca hidrográfica

Según Harbaugh (1972) la cuenca hidrográfica es un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, que dispone de una salida simple para que todo el caudal efluente sea descargado.

2.2. Manejo de cuenca

El manejo de cuencas consiste en aprovechar y conservar los recursos naturales en función de las necesidades del hombre, para que pueda alcanzar una adecuada calidad de vida en armonía con su medio ambiente. Por lo que habrá que conservarlos en calidad y cantidad (Ramakrisha, 1997).

El indicador más común para evaluar si una cuenca está bien manejada o no es la cantidad, calidad y frecuencia de descarga de agua proveniente de la misma y el nivel de producción que se obtiene por unidad de área. El agua refleja el nivel de protección y la producción refleja el nivel de aprovechamiento. Ambos son indicadores del grado de conservación de la cuenca y sus recursos (FAO, 1992).

2.3. Calidad de agua

La calidad del agua, de acuerdo a la OMS y otros organismos internacionales, se puede resumir como las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano.

La calidad de agua describe la condición de un cuerpo de agua y su aptitud para diferentes propósitos. En un cuerpo de agua saludable, la calidad de agua está asociada a la sobrevivencia de una rica y variada comunidad biótica, al uso humano, como fuente de agua potable y/o recreación, y a las aplicaciones agrícolas del recurso. (Tortorelli, 2009).

Las aguas superficiales son en general más vulnerables a la contaminación de origen antropogénico que las aguas subterráneas, por su exposición directa a la actividad

humana. Por otra parte, una fuente superficial puede restaurarse más rápidamente que una fuente subterránea a través de ciclos de escorrentía estacionales. Los efectos sobre la calidad serán distintos para lagos y embalses que, para ríos y diferentes para acuíferos de roca o de arena y grava (Cammaerts D. 1996).

El término calidad, referido a las aguas continentales, no es un concepto absoluto ni de fácil definición. Por el contrario, es un concepto relativo que depende del destino final del recurso. Por ejemplo, las aguas fecales en ningún caso se podrían considerar de calidad apropiada para la bebida, por los problemas sanitarios que conllevaría su uso. Sin embargo, por su alto contenido en materia orgánica podrían resultar excelentes para el riego de plantas ornamentales o de plantaciones forestales. Del mismo modo aguas de alta montaña, que intuitivamente se asociarían con pureza y buena calidad, podrían resultar poco apropiadas para la bebida al calmar escasamente la sed, por su bajo contenido en sales y por su bajo pH que les confiere un carácter corrosivo del esmalte dental (Alba-Tercedor, 1996). No obstante, algunos autores definen la calidad del agua como su aptitud para los usos beneficiosos a que se ha venido dedicando en el pasado, es decir, como medio de sustento para el ser humano y los animales, para el riego de la tierra y la recreación entre otras cosas (Correa, 2000).

2.3.1. Evaluación biológica de la calidad de las aguas

Los organismos vivos que habitan en los cursos de agua presentan adaptaciones evolutivas a unas determinadas condiciones ambientales, y unos límites de tolerancia a las diferentes alteraciones de las mismas. Estos límites de tolerancia varían, así frente a una determinada alteración se encuentran organismos “sensibles” que no soportan las nuevas condiciones impuestas, comportándose como “intolerantes”, mientras que otros, que son “tolerantes” no se ven afectados. Si la perturbación llega a un nivel letal para los intolerantes, estos mueren y su lugar es ocupado por comunidades de organismos tolerantes. (Alba -Tercedor 1996).

Del mismo modo, aun cuando la perturbación no sobrepase el umbral letal, los organismos intolerantes abandonan la zona alterada, con lo cual dejan espacio libre que puede ser colonizado por organismos tolerantes. De modo que, variaciones inesperadas

en la composición y estructura de las comunidades de organismos vivos de los ríos pueden interpretarse como signos evidentes de algún tipo de contaminación. (Alba - Tercedor 1996).

Las comunidades que se pueden utilizar como indicadores y el tipo de contaminación que se puede evaluar a través de estas comunidades se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Comunidades útiles que pueden utilizarse para la detección y seguimiento de presiones de contaminación

Tipo de Contaminación	Comunidad				
	Fitoplancton	Microalgas	Macrófitos	Macroinvertebrados bentónicos	Ictiofauna
Térmica	•			•	
Mineralización (conductividad)	•	•	•	•	
Eutrofización (N y P)	•	•	•	•	•
Orgánica	•	•		•	
Acidificación		•			
Turbidez			•		•
Metales pesados				•	
Variaciones de caudal				•	
Variación de la morfología del lecho				•	

Fuente: (MMAyA, 2012)

Los macroinvertebrados bentónicos son los indicadores de mayor espectro para ser utilizados, tanto en ríos como lagos para la determinación de las condiciones biológicas de los cuerpos de agua.

2.3.2. Macroinvertebrados bentónicos

Según Alba Tercedor (1996) el término macro invertebrados se utiliza comúnmente para referirse a animales invertebrados tales como insectos, moluscos y anélidos entre otros, los cuales habitan principalmente sistemas acuáticos. El tamaño puede llegar a 500µm (0.5 mm). Los macro invertebrados pueden pertenecer al necton cuando nadan; o al bentos si se encuentran fijos, temporal o permanentemente en plantas, detrito, y

cualquier otro substrato, como sedimentos, grava, y arena de ecosistemas lóticos y lénticos.

Las razones fundamentales de esta preferencia por parte de los investigadores en estimación de la calidad de agua, radican en su tamaño relativamente grande (visible a simple vista), que su muestreo no es difícil y que existen técnicas de muestreo muy 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 casi infinita gama de tolerancia frente a diferentes parámetros de contaminación (Hallewell, 1986).

Figura 1. Macroinvertebrados Bentónicos “Orden Ephemeroptera”



Fuente: MMAyA, 2012.

En consecuencia, los métodos biológicos presentan la ventaja de reflejar las condiciones existentes tiempo atrás antes de la toma de muestras; mientras que los métodos tradicionales físico - químicos ofrecen tan solo una visión de la situación puntual del estado de las aguas en el momento de la toma de muestras

2.3.2.1. Hábitat y locomoción de los macroinvertebrados

Los animales de agua dulce se pueden clasificar basándose en donde se encuentran en el cuerpo de agua y su manera de moverse. Algunos viven en la superficie del agua (neuston) mientras que otros permanecen suspendidos en la columna del agua (plancton) o bien nadan activamente (necton). Estos grupos generalmente no habitan en aguas con corriente y pueden ser muy abundantes y diversos en lagos y lagunas. La

mayoría de los animales dulceacuícolas viven sobre algún tipo de sustrato, ya sea en el fondo (bentos) o en los tallos de plantas acuáticas, madera, rocas. (Hanson et al, 2010)

2.3.3. Macroinvertebrados como indicadores de calidad en los ríos

El uso de los macroinvertebrados bentónicos para la vigilancia de la calidad de las aguas superficiales es una práctica habitual desde que se clasificaron los organismos según su tolerancia a diversos grados de contaminación.

Para su aplicación y adopción se viene trabajando en la elaboración de índices bióticos basados en el análisis de la diversidad y estructuras de las comunidades de macroinvertebrados que existen en las diferentes regiones de nuestro país.

Los índices bióticos son herramientas de valoración de la calidad del agua basados en las diferentes respuestas, grado de sensibilidad o tolerancia que pueden presentar los organismos acuáticos a las alteraciones de su medio. La mayoría de los índices bióticos se han elaborado para usarlos en un área geográfica concreta y, posteriormente, se han adaptado a otras zonas adecuando las listas de taxones y los valores de sensibilidad. En general los índices bióticos precisan muestreos cualitativos o semicuantitativos (MMAyA, 2015).

Entre los índices bióticos más utilizados cabe citar los siguientes:

- TBI (Trent biotic Index).
- EBI (Extended Biotic Index).
- BS (Biotic Score).
- BMWP (Biological Monitoring Working Party).
- ASPT (Average Score per Taxon).
- IBE (Indice biotico Esteso, para los ríos italianos).
- BBI (Belgian Biotic Index, para los ríos de Bélgica).

2.3.4. Evaluación biológica de la calidad de las aguas, con el índice BMWP/Bol

En Gran Bretaña, al amparo del “National Water Council”, (Armitage *et al*, 1983), ordenaron las familias de macroinvertebrados acuáticos en 10 grupos siguiendo un

gradiente de menor a mayor tolerancia a la contaminación. A cada familia le hicieron corresponder una puntuación que oscila entre 10 y 1. Con este sistema de puntuación era posible comparar la situación relativa entre estaciones de muestreo. Aplicando a los ríos peninsulares, presentaba el problema de que no todas las familias de macroinvertebrados que habitan los ríos peninsulares estaban incluidas en la tabla original. Por otro lado, el mayor número de especies con diferentes comportamientos respecto de la polución, implica la necesidad de cambiarle la puntuación original.

Un primer intento de adaptación a Península Ibérica fue publicado por Alba-Tercedor y Jimenez – Millan (1987). Para ello añadieron nuevas familias a la tabla original, y se cambiaron la puntuación de algunas. Para distinguir la nueva tabla adaptada a la fauna ibérica se le llamo BMWP’.

Si bien con este sistema era posible obtener unas puntuaciones para comparar situaciones de calidad. Sin embargo. No permitía emitir juicios respecto de la situación de calidad. Es por ello que se correlacionaron los valores del BMWP’ con cinco grados de contaminación, asignándoles una significación respecto la misma (Alba-Tercedor y Sánchez- Ortega, 1988).

El índice BMWP, presenta una mayor versatilidad razón por la cual muchos países lo adoptaron incluyendo Bolivia que fue elaborado en coordinación entre el Ministerio de Medio Ambiente y Agua y la Unidad de Limnología y Recursos Acuáticos de la Universidad Mayor de San Simón (BMWP/Bol).

En general, para la aplicación del índice BMWP/Bol se requiere de un muestreo de tipo cualitativo que incluya todas las familias de macroinvertebrados que habiten en el tramo en estudio del cuerpo de agua. El índice se obtiene de la suma de las puntuaciones asignadas a las familias que se han identificado en la muestra.

La puntuación total del índice BMWP/Bol varía por lo general entre 0 y > 100. Para su interpretación, estas puntuaciones se agrupan en cinco rangos que corresponden a los niveles de estado del cuerpo de agua. Estos rangos, incluye una representación en colores (MMAyA, 2015).

3. CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Zona de estudio

El presente trabajo se realizó en la cuenca del Río Campanario, correspondiente al departamento de Tarija, Provincia Arce, Municipio de Padcaya, en la Comunidad La Merced (Mapa 1). La microcuenca Campanario, forma parte de la subcuenca hidrográfica del Orozas, a su vez ella tributa a la cuenca del río Bermejo, ubicada geográficamente en los paralelos de 22° 0'20.96" de Latitud Sur y meridianos 64°38'50.54" de Longitud Oeste a una altitud media de 1509 m.s.n.m. distante aproximadamente a 70 km de la ciudad de Tarija.

En lo que atañe a la investigación se realizó en el tramo del río Campanario, que cuenta con una longitud de 8.47 km, la microcuenca Campanario comprende un área de 29.42 km², con un perímetro de 26.39 km.

Tabla 2. Tramo del río Campanario.

CUENCA EN ESTUDIO	LONGITUD
Río Campanario	8.47 (Km)

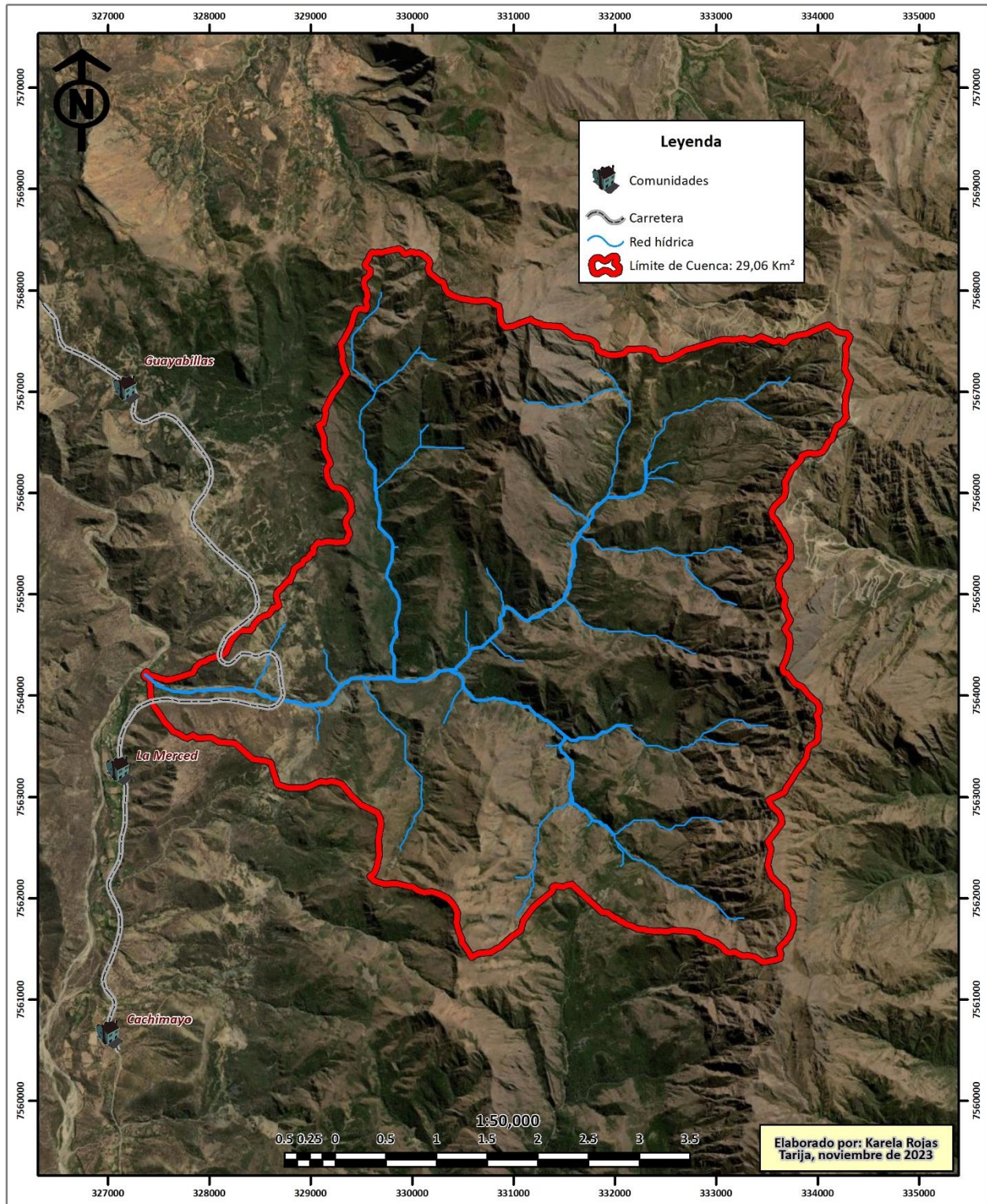
Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Perfil altitudinal del río Campanario.



Fuente: Elaboración propia

Mapa 1. Ubicación de la microcuenca Campanario.



Fuente: Elaboración propia

3.2. Características generales de la zona

3.2.1. Características geológicas y geomorfológicas

3.2.1.1. Geología

Desde el punto de vista estructural, el municipio de Padcaya, muestra dos estilos tectónicos bien definidos que corresponden a las provincias geológicas de Cordillera Oriental y Sierras Subandinas (MMAyA , 2022), donde se encuentra la microcuenca Campanario sujeta a estudio.

El estilo estructural de las Sierras Subandinas presentan principalmente estructuras plegadas traducidas en anticlinales y sinclinales buzantes, con ejes de dirección NE-SO, que configuran serranías bajas con valles intermedios por los que fluyen cursos de aguas subsecuentes. Por lo general los anticlinales están afectados por fallas longitudinales de tipo inverso, caso de la falla paralela al río Grande de Tarija – Itaú que de S a N progresivamente secciona formaciones del jurásico-cretácico, permotriásico, carbonífero, devónico y carbonífero en contacto con el terciario subandino (MMAyA , 2022).

Los anticlinales son asimétricos y preferentemente tienen núcleo de rocas devónicas ó carboníferas, mientras que los sinclinales mayormente núcleo de formaciones terciarias, a veces jurástico-cretácicas. En las sierras Subandinas la tectónica guarda íntima relación con la red de drenaje como bien lo expresa la regulación estructural de los ríos tributarios Salinas, Chiquiacá e Itaú, emplazados en depresiones sinclinales, y cuyos cursos hasta su desemboque sobre el río Tarija siguen además el rumbo de las formaciones en manifiesta subsecuencia estratigráfica. Esta comarca está limitada al O por un fallamiento alineado según la serranía El Cóndor-Ñauparuna (Cabalgamiento Frontal Principal); al N por las nacientes de los ríos Itaú, Chiquicá y Salinas; al E por la sierra de Macueta y al S por los ríos Bermejo y Grande de Tarija (límite entre Argentina y Bolivia). Estratigráficamente, está integrada de rocas del Devónico (Formaciones Los Monos e Iquiri), Carbonífero (Grupos Macharetí y Mindeyutí), Perno-Triásico (Grupo Cuevo), Jurásico- Creácico (Formaciones Entre Ríos, Grupo

Tacurú), vastos depósitos del Terciario rellenando los valles sinclinales de Tariquía, Emborozú, Río Salado, Chiquicá, y sedimentos del Cuaternario, (MMAyA , 2022).

3.2.1.2. Geomorfología

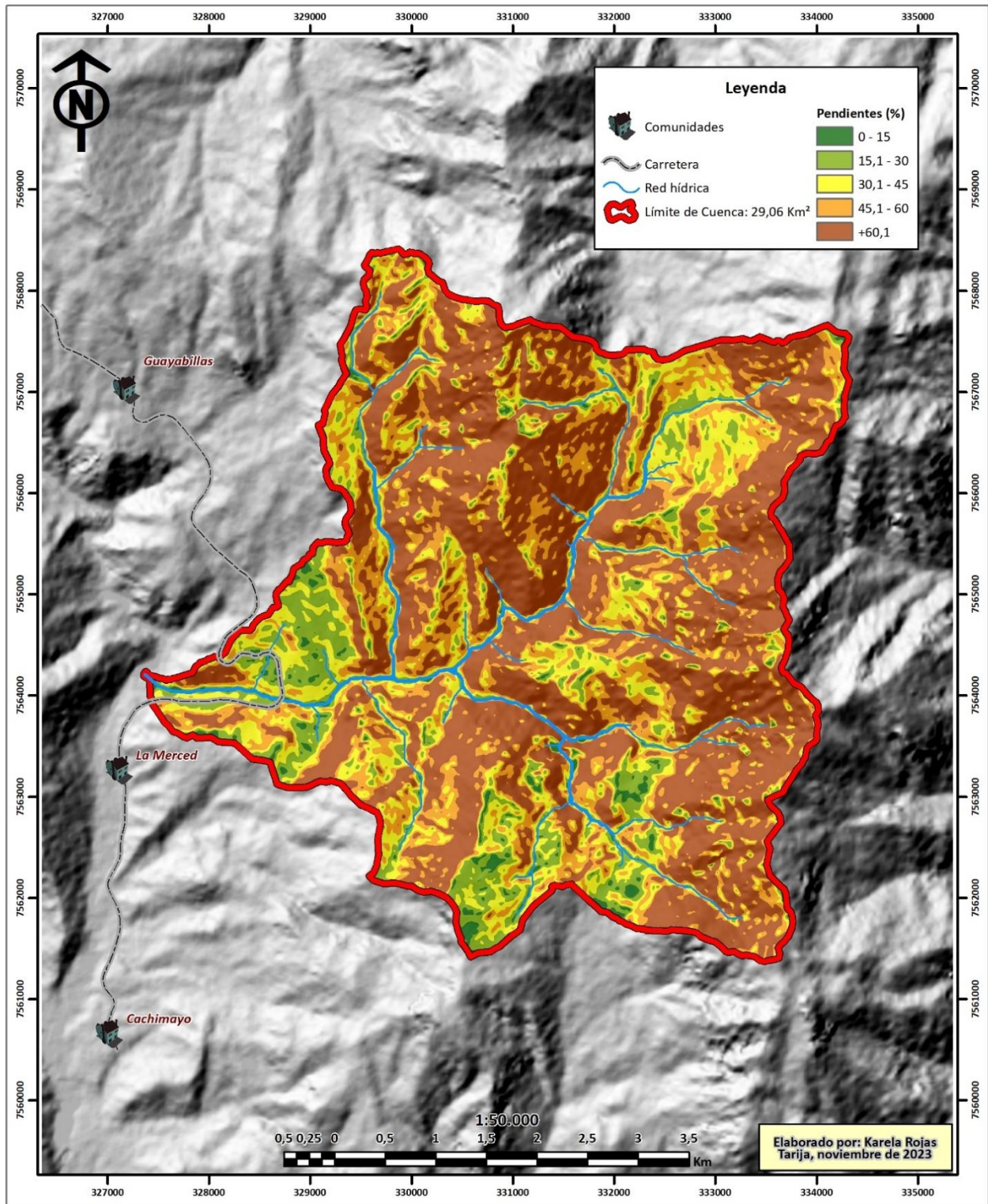
El municipio de Padcaya presenta características geomórficas complejas, como resultado de los movimientos tectónicos geodinámicos internos y geodinámicos externos; los mismos que son responsables del desarrollo y evolución del paisaje actual, diferenciando dos provincias fisiográficas bien caracterizadas: la Cordillera Oriental y el Subandino (MMAyA , 2022), donde se encuentra la cuenca de estudio.

Las serranías del Subandino se tipifican por presentar una preponderante orientación norte-sur, como también un fuerte control estructural por plegamientos, fallas y la presencia de prominentes pendientes estructurales. Las colinas del subandino están íntimamente asociadas con los paisajes de serranías y corren prácticamente en forma paralela a éstas y a los valles que ocupan la parte más baja del paisaje de manera que están aledañas prácticamente a todas las poblaciones importantes de las provincias (MMAyA , 2022).

Se trata de colinas altas, medias y bajas, de cimas redondeadas a subredondeadas y formas convexas, modeladas mayoritariamente en areniscas, conglomerados y material de origen aluvial y coluvial; pendientes convexas de escarpadas a moderadamente escarpadas; disección de moderada a fuerte, ocasionalmente muy fuerte; y en muchas situaciones, sujetas a procesos de erosión acelerada (MMAyA , 2022).

En el paisaje de valles, las llanuras aluviales y sus márgenes se encuentran terrazas amplias y piedemontes, que al igual que los valles andinos, tienen una incidencia importante en el desarrollo agrícola. Lo propio sucede con los piedemontes aledaños a los cursos de los ríos principales. Las llanuras aluviales están principalmente conformadas por material clástico no consolidado, como gravas, arenas y arcillas de diversa dimensión, redondeamiento y selección; como también materiales de origen coluvial y aluvial. Las pendientes son planas, ligeramente inclinadas a ligeramente onduladas, donde la disección es prácticamente nula (MMAyA , 2022).

Mapa 2. Mapa de pendientes de la microcuenca Campanario.



Fuente: Elaboración Propia

3.2.2. Características edáficas

Según MMAyA (2022). Las características físicas de los suelos varían de acuerdo a la posición fisiográfica en que se encuentren, pero de manera general, se puede decir que los suelos ubicados en los complejos montañosos son poco profundos, generalmente tienen un contacto lítico próximo y se evidencia presencia de afloramientos rocosos, siendo su textura de pesada a mediana.

Los suelos ubicados en la zona de pie de monte y terrazas aluviales son de moderadamente profundos a profundos, la textura es de media a liviana en los horizontes superiores y más pesada en los horizontes profundos, particularmente en las terrazas subcrecientes.

La comunidad La Merced presenta los suelos superficiales a moderadamente profundos, drenaje de moderado a imperfectamente drenados, con textura franco arenosa, la reacción es ligeramente ácida a ácida, la fertilidad natural es baja.

3.2.3. Características climáticas

El área de influencia presenta un tipo de clima templado semihúmedo. En general, el verano se caracteriza principalmente por una temperatura y humedad relativa alta y masas de aire inestables, produciéndose precipitaciones aisladas de alta intensidad y corta duración (MMAyA , 2022).

Por otro lado, el invierno se caracteriza por temperaturas y humedad relativa generalmente bajas y la ausencia de precipitaciones, asociadas a la llegada de frentes fríos provenientes del sur, llamados "surazos".

La temperatura media anual es de 16.7 °C, con una máxima y mínima promedio de 24.6 °C y 8.8 °C respectivamente. Los días con helada se registran en los meses de mayo a septiembre. La humedad relativa promedio es de 67%. La dirección del viento predominante es el Sur - Este con una velocidad promedio de 2.6 Km/hr. Las precipitaciones pluviales anuales de la microcuenca son de 524.4 mm. (MMAyA , 2022).

3.2.4. Características de flora y fauna

3.2.4.1. Flora

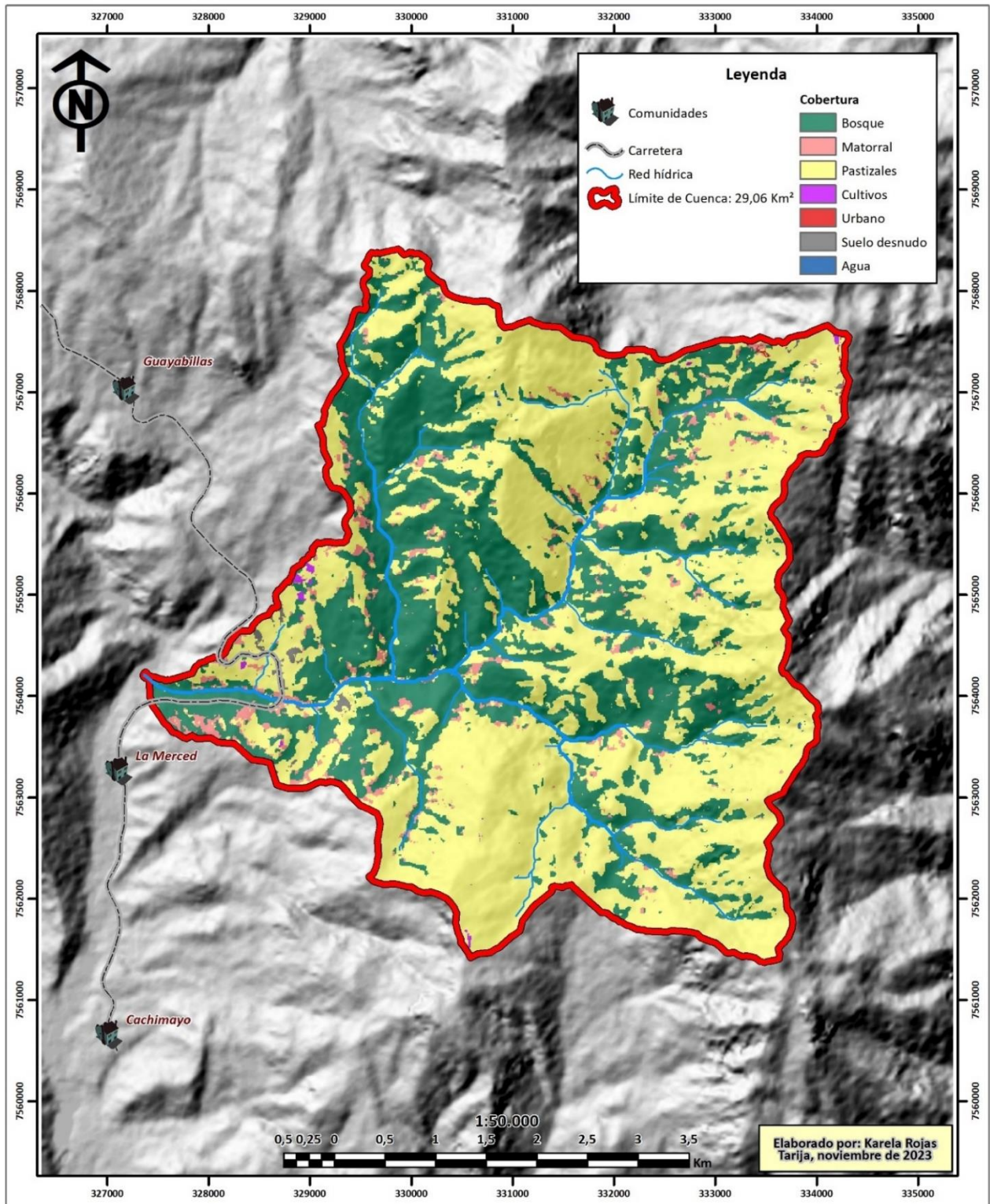
Según el MMAyA (2022). El área se caracteriza por estar ubicada en una zona de transición fisiográfica que cubren una secuencia de serranías y colinas subparalelas y alongadas en dirección norte-sur que está cubierta por diversos tipos de vegetación: pastizales, arbustales altoandinos, pajonales-arbustales y matorrales-pastizales, matorrales xerofíticos de los valles interandinos y matorrales y bosques del chaco serrano.

Tabla 3. Principales especies de flora.

Nombre Científico	Nombre Común
<i>Acacia aroma</i> Gillies ex Hook. & Arn.	Tusca
<i>Acacia caven</i> (Mol.) Hook. & Arn.	Churqui negro
<i>Acacia praecox</i> Griseb.	Garabato
<i>Acacia</i> sp.	Satajchi
<i>Acacia</i> sp.4	Garrancho
<i>Acacia visco</i> Lorentz ex Griseb.	Jarca
<i>Acalypha</i> sp.	Cascarilla
<i>Acanthospermum hispidum</i> De Candolle	Foro toro
<i>Acaulimalva dryadipoloa</i> (Solms) Krap	Alteia blanca
<i>Aegopogon</i> sp.	Bramilla de campo
<i>Adiantum pectinatum</i> Ettingsh.	Helecho, cedacillo
<i>Adiantum</i> sp.	Acherilla, culantrillo
<i>Alchemilla pinnata</i> Ruiz & Pavón	Hierba arrocillo
<i>Allionia incarnata</i> L.	Flor rosada violeta
<i>Allophylus edulis</i> Radlkofer	Chalchal
<i>Aloysia</i> cf. <i>fiebrigii</i> (V. Hayek) Moldenke	Cedrón
<i>Aloysia gratissima</i> (Gillies & Hook. & Arn.) Tronco.	Cedrón de monte
<i>Aloysia</i> sp.1	Salvia
<i>Aloysia</i> sp.2	Tisma
<i>Althermantera mexicana</i> Hieron.	moco moco
<i>Anemia herzogii</i> Rosenstock	Helecho con flor
<i>Anisacanthus</i> cf. <i>caducifolius</i> (Griseb.) Lindau	Canutillo
<i>Anoda cristata</i> (L.) Schlechtdl.	Queso queso-quesillo
<i>Aristida adscencionis</i> L.	Cola de zorro
<i>Aristida mandoniana</i> Henr.	Pasto

Fuente: (MMAyA, 2022).

Mapa 3. Mapa de cobertura y uso de la vegetación.



Fuente: Elaboración propia

3.2.4.1. Fauna

Existe una gran diversidad de especies de animales silvestres, entre mamíferos, aves, reptiles y peces, algunos de ellos en peligro de extinción (MMAyA , 2022).

Tabla 4. Principales especies de fauna

Nombre Común	Nombre Científico
Mamíferos:	
Comadreja	<i>Didelphis albiventris</i>
Zorro andino	<i>Pseudolapex culpaeus</i>
Zorrino común	<i>Conepatus chinga rex</i>
Puma o León	<i>Puma concolor</i>
Puercoespín, erizo	<i>Coendou prehensilis</i>
Viscacha	<i>Lagidium viscacia</i>
Liebre	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>
Liebre europea	<i>Lepus europaeus</i>
Taruca	<i>Hippocamelus antisensis</i>
Aves:	
Cóndor	<i>Vultur gryphus</i>
Aguila	<i>Harpyhaliaetus solitarius</i>
Loro alizero	<i>Amazona tucumana</i>
Buitre	<i>Coragyps atratus</i>
Cuvi	<i>Buteo magnirostris</i>
Leque leque	<i>Vanellus chilensis</i>
Serere chico	<i>Guira guira</i>
Hornero	<i>Furnarius rufus</i>
Perdices	<i>Crypturellus tataupa</i>
Teru teru	<i>Vanellus chilensis</i>
El atrapamoscas	<i>Tyrannus melancholicus</i>
La Golondrina	<i>Notiochelidon cyanoleuca</i>
Reptiles	
Coral	<i>Micrurus frontales</i>
Cascabel	<i>Crotalus durissus terrificus</i>
Peces	
Mojarra	<i>Acrobrycon tarijae</i>

Fuente: (MMAyA , 2022).

3.3. Materiales

3.3.1. Materiales de campo

- Red Surber de 300 a 500 μm , tamaño de 80 x 30 cm^2 .
- Red de mano tipo “D” de 250 μm
- Alcohol al 70%.
- GPS.
- Cinta métrica.
- Frascos plásticos, 500 ML.
- Pinzas finas, 12 cm.
- Etiquetas adhesivas, (masking).
- Marcador permanente.
- Lápiz negro.
- Baldes blancos, 20 L.
- Piseta, 250 ml.
- Planillas de campo.
- Cámara digital.

3.3.2. Materiales de laboratorio

- Uniforme de laboratorio (guantes, barbijo, bata blanca).
- Cajas Petri, 5 cm.
- Porta y cubreobjetos.
- Microscopio.
- Pinzas finas, 12 cm.
- Alcohol al 70%.
- Formol 5%.
- Lupa binocular.
- Claves taxonómicas.

3.4. Metodología

La metodología aplicada de tipo cualitativo para el presente trabajo de investigación es el Índice Biótico BMWP/Bol (Biological Monitoring Working Party/ Bolivia), mediante la utilización de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores, que asigna una puntuación a nivel de taxonómico de familia que corresponde a la sensibilidad o tolerancia que presentan con respecto al grado de polución. El índice es obtenido por la suma de las puntuaciones asignadas a cada familia identificadas en el punto de muestreo. Estas puntuaciones se agrupan en cinco rangos que corresponden a los niveles del estado de calidad del cuerpo de agua.

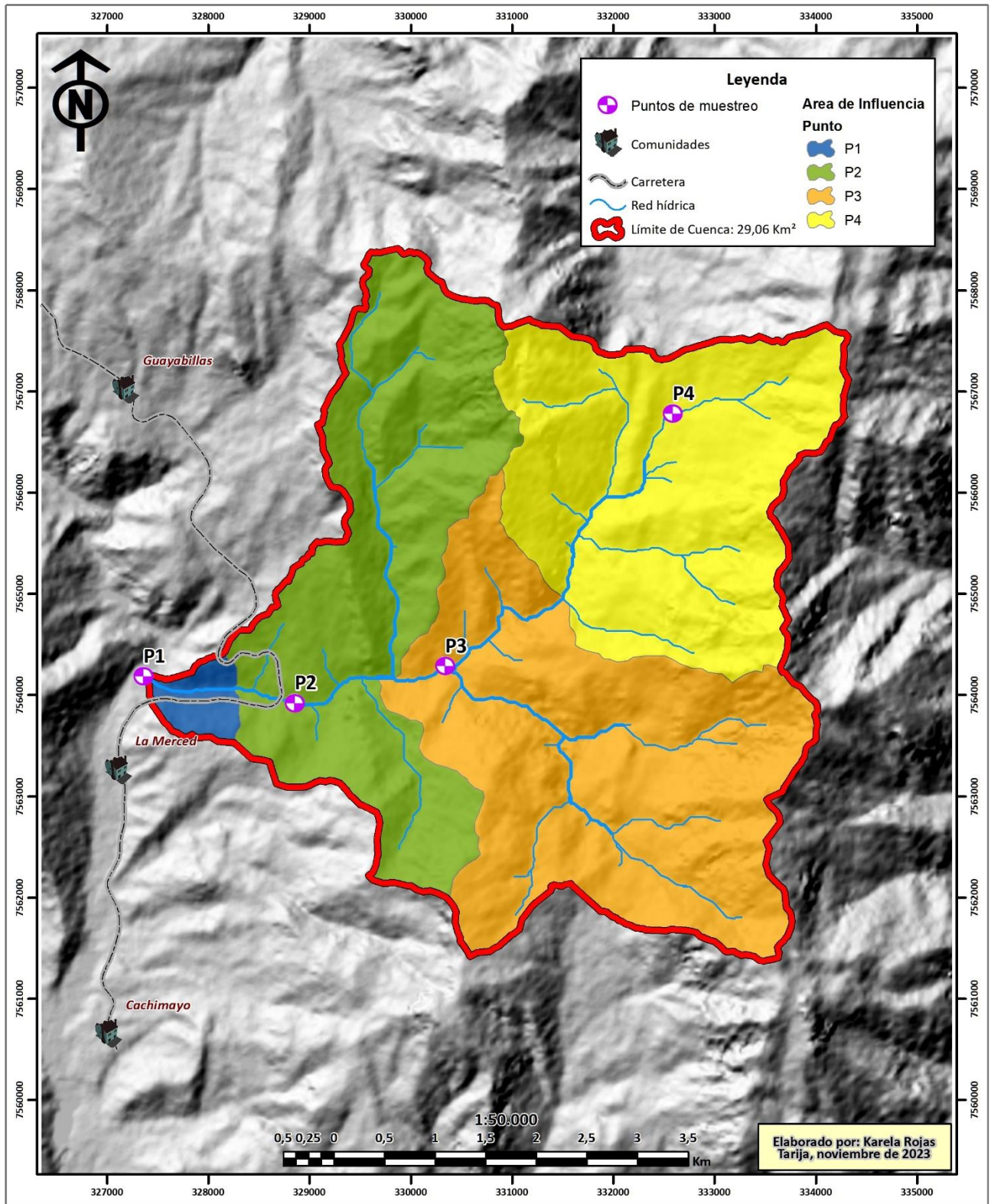
La toma de muestras corresponde a la metodología de Angieler E. que permite la comparación de una estación con otra estación y su estado de referencia. Para el presente trabajo de investigación se estableció 4 puntos de muestreo representativos tomando en cuenta el tipo de sustrato de río, la velocidad de la corriente, unidad hidrográfica, la presencia de materia orgánica y actividades antrópicas circundantes consideras posibles fuentes de contaminación (mapa 4) correspondiente al río principal de la microcuenca Campanario abarcando un total de 8.47 km de longitud del afluente, que corresponde desde el nacimiento del río Campanario hasta su desembocadura al río Orozas. En la tabla 5, se presente las características por punto de muestreo.

Tabla 5. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo

Punto de Muestreo	Características del sitio	Coordenada Sur	Coordenada Oeste	Altitud (m.s.n.m.)
P4. Naciente del río Campanario.	Corriente lenta, pendientes fuertes y valles profundos, sujeto a una alta remoción de tierra en el río, poca hojarasca y vegetación marginal	21°59'43.9"	64°37'18.0"	2417
P3. Parte media de la microcuenca.	Sistema lotico, sustrato areno – rocoso	22°01'04.2"	64°38'37.3"	1874
P2. Parte media de los puentes del río Campanario.	Situado en la intersección de dos puentes del río campanario, sistema lotico.	22°01'15.6"	64°39'29.3"	1728
P1. Desembocadura del río Campanario.	Corriente lotica, sustrato areno – rocoso con vegetación marginal, presencia de cultivos agrícolas en baja escala.	21°59'43.39"	64°37'15.65"	1669

Fuente: Elaboración propia

Mapa 4. Mapa de puntos de muestreo por área de influencia.



Fuente: Elaboración propia

La metodología BMWP/Bol está compuesta por dos fases: a) campo y b) laboratorio.

3.4.1. Fase de campo

Las estaciones de muestreo poseen diferentes tipos de microhábitats: zonas lóaticas, y lénticas. Realizando la captura de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestro y la medición de parámetros físico-químicos del agua, incluyendo las consecuencias visibles de impactos antrópicos.

3.4.1.1. Técnica de colecta de macroinvertebrados bentónicos

La técnica de colecta, consiste en colocar la malla milimétrica (Surber) y una red de mano tipo “D” de 250 micrones de apertura, sobre el fondo de los arroyos. La operación consiste en realizar movimientos de sedimentos en suspensión, arena, piedras, raíces y los fondos blandos de corrientes lénticas y lóaticas. Se recolecto también los invertebrados que nadan o caminan en la superficie del agua. La idea de este método es obtener una diversidad de fauna acuática representativa del ecosistema estudiado.

3.4.1.2. Tratamiento de los organismos acuáticos

Las muestras se colocan en baldes blancos y con la ayuda de pinzas de punta fina se extraen los organismos presentes teniendo cuidado de no maltratarlos. Las muestras se conservan en frascos identificados con las siguientes siglas: L (lugar), F (fecha), N° E (número de estación), CAL (curso de agua lóatico o léntico).

La fauna acuática que se recolectó de los puntos de muestreo se fijó en formol al 5% o alcohol al 70%, para ser trasladados al laboratorio.

3.4.2. Fase de laboratorio

Para la identificación taxonómica que corresponde a la fase de laboratorio se usaron las claves taxonómicas de Domínguez y Fernández (2009), Merrit, Cummins y Berg (2008),

En esta fase, se utilizó técnicas de clasificación taxonómicas para identificar a nivel de familia los macroinvertebrados bénticos presentes en las muestras recolectadas en el

campo. Se utiliza microscopios, lupas, pinzas y guías de identificación para examinar las características morfológicas de los organismos.

3.4.2.1. Método de índice biótico: Biological Monitoring Working Party/ Bolivia (BMWP/Bol)

Se basa en la asignación de valores de tolerancia a la contaminación a nivel taxonómico de familia de macro invertebrados bentónicos donde se establecen puntajes (Tabla 6), los valores de 10 pertenecen a los organismos menos tolerantes a la contaminación, mientras los valores de 1 pertenecen a los macroinvertebrados más tolerantes a la contaminación orgánica (Domínguez & Fernández, 1998).

Tabla 6. Evaluación de la calidad biológica del agua mediante macroinvertebrados bentónicos: Cálculo del índice BMWP/Bol.

Taxón	Pts	Taxón	Pts	Taxón	Pts
1.- Amphypoda		Stratiomyidae	4	12.- Megaloptera	
Hyalellidae	4	Tabanidae	4	Corydalidae	7
2.- Bivalvia		Tipulidae	5	13.- Nematoda	4
Hyriidae	2	6.- Ephemeroptera		14.- Odonata	
Sphaeriidae	4	Baetidae	5	Aeshnidae	6
3.- Coleoptera		Caenidae	4	Calopterygidae	7
Dryopidae	6	Euthyplociidae	9	Coenagrionidae	6
Dytiscidae	5	Leptohyphidae	7	Gomphidae	8
Elmidae	5	Leptophlebiidae	9	Libellulidae	6
Gyrinidae	4	Oligoneuriidae	9	Megapodagrionidae	8
Halplidae	4	Polymitarcyidae	9	Polythoridae	8
Heteroceridae	4	7.- Gastropoda		15.- Oligochaeta	1
Hydraenidae	7	Ampullaridae	5	16.- Ostracoda	4
Hydrophilidae	4	Ancylidae	6	17.- Plecoptera	
Luctrochidae	6	Hydrobiidae	5	Gripopterygidae	10
Noteridae	5	Lymnaeidae	4	Perlidae	10
Psephenidae	10	Physidae	4	18.- Trichoptera	
Ptilodactylidae	9	Planorbidae	4	Calamoceratidae	9
Scirtidae	7	8.- Hemiptera		Glossosomatidae	8
Staphylinidae	5	Belostomatidae	5	Helicopsychidae	8
4.- Decapoda		Corixidae	6	Hydrobiosidae	9
Aeglididae	4	Gelastocoridae	4	Hydropsychidae	5
Palaemonidae	4	Gerridae	5	Hydroptilidae	7
5.- Diptera		Hebridae	6	Leptoceridae	9
Athericidae	10	Mesovellidae	6	Limnephilidae	7
Blephariceridae	10	Naucoridae	6	Odontoceridae	10
Ceratopogonidae	4	Nepidae	5	Philopotamidae	8
Chironomidae	2	Notonectidae	6	Polycentropodidae	8
Culicidae	2	Pleidae	4	Psychomyiidae	8
Dixidae	6	Veliidae	5	Xiphocentronidae	9
Dolichopodidae	4	9.- Hydracarina	4	19.- Tricladida	
Empididae	4	10.- Hirudinea		Planariidae	4
Ephydriidae	2	Glossiphoniidae	3		
Muscidae	3	11.- Lepidoptera			
Psychodidae	6	Pyrallidae	5		
Simuliidae	8				

Fuente: (MMAyA, 2012)

La puntuación total obtenida de cada punto de muestreo, se compara con un cuadro de referencia (Tabla 7), para determinar la calidad del agua en el sitio de muestreo, que se encuadra en una de las cinco clases de calidades de agua (I a V de mayor a menor calidad). Un puntaje alto indica una buena calidad del agua, mientras que un puntaje bajo indica una mala calidad del agua.

Tabla 7. Clases de calidad del agua en función del valor del índice BMWP.

Índice BMWP	Color convencional	Calidad de agua	Grado de contaminación
120+	Azul	Muy limpia	No contaminado
101 – 120	Azul	Buena	No contaminado
61 – 100	Verde	Aceptable	Poco contaminado
36 – 60	Amarillo	Dudosa	Contaminado
16 – 35	Naranja	Crítica	Fuertemente contaminado
15 -	Rojo	Muy crítica	Excesivamente contaminado

Fuente: (MMAyA, 2012)

Finalmente, con los datos obtenidos del grado de contaminación de la tabla 7, se construyó un mapa de calidades de agua con el color correspondiente para el sistema fluvial del río Campanario.

3.4.2.2. Determinación de los índices de biodiversidad

Para estimar la biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos que son medidas utilizadas en ecología para cuantificar la biodiversidad dentro de una comunidad, en el presente trabajo de investigación se utilizó el índice de Shannon-Wiener (H'), índice de dominancia de Berger-Parker (BP) y el índice de Simpson (S).

La toma de muestras se realizó una vez por punto de muestro en el mes de septiembre y octubre (ver Anexo 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y la Tabla 8), empezando aguas abajo del final del tramo delimitado y procediendo aguas arriba, capturando primeramente los animales esquivos que viven en la superficie del agua como Gerridae, posteriormente se colocó la red Surber encarada a la corriente, para realizar el movimiento de los diferentes sustratos que habitan los macroinvertebrados bentónicos, existentes en los cuatro puntos de muestreo.

Tabla 8. Periodo de evaluación de la investigación.

Punto de Muestreo	Fecha “fase de campo”	Fecha “fase de laboratorio”
P4. Naciente del río Campanario.	2 de octubre de 2023	3 al 31 de octubre
P3. Parte media de la microcuenca.	29 de septiembre de 2023	3 al 31 de octubre
P2. Parte media de los puentes del río Campanario.	29 de septiembre de 2023	3 al 31 de octubre
P1. Desembocadura del río Campanario.	29 de septiembre de 2023	3 al 31 de octubre

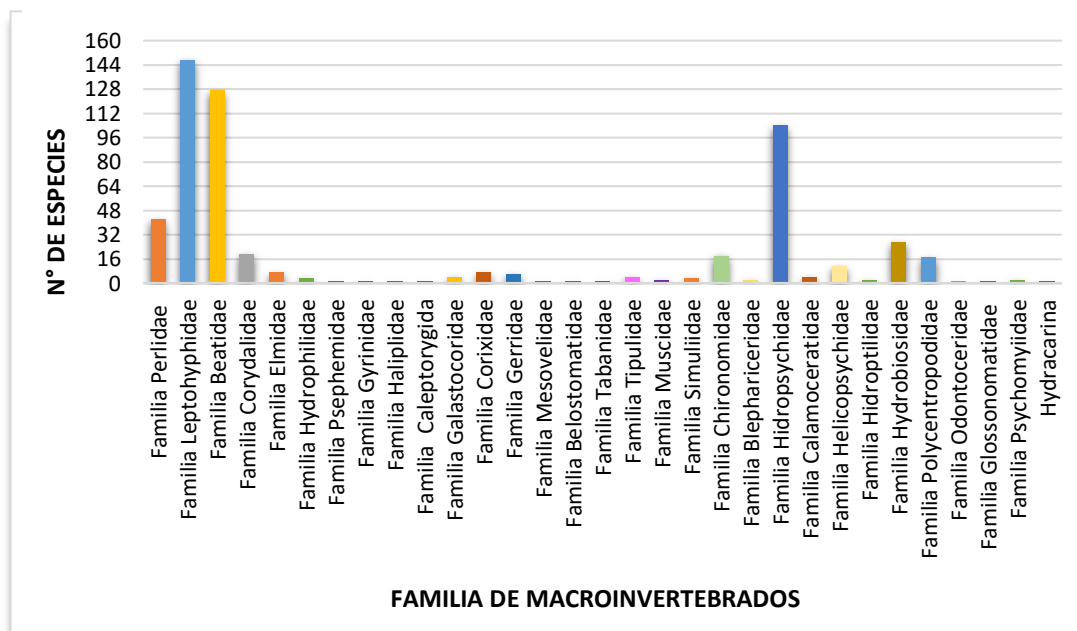
Fuente: Elaboración propia

4. CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Abundancia y diversidad de macroinvertebrados bentónicos de la microcuenca del río Campanario

La entomofauna acuática total capturada en el río Campanario es de 568 individuos en los cuatro puntos de muestreo establecidos, los cuales corresponden a 9 órdenes y 31 familias, distribuidos de la siguiente manera: el Orden Trichoptera, que presentó la mayor riqueza de familias con 9 taxa (Familia Hidropsychidae, Calamoceratidae, Helicopsychidae, Hidroptilidae, Hydrobiosidae, Polycentropodidae, Odontoceridae, Glossonomatidae, Psychomyiidae), seguido del orden díptera con 6 taxa (Tabanidae, Tipulidae, Muscidae, Simuliidae, Chironomidae, Blephariceridae), hemíptera registró 5 taxa (Familia Galastocoridae, Corixidae, Gerridae, Mesovelidae, Belostomatidae), coleóptera con 5 taxa (Familia Elmidae, Hydrophilidae, Psephenidae, Gyrinidae, Haliplidae), el orden ephemeroptera registró 2 taxa (Familia Leptohyphidae, Familia Beatidae), orden Plecoptera con una taxa (Familia Perlidae), orden Megaloptera con una taxa (familia Corydalidae), orden Odonata con una taxa (familia Caleptorygida), por último se registró el suborden Hydracarina, observados en la figura 3.

Figura 3. Número de individuos por taxa identificados en el río Campanario.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Número (Ind*m2) de especies de macroinvertebrados bentónicos en los puntos de muestreo en la microcuenca Campanario.

ORDEN	FAMILIA	N° ind/P4	N° in/P3	N° ind/P2	N° ind/P1	Total de especies	% Abundancia
Orden Plecoptera	Familia Perlidae		26	6	10	42	7,39
Orden ephemeroptera	Familia Leptohyphidae	5	89	4	49	147	25,88
	Familia Beatidae	4	46	50	27	127	22,36
Orden Megaloptera	Familia Corydalidae		4	7	8	19	3,35
Orden Coleóptera	Familia Elmidae	3	2	2		7	1,23
	Familia Hydrophilidae	2		1		3	0,53
	Familia Psephenidae				1	1	0,18
	Familia Gyrinidae		1			1	0,18
	Familia Haliplidae		1			1	0,18
Orden Odonata	Familia Calopterygidae				1	1	0,18
Orden Hemíptera	Familia Galastocoridae		2		2	4	0,70
	Familia Corixidae		1	6		7	1,23
	Familia Gerridae			1	5	6	1,06
	Familia Mesovelidae		1			1	0,18
	Familia Belostomatidae		1			1	0,18
Orden Díptera	Familia Tabanidae		1			1	0,18
	Familia Tipulidae		3	1		4	0,70
	Familia Muscidae		2			2	0,35

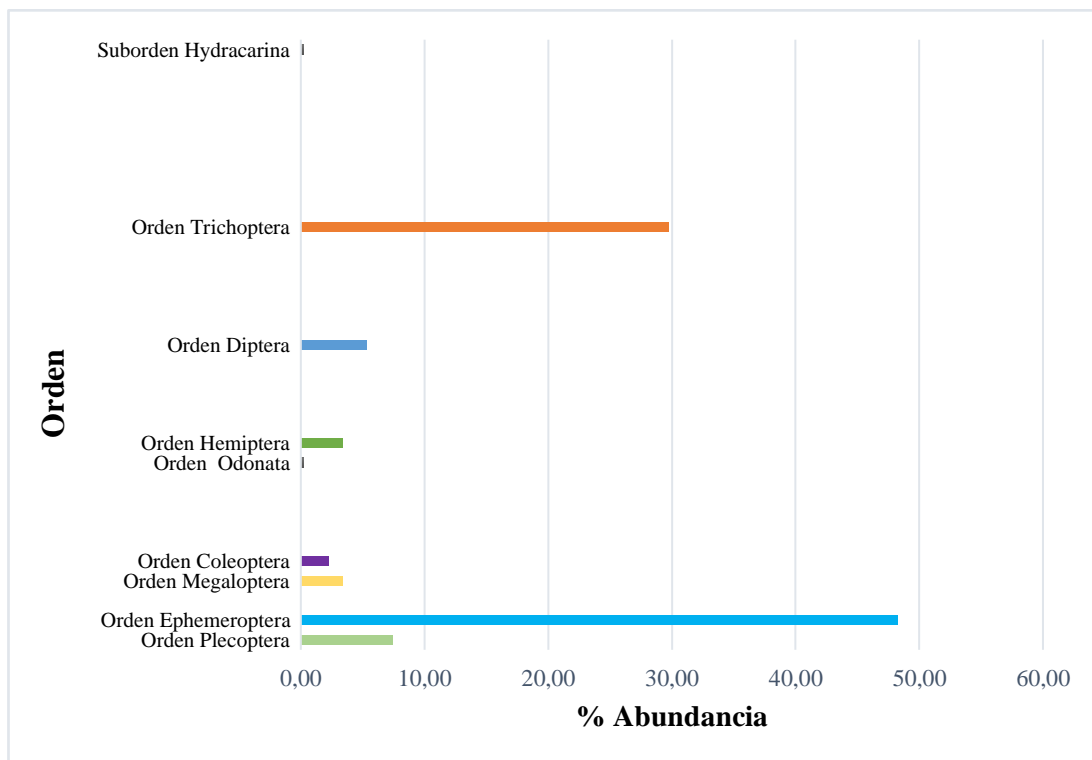
ORDEN	FAMILIA	N° ind/P4	N° in/P3	N° ind/P2	N° ind/P1	Total de especies	% Abundancia
	Familia Simuliidae			3		3	0,53
	Familia Chironomidae		11	7		18	3,17
	Familia Blephariceridae		2			2	0,35
Orden Trichoptera	Familia Hidropsychidae	1	79	10	14	104	18,31
	Familia Calamoceratidae	4				4	0,70
	Familia Helicopsychidae	11				11	1,94
	Familia Hidroptilidae		2			2	0,35
	Familia Hydrobiosidae	1	6	16	4	27	4,75
	Familia Polycentropodidae	2	3	6	6	17	2,99
	Familia Odontoceridae				1	1	0,18
	Familia Glossonomatidae	1				1	0,18
	Familia Psychomyiidae	2				2	0,35
Suborden Hydracarina					1	1	0,18
TOTAL		36	283	120	129	568	100,00

Fuente: Elaboración Propia

Para determinar la abundancia y densidad de macroinvertebrados bentónicos en el río Campanario, se capturaron todos los macroinvertebrados presentes en un área de un metro cuadrado utilizando una red Surber por punto de muestreo (P). En la Tabla 9 se muestra los resultados obtenidos en el trabajo de campo.

La abundancia de los insectos se observa principalmente cuando la precipitación pluvial es baja y disminuye cuando ésta se incrementa (Araúz *et al.*, 2000). El orden con mayor abundancia de individuos durante la investigación realizada desde septiembre a octubre fue el orden Ephemeroptera (48,24%), con las familias Leptohiphidae (25,88%), Beatidae (22,36%), el segundo con mayor abundancia de insectos fue el orden Trichoptera (29,75%), con las familias Hidropsychidae (18,31%), seguido del orden Plecoptera (7,39%), orden Díptera (5,28%), el orden Hemíptera y Megaloptera con 3,35%, orden Coleoptera con 2,29% y los órdenes con menor abundancia corresponden al orden Odonata (0,18%), con su familia Caleptorygida (0,18%), y el suorbden Hydracarina (0,18%), se observa en la Figura 4.

Figura 4. Abundancia de la entomofauna por órdenes de la microcuenca del río Campanario.



Fuente: Elaboración Propia

Durante el muestreo de todos los puntos, las familias Leptohiphidae, Beatidae, Hidropsychidae, Hydrobiosidae y Polycentropodidae se destacan por su presencia constante desde la naciente hasta la desembocadura del río Campanario.

4.2. Abundancia y diversidad de los macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo

4.2.1. Abundancia de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo

En la naciente del río Campanario (Punto 4), se encuentra la abundancia más baja con 36 ind./m² compuesto por 11 familias (Leptohiphidae, Beatidae, Elmidae, Hydrophilidae, Hidropsychidae, Calamoceratidae, Helicopsychidae, Hydrobiosidae, Polycentropodidae, Glossonomatidae, Psychomyiidae), siendo la familia más dominante Helicopsychidae con un 30,56 %, seguida de la familia Leptohiphidae con 13,89 % .

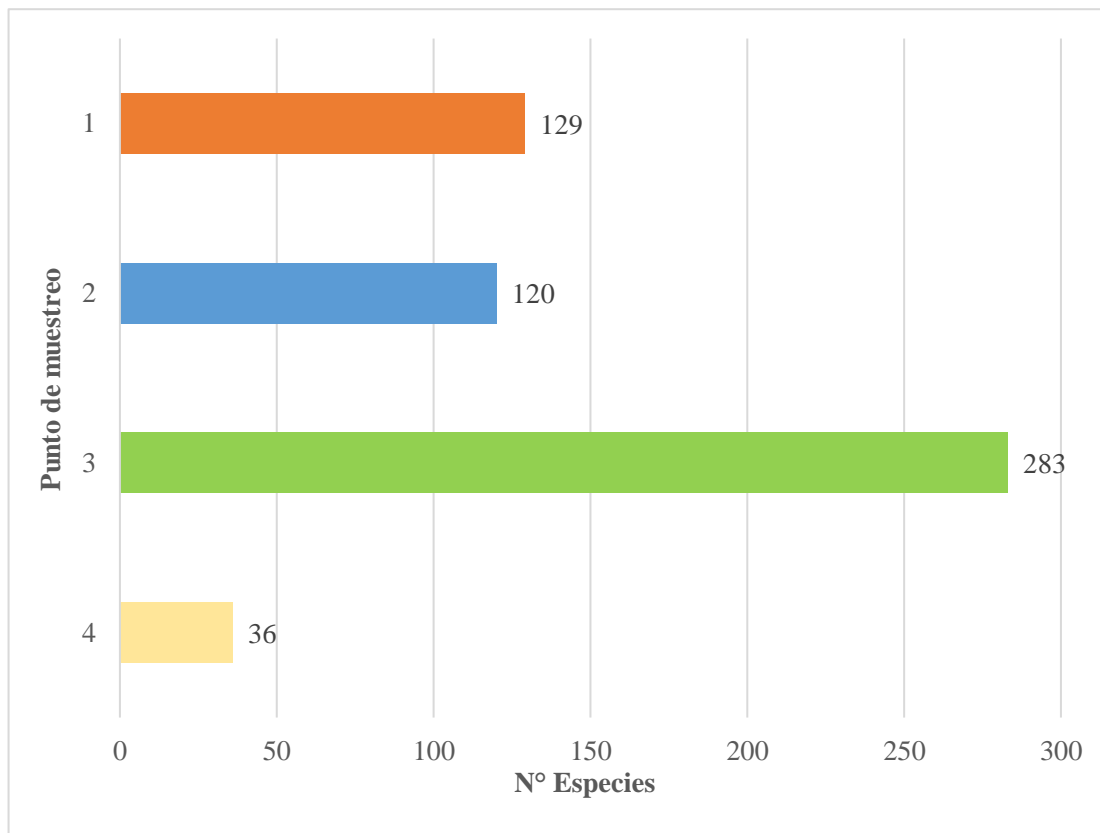
El punto de muestreo “P3”, presenta la mayor abundancia de (283 ind./m²), compuesto por 20 familias (Perlidae, Leptohiphidae, Beatidae, Corydalidae, Elmidae, Gyrinidae, Haliplidae, Galastocoridae, Corixidae, Mesovelidae, Belostomatidae, Tabanidae, Tipulidae, Muscidae, Chironomidae, Blephariceridae, Hidropsychidae, Hidroptilidae, Hydrobiosidae, Polycentropodidae), en el siguiente punto de muestreo “P2”, se obtuvieron un total de 120 ind./m², compuesto por 14 familias (Perlidae , Leptohiphidae, Beatidae, Corydalidae, Elmidae, Hydrophilidae, Corixidae, Gerridae, Tipulidae, Simuliidae, Chironomidae, Hidropsychidae, Hydrobiosidae, Polycentropodidae), el último punto de muestreo “P1” que corresponde a la desembocadura del río Campanario con un total de 129 ind./m², compuesto por 13 (Perlidae, Leptohiphidae, Beatidae, Corydalidae, Psephenidae, Caleptorygida, Galastocoridae, Gerridae, Hidropsychidae, Hydrobiosidae, Polycentropodidae, Odontoceridae).

La abundancia de macroinvertebrados en el río Campanario puede influir significativamente en la calidad del agua, según el índice BMWP (Biological Monitoring Working Party). Este índice se basa en la presencia y abundancia de ciertos grupos de macroinvertebrados que son sensibles a la contaminación. Por ejemplo, la

presencia de familias como Leptohyphidae, Perlidae e Hydropsychidae, que habitan en aguas limpias y oxigenadas, puede indicar una buena calidad del agua. Sin embargo, si la abundancia de estos macroinvertebrados disminuye y se reemplaza por grupos que son tolerantes a la contaminación, esto puede indicar un deterioro en la calidad del agua.

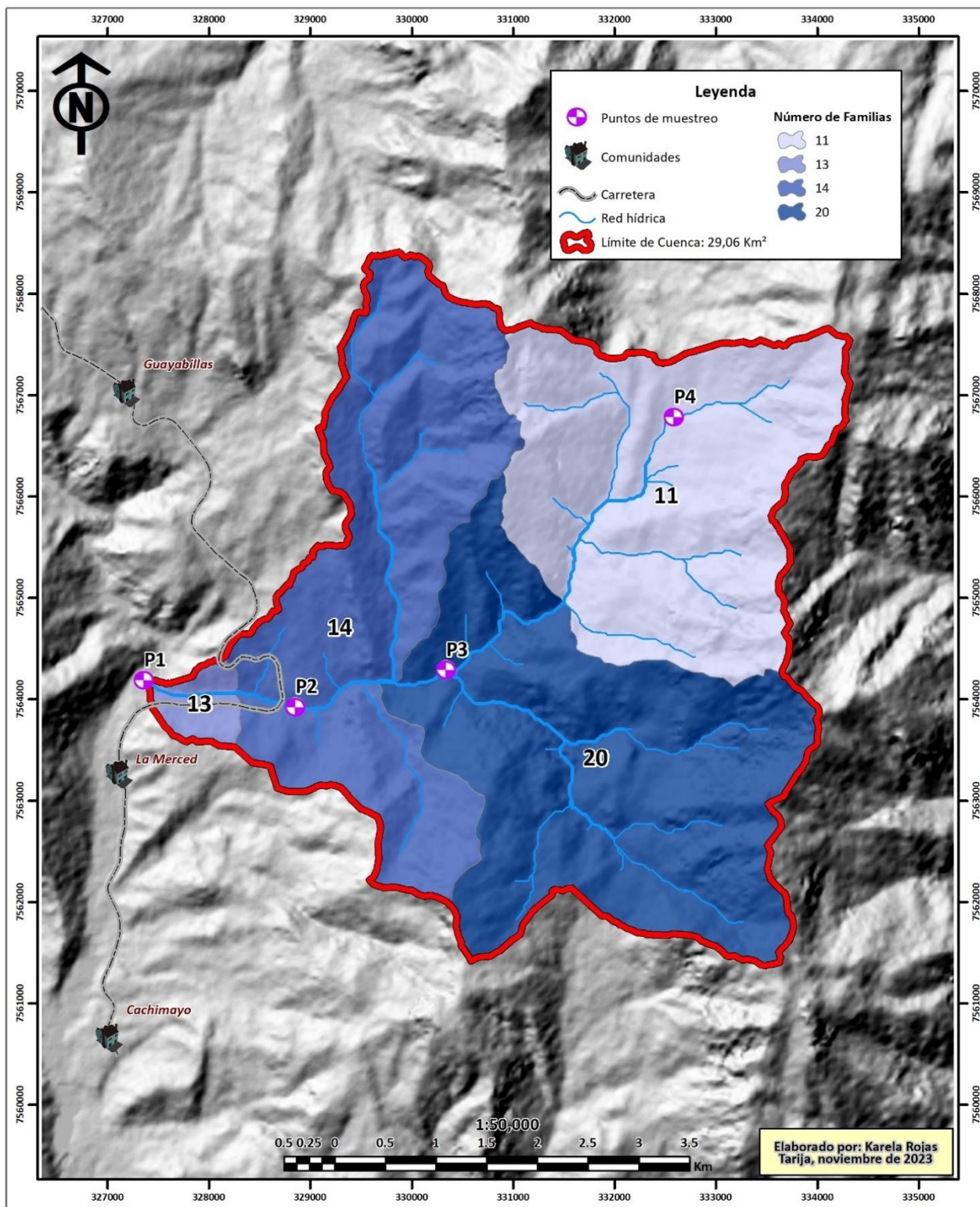
En la figura 5 y mapa 5 se observa el promedio total de abundancia (número de individuos por metro cuadrado muestreado) de macroinvertebrados bentónicos por puntos de muestreo, capturados en el río Campanario.

Figura 5. Número de especies capturados por punto de muestreo.



Fuente: Elaboración propia

Mapa 5. Número de familias por punto de muestreo.



Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Diversidad de macroinvertebrados bentónicos por puntos de muestreo

4.2.2.1. Diversidad y abundancia de la estación de muestreo “P4”

El índice de Simpson es una medida de diversidad que tiene en cuenta tanto la riqueza de especies (número de especies diferentes) como la equidad de especies (distribución de los individuos entre las diferentes especies). Un valor de 0.84 en el punto de muestreo “P4” perteneciente a la naciente del río Campanario, refleja una diversidad relativamente baja, pero comparando con los demás puntos de muestreo, esta presenta una mayor diversidad.

El índice de Berger-Parker siendo una medida de dominancia, que se calcula como la proporción del número de individuos en la especie más abundante al número total de individuos. El valor de 0.31 indica que la familia Helicopsychidae es la más abundante, en la muestra representa aproximadamente el 31% de todos los individuos. Esto sugiere que hay una cierta cantidad de dominancia de una o unas pocas familias en la muestra. Ver tabla 10.

Con un valor de 0,92 en el índice de Shannon sugiere que algunas de las familias están más representadas en la muestra que otras. La abundancia de macroinvertebrados en punto de muestreo 4 no está igualmente distribuida entre las 11 familias. Algunas familias pueden ser bastante comunes (Helicopsychidae, Leptohyphidae y Beatidae), mientras que otras son relativamente raras (Glossonomatidae, Hidropsychidae y Hydrobiosidae).

Tabla 10. Diversidad de macroinvertebrado “P4” representados con el índice de Simpson (S), índice de Shannon (H') y índice de Berger - Parker (B)

PUNTO 4							
ORDEN	Nº	FAMILIA	Nº ind/m ²	% Abundancia	S	H'	B
Orden ephemeroptera	1	Familia Leptohyphidae	5	13,89	0,84	0,92	0,31
	2	Familia Beatidae	4	11,11			
Orden Coleóptera	3	Familia Elmidae	3	8,33			
	4	Familia Hydrophilidae	2	5,56			
Orden Trichoptera	5	Familia Hidropsychidae	1	2,78			

PUNTO 4							
ORDEN	N°	FAMILIA	N° ind/m ²	% Abundancia	S	H'	B
	6	Familia Calamoceratidae	4	11,11			
	7	Familia Helicopsychidae	11	30,56			
	8	Familia Hydrobiosidae	1	2,78			
	9	Familia Polycentropodidae	2	5,56			
	10	Familia Glossonomatidae	1	2,78			
	11	Familia Psychomyiidae	2	5,56			
TOTAL			36	100,00			

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.2. Diversidad y abundancia de la estación de muestreo “P3”

El punto 3, presenta la mayor abundancia y riqueza de taxones, con 283 individuos distribuidos en 20 familias (Perlidae, Leptohyphidae, Beatidae, Corydalidae, Elmidae, Gyrinidae, Haliplidae, Galastocoridae, Corixidae, Mesovelidae, Belostomatidae, Tabanidae, Tipulidae, Muscidae, Chironomidae, Blephariceridae, Hidropsychidae, Hidroptilidae, Hydrobiosidae, Polycentropodidae), siendo la familia dominante Leptohyphidae con un 31,45%, seguida de la familia Hidropsychidae con un 27,92%. Esta diversidad se debe a las características geomorfológicas del lugar siendo una microcuenca joven en términos geológicos, de montañas escarpadas y valles profundos y estrechos. La pendiente del cauce del río campanario es de 14,61 % clasificado como moderadamente empinado y el caudal medio es de 10,13 l/s. Estas condiciones favorecen la diversidad y abundancia de macroinvertebrados en este punto de muestreo.

En cuanto a la diversidad de macroinvertebrados en el punto de muestreo “P3”, alberga una baja diversidad que resalta la presencia de familias dominantes y escasas, según el índice de Simpson con 0,79 y el índice de Shannon con 0,82 y un valor de 0.31 en el índice de Berger-Parker que denota la dominancia en un 31% de la familia Leptohyphidae. (tabla 11).

Tabla 11. Diversidad de macroinvertebrado “P3” representados con el índice de Simpson (S), índice de Shannon (H') y índice de Berger - Parker (B)

PUNTO 3							
ORDEN	N°	FAMILIA	N° ind/ m²	% Abundancia	S	H'	B
Orden Plecóptera	1	Familia Perlidae	26	9,19	0,79	0,82	0,31
Orden Ephemeroptera	2	Familia Leptohiphidae	89	31,45			
	3	Familia Beatidae	46	16,25			
Orden Megaloptera	4	Familia Corydalidae	4	1,41			
Orden Coleóptera	5	Familia Elmidae	2	0,71			
	6	Familia Gyrinidae	1	0,35			
	7	Familia Haliplidae	1	0,35			
Orden Hemíptera	8	Familia Galastocoridae	2	0,71			
	9	Familia Corixidae	1	0,35			
	10	Familia Mesovelidae	1	0,35			
	11	Familia Belostomatidae	1	0,35			
Orden Díptera	12	Familia Tabanidae	1	0,35			
	13	Familia Tipulidae	3	1,06			
	14	Familia Muscidae	2	0,71			
	15	Familia Chironomidae	11	3,89			
	16	Familia Blephariceridae	2	0,71			
Orden Trichoptera	17	Familia Hidropsychidae	79	27,92			
	18	Familia Hidroptilidae	2	0,71			
	19	Familia Hydrobiosidae	6	2,12			
	20	Familia Polycentropodidae	3	1,06			
TOTAL			283	100,00			

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.3. Diversidad y abundancia de la estación de muestreo “P2”

El punto de muestreo “P2”, caracterizado por la presencia de dos puentes notables, el puente Campanario y el antiguo puente de piedra, alberga una baja diversidad de macroinvertebrados que resalta la presencia de familias dominantes y escasas, según el índice de Simpson con 0,79 y el índice de Shannon con 0,88 y un valor de 0.42 en el índice de Berger-Parker que denota la dominancia en un 42% de la familia Beatidae. (tabla 12).

También se registró una abundancia de 120 individuos por metro cuadrado, distribuidos en 14 familias (Perlidae, Leptohiphidae, Beatidae, Corydalidae, Elmidae, Hydrophilidae, Corixidae, Gerridae, Tipulidae, Simuliidae, Chironomidae, Hidropsychidae, Hydrobiosidae, Polycentropodidae). La familia Odontoceridae fue la menos abundante, representando el 0,78% de la población. El caudal del río en este punto es de 8.06 l/s.

Tabla 12. Diversidad de macroinvertebrado “P2” representados con el índice de Simpson (S), índice de Shannon (H') y índice de Berger - Parker (B)

PUNTO 2							
ORDEN	N°	FAMILIA	N° ind/m2	% Abun	S	H'	B
Orden Plecóptera	1	Familia Perlidae	6	5,00	0,79	0,88	0,42
Orden Ephemeroptera	2	Familia Leptohiphidae	4	3,33			
	3	Familia Beatidae	50	41,67			
Orden Megalóptera	4	Familia Corydalidae	7	5,83			
Orden Coleóptera	5	Familia Elmidae	2	1,67			
	6	Familia Hydrophilidae	1	0,83			
Orden Hemíptera	7	Familia Corixidae	6	5,00			
	8	Familia Gerridae	1	0,83			
Orden Díptera	9	Familia Tipulidae	1	0,83			
	10	Familia Simuliidae	3	2,50			
	11	Familia Chironomidae	7	5,83			
Orden Trichoptera	12	Familia Hidropsychidae	10	8,33			
	13	Familia Hydrobiosidae	16	13,33			

PUNTO 2							
ORDEN	N°	FAMILIA	N° ind/m ²	% Abun	S	H'	B
	14	Familia Polycentropodidae	6	5,00			
TOTAL			120	100,00			

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.4. Diversidad y abundancia de la estación de muestreo “P1”

El punto de muestreo “P1” se encuentra en la desembocadura del río Campanario, el área está flanqueada por cultivos agrícolas en baja escala de producción y viviendas. En este punto, se registró una abundancia de 120 ind./m², compuesta por 12 familias (Perlidae, Leptoxyphidae, Beatidae, Corydalidae, Psephenidae, Caleptorygida, Galastocoridae, Gerridae, Hidropsychidae, Hydrobiosidae, Polycentropodidae, Odontoceridae) y un suborden Hydracarina. La familia dominante es Leptoxyphidae con 37,98 %, seguida de la familia Beatidae 20,93 %. El caudal del río en este punto es de 6.62 l/s.

En cuanto a la diversidad de macroinvertebrados en el punto de muestreo “P1”, alberga una baja diversidad que resalta la presencia de familias dominantes y escasas, según el índice de Simpson con 0,79 y el índice de Shannon con 0,82 y un valor de 0.38 en el índice de Berger-Parker que denota una dominancia en un 38% de una familia (tabla 13).

Tabla 13. Diversidad de macroinvertebrado “P1” representados con el índice de Simpson (S), índice de Shannon (H') y índice de Berger - Parker (B)

PUNTO 1							
ORDEN	N°	FAMILIA	N° ind/m ²	% Abundancia	S	H'	B
Orden Plecóptera	1	Familia Perlidae	10	7,75	0,79	0,82	0,38
Orden Ephemeroptera	2	Familia Leptoxyphidae	49	37,98			
	3	Familia Beatidae	27	20,93			
Orden Megalóptera	4	Familia Corydalidae	8	6,20			
	5	Familia Psephenidae	1	0,78			

PUNTO 1							
ORDEN	N°	FAMILIA	N° ind/m ²	% Abundancia	S	H'	B
Orden Odonata	6	Familia Caleptorygida	1	0,78			
Orden Hydracarina	7		1	0,78			
Orden Hemíptera	8	Familia Galastocoridae	2	1,55			
	9	Familia Gerridae	5	3,88			
Orden Trichoptera	10	Familia Hidropsychidae	14	10,85			
	11	Familia Hydrobiosidae	4	3,10			
	12	Familia Polycentropodidae	6	4,65			
	13	Familia Odontoceridae	1	0,78			
TOTAL			129	100,00			

Fuente: Elaboración propia

Comparando los cuatro puntos de muestro y los índices de diversidad de Simpson, se observó que el punto 4 presentaba un valor de 0,92, mientras que los demás puntos presentaban un valor de 0,79.

Esto indica que el punto 4 tiene una mayor diversidad de especies en comparación con los otros puntos de muestreo. La diversidad en este punto puede atribuirse al número mínimo de individuos que presenta en su rango de abundancia. En contraste, los demás puntos de muestreo presentan familias muy dominantes, lo que puede reducir la diversidad de especies.

Es importante destacar que un índice de Simpson más alto (más cercano a 1) indica una mayor diversidad de especies, ya que este índice tiene en cuenta tanto la riqueza de especies (número de especies diferentes) como la equidad (abundancia relativa de las especies). Por lo tanto, el hecho de que el punto 4 tenga un índice de Simpson más alto sugiere que tenga una distribución más equitativa de especies en comparación con los otros puntos de muestreo. (Ver tabla 14)

Tabla 14. Índices de diversidad en el río Campanario.

Punto de Muestreo	Índice de Simpson	Índice de Shannon	Índice de Berger-Parker
4	0,84	0,92	0,31
3	0,79	0,82	0,31
2	0,79	0,88	0,42
1	0,79	0,82	0,38

Fuente: Elaboración propia

4.3. Caracterización de la calidad biológica del agua mediante el Índice BMWP/Bol (Biological Monitoring Working Party/ Bolivia)

Para determinar la clasificación biológica del agua, tras la fase de campo se procedió al trabajo de laboratorio que consiste en la identificación taxonómica a nivel de familia de los macroinvertebrados encontrados en la masa de agua, con la utilización de clases taxonómicas y microscopio para observar la morfología de los insectos en sus diferentes fases de desarrollo, las familias identificadas se describen en el Anexo 3.

En el río Campanario se encontraron 31 familias de macroinvertebrados bentónicos, cada una con diferentes niveles de sensibilidad a la contaminación del agua. Las familias con una puntuación de 10 son las más sensibles a la contaminación donde la calidad de agua se clasifica como excelente a muy buena. Estos macroinvertebrados requieren agua de alta calidad para sobrevivir y su presencia puede indicar un ecosistema acuático saludable. Por otro lado, las familias con una puntuación de 1 son las más resistentes a la contaminación. Estos macroinvertebrados pueden sobrevivir en condiciones de agua de menor calidad y su presencia puede indicar un grado de contaminación en el ecosistema acuático por lo tanto se clasifican como aguas de calidad muy mala (figura 6). La diversidad de estas 31 familias y su variada sensibilidad a la contaminación según (Correa, 2000) por punto de muestreo, se detalla en la Tabla 15 y las puntuaciones asignadas se observa en el Anexo 2.

Tabla 15. Valores de indicadores de contaminación de las familias de macroinvertebrados bentónicos empleados en la metodología BMWP/Bol, por punto de muestreo del río Campanario

Punto de Muestreo	Familias Identificadas	% Abundancia	Puntuación BMWP/Bol	Calidad de agua	Total	Familia con mayor dominancia
Punto 4	Familia Calamoceratidae	11,11	9	Excelente a muy buena	76	Familia Helicopsychidae
	Familia Hydrobiosidae	2,78	9	Excelente a muy buena		
	Familia Helicopsychidae	30,56	8	Excelente a muy buena		
	Familia Polycentropodidae	5,56	8	Excelente a muy buena		
	Familia Glossonomatidae	2,78	8	Excelente a muy buena		
	Familia Psychomyiidae	5,56	8	Excelente a muy buena		
	Familia Leptohyphidae	13,89	7	Muy buena		
	Familia Beatidae	11,11	5	Buena a regular		
	Familia Elmidae	8,33	5	Buena a regular		
	Familia Hidropsychidae	2,78	5	Buena a regular		
Familia Hydrophilidae	5,56	4	Regular a mala			
Punto 3	Familia Perlidae	9,19	10	Excelente	116	Familia Leptohyphidae
	Familia Blephariceridae	0,71	10	Excelente		
	Familia Hydrobiosidae	2,12	9	Excelente a muy buena		
	Familia Polycentropodidae	1,06	8	Excelente a muy buena		
	Familia Leptohyphidae	31,45	7	Muy buena		
	Familia Corydalidae	1,41	7	Muy buena		
	Familia Hidroptilidae	0,71	7	Muy buena		

Punto de Muestreo	Familias Identificadas	% Abundancia	Puntuación BMWP/Bol	Calidad de agua	Total	Familia con mayor dominancia
	Familia Corixidae	0,35	6	Buena		
	Familia Mesovelidae	0,35	6	Buena		
	Familia Beatidae	16,25	5	Buena a regular		
	Familia Elmidae	0,71	5	Buena a regular		
	Familia Belostomatidae	0,35	5	Buena a regular		
	Familia Tipulidae	1,06	5	Buena a regular		
	Familia Hidropsychidae	27,92	5	Buena a regular		
	Familia Gyridae	0,35	4	Regular a mala		
	Familia Halplidae	0,35	4	Regular a mala		
	Familia Galastocoridae	0,71	4	Regular a mala		
	Familia Tabanidae	0,35	4	Regular a mala		
	Familia Muscidae	0,71	3	Regular a mala		
	Familia Chironomidae	3,89	2	Muy Mala		
Punto 2	Familia Perlidae	5,00	10	Excelente	86	Familia Beatidae
	Familia Hydrobiosidae	13,33	9	Excelente a muy buena		
	Familia Simuliidae	2,50	8	Excelente a muy buena		
	Familia Polycentropodidae	5,00	8	Excelente a muy buena		
	Familia Leptohiphidae	3,33	7	Muy buena		
	Familia Corydalidae	5,82	7	Muy buena		
	Familia Corixidae	5,00	6	Buena		
	Familia Beatidae	41,67	5	Buena a regular		

Punto de Muestreo	Familias Identificadas	% Abundancia	Puntuación BMWP/ Bol	Calidad de agua	Total	Familia con mayor dominancia
	Familia Elmidae	1,67	5	Buena a regular		
	Familia Gerridae	0,83	5	Buena a regular		
	Familia Tipulidae	0,83	5	Buena a regular		
	Familia Hidropsychidae	8,33	5	Buena a regular		
	Familia Hydrophilidae	0,83	4	Regular a mala		
	Familia Chironomidae	5,83	2	Muy Mala		
Punto 1	Familia Perlidae	7,75	10	Excelente	91	Familia Leptohyphidae
	Familia Psephenidae	0,78	10	Excelente		
	Familia Odontoceridae	0,78	10	Excelente		
	Familia Hydrobiosidae	3,1	9	Excelente a muy buena		
	Familia Polycentropodidae	4,65	8	Excelente a muy buena		
	Familia Leptohyphidae	37,98	7	Muy buena		
	Familia Corydalidae	6,2	7	Muy buena		
	Familia Calopterygidae	0,78	7	Muy buena		
	Familia Beatidae	20,93	5	Buena a regular		
	Familia Gerridae	3,88	5	Buena a regular		
	Familia Hidropsychidae	10,85	5	Buena a regular		
	Suborden Hydracarina	0,78	4	Regular a mala		
	Familia Galastocoridae	1,55	4	Regular a mala		

FUENTE: Elaboracion propia

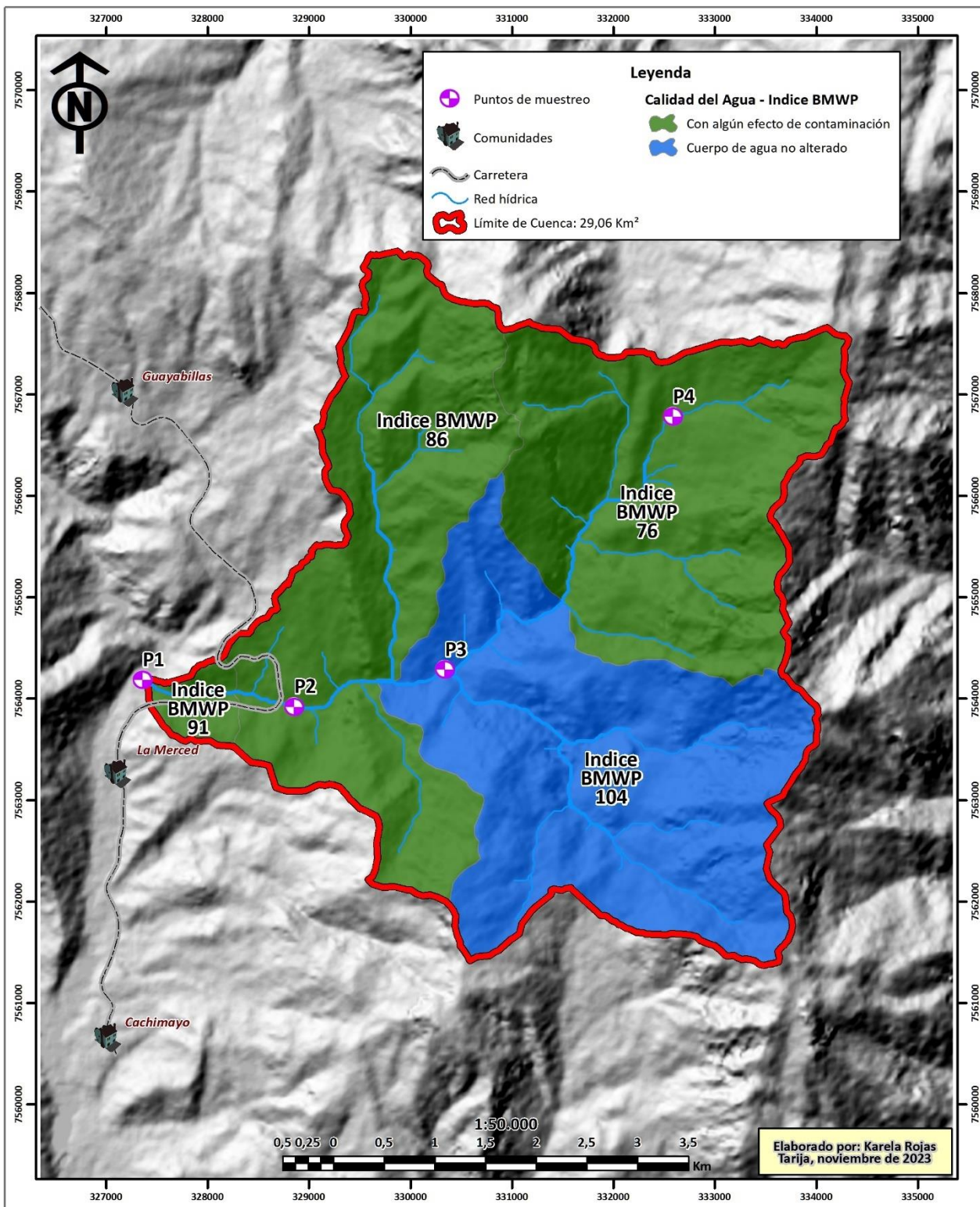
En la evaluación de la calidad del agua a través del índice biótico BMWP/Bol, se realizó un análisis detallado en los cuatro puntos de muestreo a lo largo del río Campanario. Este análisis implicó la suma de las puntuaciones de sensibilidad a la contaminación a nivel de familia, que indican variaciones en la calidad del agua a lo largo del río. En el punto de muestreo “P4”, que corresponde a la naciente del río, el agua es clasificada como “aceptable” con una puntuación de 76, lo que sugiere algún efecto de contaminación. El punto 3, muestra una mejora significativa con una puntuación de 116, clasificándose como “buena” siendo un cuerpo de agua no alterado. Sin embargo, en el punto 2, donde se encuentran el puente Campanario y el antiguo puente de Piedra, la calidad del agua vuelve a ser “aceptable” con una puntuación de 86. Finalmente, en el punto 1, que corresponde a la desembocadura del río, el agua mantiene su clasificación de “aceptable” con una puntuación ligeramente superior de 91 (Tabla 16 y mapa 6).

Tabla 16. Calidad de agua por punto de muestreo aplicando la metodología BMWP/Bol.

Puntuación del Índice BMWP/Bol		Condición Biológica	BMWP/Bol	Calidad del cuerpo de agua	Color
Punto de muestro	BMWP/Bol				
4	76	Aceptable	61-100	Con algún efecto de contaminación	Verde
3	116	Buena	>100	Cuerpo de agua no alterado	Azul
2	86	Aceptable	61-100	Con algún efecto de contaminación	Verde
1	91	Aceptable	61-100	Con algún efecto de contaminación	Verde

FUENTE: Elaboracion propia

Mapa 6. Mapa de la calidad del agua en la microcuenca Campanario.



FUENTE: Elaboracion propia

4.4. Análisis físico - químico

4.4.1. Puntos de Muestreo

Se identificaron cuatro (4) puntos de muestreo (mapa 7), denominados “Puntos Muestreo” en la microcuenca Campanario, como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17. Puntos de monitoreo

Punto-Código	X	Y
P1	21°59'43.9"	64°37'18.0"
P2	22°01'04.2"	64°38'37.3"
P3	22°01'15.6"	64°39'29.3"
P4	21°59'43.39"	64°37'15.65"

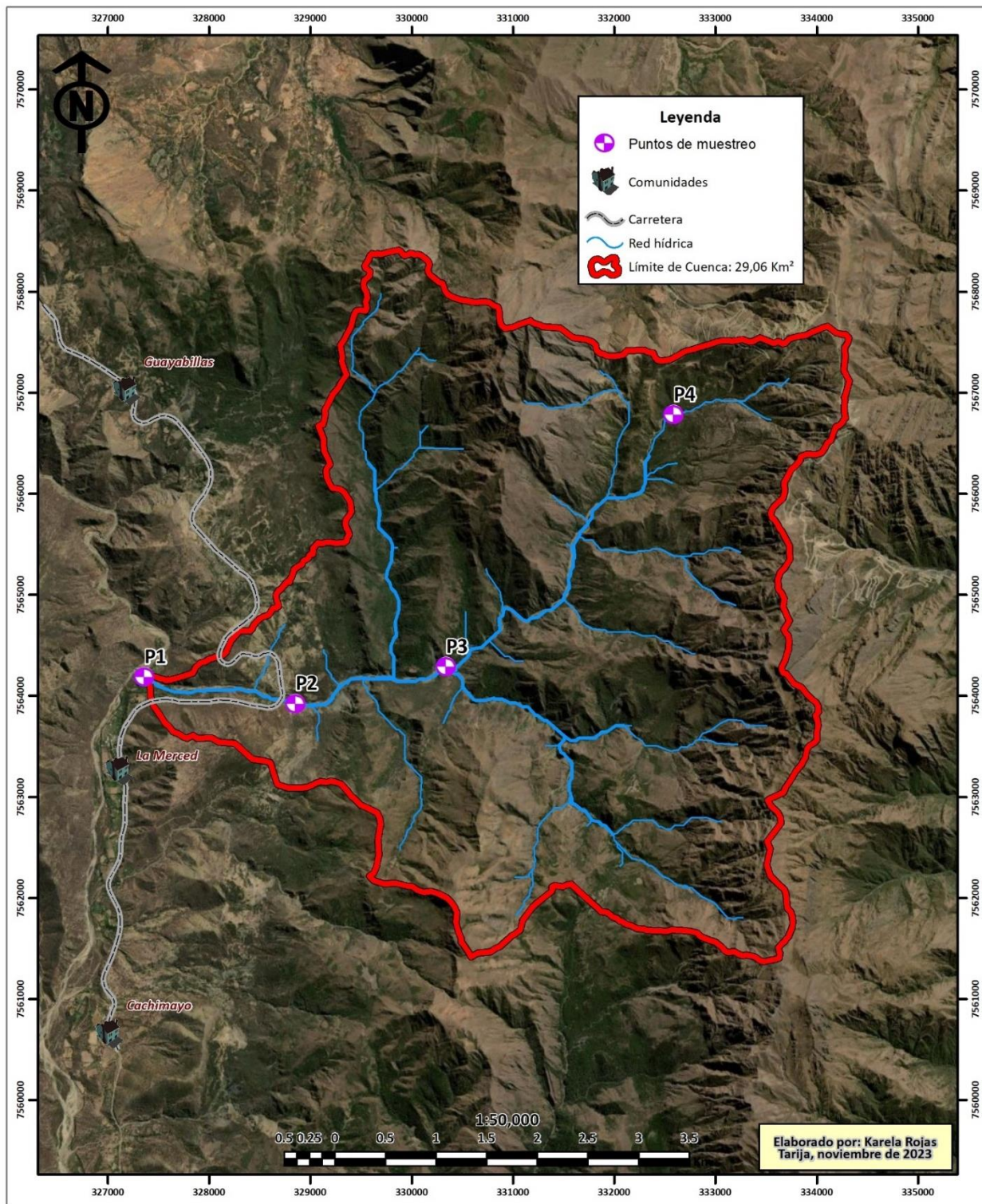
FUENTE: Elaboracion propia

Figura 7. Fotografía de la toma de muestra de agua.



FUENTE: Elaboracion propia

Mapa 7. Mapa de los puntos de monitoreo, del análisis físico-químico.



FUENTE: Elaboración propia

4.4.1.1. Parámetros de Monitoreo

Se analizaron los parámetros físicos, químico que se muestran a continuación:

- DQO
- DBO5
- Nitratos
- Nitrógeno Amoniacal
- Nitrógeno total
- Oxígeno disuelto (20,1 °C)
- pH (25°C)
- Sólidos suspendidos totales

4.4.1.2. Normas de calidad de agua

La norma considerada para el análisis de los límites de calidad de agua de los parámetros de los puntos de muestreo fue:

- Ley N° 1333 del Medio Ambiente y Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica.

Los límites de los parámetros permisibles, considerados para el análisis de los límites de calidad de agua de los parámetros de los puntos de muestreo, se muestran a continuación:

Tabla 18. Límites de los parámetros permisibles según RCH Ley 1333

PARÁMETROS		VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES DE PARÁMETROS SEGÚN RMCH-LEY 1333			
		CLASE A	CLASE B	CLASE C	CLASE D
DQO	mg/l	<5	<10	<40	<60
DBO5	mg/l	<2	<5	<20	<30
Nitratos	mgNO3/ l	20.0c. NO3	50.0c. NO3	50.0c. NO3	50.0c. NO3
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Nitrógeno total	mg/l	5c. N	12c. N	12c. N	12c. N
Oxígeno disuelto (20,1 °C)	mg/l	<80% sat.	<70% sat.	<60% sat.	<50% sat.
pH (25°C)		6.0a8.5	6.0a9.0	6.0a9.0	6.0a9.0
Solidos suspendidos totales	mg/l	Ausente	Ausente	Ausente	<re. Malla 1mm2

4.4.2. Resultados

Los resultados de los análisis obtenidos en el laboratorio de aguas de referencia nacional “CEANID - UAJMS” de los puntos de muestreo, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 19. Resultados de los parámetros de los puntos de muestreo

Parámetro	Unidad	Punto de Muestreo			
		1	2	3	4
DQO	mg/l	22,1	17,1	18	19,2
DBO5	mg/l	20,08	15,3	14,2	15,8
Nitratos	mgNO ₃ /l	2	3,8	3,2	4
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Nitrógeno total	mg/l	0,3	0,2	0,28	0,22
Oxígeno disuelto (20,1 °C)	ppm	3,06	2,96	4,72	4,76
pH (25°C)		7,09	7,25	7,59	7,47
Solidos suspendidos totales	mg/l	26	28	33	34

FUENTE: Elaboracion propia

4.4.3. Análisis de los resultados

La calidad del agua, es uno de los aspectos hidrológicos que condicionan la oferta hídrica y que se encuentra estrechamente relacionada con la carga contaminante generada por los diferentes usos de la tierra en las microcuencas.

De acuerdo a las muestras tomadas en la microcuenca Campanario, río Campanario, basándonos en parámetros establecidos por la RMCH (Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica), se procedió a realizar los análisis sobre los valores máximos admisibles de los parámetros de cada punto de muestreo (ver tabla 20)

Tabla 20. Análisis de los límites de calidad de agua de los parámetros de los puntos de muestreo

PARÁMETROS	Unidad	PUNTOS DE MUESTREO
DQO	mg/l	<p>De acuerdo a los valores de la Demanda Química de Oxígeno de los Punto de muestreo 1, 2, 3 y 4, lo clasifica como “Clase C”. Son aguas de utilidad general, que para ser habilitadas para consumo humano requieren tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica</p> <p>La DQO, es un parámetro utilizado para caracterizar la contaminación orgánica del agua que se mide a partir de la cantidad de oxígeno disuelto necesario para la degradación química de los contaminantes orgánicos que contiene.</p>
DBO5	mg/l	<p>Según los valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de los Puntos de muestreo 1, 2, 3 y 4, lo clasifica como “Clase C”. Son aguas de utilidad general, que para ser habilitadas para consumo humano requieren tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica. La DBO, es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aeróbicas o anaeróbicas), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se utiliza para medir el grado de contaminación. La DBO es un proceso biológico y por lo tanto es delicado y requiere mucho tiempo. Como el proceso de descomposición depende de la temperatura, se realiza a 20°C durante 5 días de manera estándar, denominándose DBO5.</p>
Nitratos	mgNO ₃ /l	<p>Los valores Nitratos de los Puntos de muestreo 1, 2, 3 y 4, lo clasifica como “Clase B”. Aguas de utilidad general, que para consumo humano requieren tratamiento físico y desinfección bacteriológica.</p> <p>Los niveles de nitratos en aguas naturales son un indicador importante de la calidad del agua. La presencia de nitratos en el agua se debe a la contaminación en las aguas por los residuos de animales o derrames de agua provenientes de lecherías o ganado, el uso excesivo de fertilizantes.</p>
Nitrógeno total	mg/l	<p>Los valores del Nitrógeno total de los Puntos de muestreo 1, 2, 3 y 4, lo clasifica como “Clase A”. Aguas naturales de máxima calidad, que las habilita como agua potable para consumo humano sin ningún tratamiento previo, o con simple desinfección bacteriológica en los casos necesarios verificados por laboratorio.</p> <p>El nitrógeno es uno de los elementos fertilizantes esenciales para el crecimiento de las algas, su limitación provoca a poca presencia de algas en el agua.</p>

Oxígeno disuelto (20,1 °C)	ppm	<p>Los valores de Oxígeno disuelto de los Puntos de muestreo 1, 2, 3 y 4, lo clasifica como “Clase B”. Aguas de utilidad general, que para consumo humano requieren tratamiento físico y desinfección bacteriológica.</p> <p>La presencia de oxígeno en el agua es indispensable para la vida acuática y depende de las condiciones ambientales, ya que su cantidad aumenta al disminuir la temperatura o aumentar la presión.</p> <p>Los restos orgánicos que se encuentran en el agua son descompuestos por microorganismos que usan el oxígeno para su respiración, esto quiere decir que cuanto mayor es la cantidad de materia orgánica mayor es el número de microorganismos y por tanto mayor el consumo de oxígeno.</p>
pH (25°C)		<p>Los valores pH de los Puntos de muestreo 1, 2, 3 y 4, lo clasifica como “Clase A”. Aguas naturales de máxima calidad, que las habilita como agua potable para consumo humano sin ningún tratamiento previo, o con simple desinfección bacteriológica en los casos necesarios verificados por laboratorio.</p> <p>El término pH es usado universalmente para determinar si una solución es ácida o básica. El pH óptimo de las aguas debe estar entre 6,5 y 8,5, es decir, entre neutra y ligeramente alcalina. Las aguas de pH menor de 6,5 son corrosivas debido al anhídrido carbónico, ácidos o sales ácidas que tienen en disolución.</p>
Solidos suspendidos totales	mg/l	<p>Los valores de Solidos suspendidos totales de los Puntos de muestreo 1, 2, 3 y 4, lo clasifica como “Clase B”. Aguas de utilidad general, que para consumo humano requieren tratamiento físico y desinfección bacteriológica</p> <p>Los sólidos suspendidos, tales como limo, arena y virus, son generalmente responsables de impurezas visibles. La materia suspendida consiste en partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición. Pueden ser identificadas con la descripción de características visibles del agua, incluyendo turbidez y claridad, gusto, color y olor del agua.</p>

FUENTE: Elaboracion propi

4.5. Registro de presiones antropogénicas sobre la diversidad y calidad de agua de macroinvertebrados del río Campanario

La identificación de las presiones antropogénicas sobre la diversidad de macroinvertebrados bentónicos y la calidad de agua del río Campanario se realizó previo recorrido del tramo del afluente, desde la naciente hasta su desembocadura registrando las actividades antropogénicas y sus respectivas fuentes de presión que afectan a las masas de agua en los cuatro puntos de muestreo. Estas afectaciones están relacionadas por supuesto con las actividades productivas y económicas de la comunidad de La Merced y circundantes, tales como la actividad agrícola, ganadera y construcción, observados en la tabla 21.

Tabla 21. Presiones antropogénicas por punto de muestreo

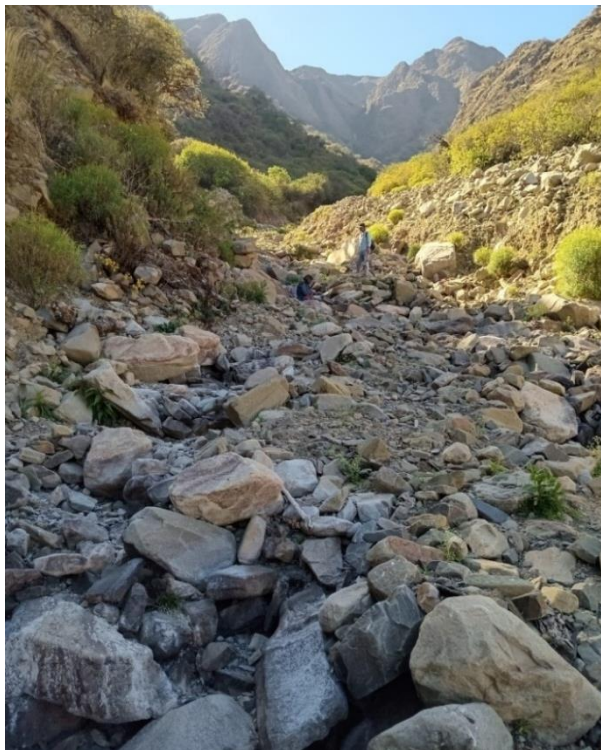
Punto de muestreo	Actividad antropogénica	Presión	
		Fuente	Indicador
P4	Construcción vial (carretera)	<ul style="list-style-type: none"> - Alteración de la geoforma del terreno. - Alteración en la oferta y disponibilidad del recurso hídrico superficial. - Alteración a la comunidad de macroinvertebrados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Remoción del suelo - Disminución del caudal. - Disminución de la abundancia y diversidad de macroinvertebrados.
P3	Ganadería	<ul style="list-style-type: none"> - Generación de residuos sólidos orgánicos 	Calidad de agua: sustancias contaminantes.
P2	Construcción vial (puentes)	<ul style="list-style-type: none"> - Generación de escorrentía superficial del puente. - Desplazamiento de personas. 	- Disminución de la abundancia de macroinvertebrados.
P1	Agrícola y urbana	<ul style="list-style-type: none"> - Ocupación de la franja marginal. - Consumo de fertilizantes 	Porcentaje de área ocupada.

Fuente: Elaboración propia

- El valor obtenido de 76 en el índice BWMP/Bol en el punto de muestreo “P4” indica la presencia de algún efecto de contaminación. La construcción vial en la parte alta de la cuenca es un indicador de contaminación, provocando la remoción de grandes volúmenes de tierra, desplazamiento de sedimentos que son depositados en el curso del río Campanario, que afecta la cantidad de agua con un caudal de 15 l/s y el hábitat de la entomofauna acuática, que presenta un menor número de especies (36 ind./m²) comparando con los demás puntos de muestreo, el efecto de contaminación se observa en la figura 8.

A pesar de que este punto presenta la menor cantidad de familias (11), tiene la mayor cantidad de familias (7) de macroinvertebrados bentónicos sensibles a la contaminación según clasificación en puntuación del índice BMWP/Bol que corresponde a un agua excelente a muy buena en comparación a los demás puntos de muestreo. Esto indicaría que es agua de buena calidad, pero debido a la contaminación descrita, el punto de muestreo se clasifica como aceptable según el índice BMWP/Bol con una puntuación de 76.

Figura 8. Remoción de sedimentos en la naciente del río Campanario.



Fuente: Elaboración propia.

- En el punto de muestreo “P3”, el índice BMWP/Bol arroja un resultado de 116, que clasifica el agua de buena calidad, sin presencia de contaminación. Sin embargo, al analizar la ecología de los macroinvertebrados bentónicos presentes en el punto de muestreo clasifica con una puntuación de 0,78 en el índice de Simpson que refiere una baja diversidad y una mayor dominancia de la familia Beatidae con el 41% en el índice de Berger-Parker, en comparación de la diversidad de macroinvertebrados con los demás puntos muestreados, el punto 3 presenta la mayor cantidad con un número de 20 familias en total (Perlidae, Blephariceridae, Hydrobiosidae, Polycentropodidae, Leptohiphidae, Corydalidae, Hidroptilidae, Corixidae, Mesovelidae, Beatidae, Elmidae, Belostomatidae, Tipulidae, Hidropsychidae, Gyrinidae, Haliplidae, Galastocoridae, Tabanidae, Muscidae y Chironomidae). A pesar de la alta puntuación del índice BMWP/Bol, el punto 3 también presenta la mayor cantidad de familias más tolerantes a la contaminación (11 en total), con puntuaciones bajas asignadas con rangos de 5 a 1 por la misma metodología, clasificadas de buena/regular a muy mala calidad de agua.

En la parte media de la cuenca, la actividad antropogénica destacada es la trashumancia de ganado bovino y caprino de noviembre a marzo (Figura 9), por las comunidades de La Merced, Orozas abajo, Rosillas, San Miguel y Carachimayo. A pesar de estas actividades, la microcuenca objeto de estudio presenta un mecanismo natural de autodepuración debido a sus características morfológicas que depende de dos aspectos: el caudal medio del punto 3 es de 10,13 l/s. que permitirá diluir el vertido y facilitar su posterior degradación, al presentar un sustrato mayormente rocoso con una pendiente del 14,61% del cauce, clasificado como moderadamente empinado que aumenta la turbulencia del agua que aporta oxígeno diluido al medio, favoreciendo la actividad microbiana. Debido a la condición morfológica descrita de la microcuenca Campanario el índice BMWP/Bol arroja un resultado de 116, que clasifica el agua de buena calidad.

Figura 9. Fotografía de la presencia de residuos sólidos orgánicos de ganado en la parte media de la microcuenca Campanario.



Fuente: Elaboración propia.

- En el punto de muestreo “P2”, el índice BWMP/Bol arroja un valor de 86, lo que clasifica la calidad del agua como “aceptable”, indicando la presencia de algún efecto de contaminación. Las observaciones realizadas en este punto de muestreo sugieren la presencia del puente Campanario y el antiguo puente de piedra podrían ser la fuente de esta contaminación (figura 10).

La presión ejercida por el tránsito de personas debajo del puente parece haber afectado la abundancia de macroinvertebrados en la zona. En este punto de muestreo, se encontraron un total de 14 familias de macroinvertebrados, siendo la familia Beatidae la más abundante con un 41% según el índice de Berger-Parker. Sin embargo, en comparación con el punto de muestreo 3, las 13

familias restantes presentan una disminución significativa en el número de individuos por familia.

Además, los puentes pueden contribuir a la contaminación del agua a través de la escorrentía de la construcción vial. Los vehículos que transitan por los puentes pueden liberar contaminantes como aceite y otros residuos, que luego son arrastrados por la lluvia hacia el cuerpo de agua. Esta contaminación adicional puede tener un impacto negativo en la salud del ecosistema acuático y en la diversidad de especies presentes. El caudal del río en este punto es de 8.06 l/s.

Figura 10. Punto de muestreo “puente Campanario”



Fuente: Elaboración propia.

- El área de estudio que comprende el punto de muestreo “P1”, según el índice BMWP/Bol proporciona un resultado de 91, lo que indica una calidad de agua “aceptable” con presencia de algún efecto de contaminación. La perturbación observada en el trabajo de campo detectó la ocupación de la franja marginal del río por actividades agrícolas y asentamiento humano disperso con cultivos de papa, maíz, frutales (durazno, ciruelo, naranjo); en pequeñas parcelas, algunos ocupando la franja marginal y otros muy cercanos a ellos. No obstante, las prácticas agrícolas de baja escala tiene un impacto menor en la calidad del agua en comparación con las operaciones agrícolas a gran escala y la pérdida de ribera de río considerada una barrera física natural interrumpe la dinámica entre el río y la vegetación ribereña y, favorece la entrada directa de los agroquímicos y excesos de fertilizantes a las aguas del río, afectando sus características químicas y la composición de la biota acuática presente en el río Campanario con una baja diversidad y la presencia de un menor número de familias (13) e individuos (129 ind/m²).

5. CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- En la microcuenca Campanario la entomofauna acuática total capturados corresponde a 568 individuos, distribuidos en 9 órdenes y 31 familias, siendo el orden Trichoptera que presentó la mayor riqueza de familias con 9 taxas (Familia Hidropsychidae, Calamoceratidae, Helicopsychidae, Hidroptilidae, Hydrobiosidae, Polycentropodidae, Odontoceridae, Glossonomatidae, Psychomyiidae), y el orden con mayor abundancia de individuos durante la investigación fue el orden Ephemeroptera (48,24%).
- Según los resultados del índice de diversidad de Simpson, los puntos de muestreo P1, P2 y P3 presentan un valor de 0,78, lo que indica una baja diversidad de macroinvertebrados. En contraste, el punto 4, situado en la naciente del río Campanario, muestra una mayor diversidad con un valor de 0,84. Esto sugiere que la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en los puntos P1, P2 y P3 está dominada por unas pocas especies, mientras que otras son consideradas raras. Se puede concluir que la baja diversidad indica un ambiente estresado o perturbado a medida que aumentan los factores de estrés en la cuenca.
- En la microcuenca Campanario, se evaluaron cuatro puntos de muestreo usando el índice BMWP/Bol. Los puntos 4, 2 y 1 mostraron una calidad de agua “aceptable”, mientras que el punto 3 mostró una calidad de agua “buena”. Las principales fuentes de contaminación identificadas fueron la construcción vial, las actividades ganaderas y una baja incidencia agrícola.
- De acuerdo a clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso, a los valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores del Reglamento de Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333 de Medio Ambiente, los valores de los parámetros físico-químico de los puntos de muestreo del río Campanario, clasifican a las aguas como “Clase B”, siendo aguas de utilidad general, que para consumo humano requieren tratamiento

físico y desinfección bacteriológica. Esta clasificación, pone en manifiesto la correlación que existe entre el método de evaluación de calidad BMWP (aguas de calidad aceptable a buenas) y los resultados de los análisis físico químico realizado en Laboratorio (aguas de "Clase B"). Por lo tanto, la hipótesis es aceptada, siendo el método BMWP una metodología práctica para la evaluación de la calidad de agua mediante macroinvertebrados.

5.2. Recomendaciones

- Para la elección de los puntos de muestreo, se recomienda realizar un recorrido previo para identificar zonas representativas con algún efecto de contaminación o perturbación. Esto permitirá una evaluación más precisa de la calidad del agua.
- Realizar el estudio en época de lluvias, lo que permitiría comparar los efectos de las diferentes estaciones con la calidad del agua.
- Los resultados de este estudio podrían ser de gran utilidad para informar las decisiones de gestión y conservación de la microcuenca campanario, por lo que se recomienda implementar prácticas sostenibles en las áreas de perturbación antrópica identificadas en la microcuenca Campanario.
- La metodología BMWP/Bol, que utiliza los macroinvertebrados como indicadores biológicos, ha demostrado ser efectiva y de fácil uso en la evaluación de la calidad del agua, por lo que se debería de utilizar esta metodología en otras cuencas hidrográficas.