

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Ambiental

“MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO
BIOINDICADORES Y SU RELACIÓN CON LOS
PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE AGUA DEL RÍO SAN
LUCAS, CAJAMARCA, 2018 - 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:
Cristian Jarol Ayala Salazar
Grover Vera Vasquez

Asesor:
M. Sc. Manuel Roberto Roncal Rabanal

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

*A Dios por permitirnos la vida y la salud para seguir comprendiendo más sobre las
maravillas de la naturaleza.*

A nuestras familias por todo el apoyo.

A todos los estudiosos del ambiente y de sus especies.

AGRADECIMIENTO

A nuestros padres y familiares por el apoyo y comprensión incondicional, que nos permitieron finalizar exitosamente este proyecto.

A nuestro asesor por guiarnos en el desarrollo de este proyecto.

A todos nuestros profesores que nos han acompañado durante toda nuestra carrera profesional por habernos aportado con sus valiosos conocimientos a nuestra formación.

A Dios, por permitirnos culminar una meta más en nuestras vidas y seguir adelante.

A todos los hombres de bilis negra por llevar el fuego de Prometeo.

*Óttastu ekki dauðann. Ef hún grípur þig skaltu taka við henni eins og þú værir að sofa hjá
fallegru konu.*

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Realidad problemática.....	12
1.2. Formulación del problema	63
1.3. Objetivos	64
1.4. Hipótesis.....	65
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	66
2.1. Tipo de investigación	66
2.2. Población y muestra	66
2.3. Materiales, Instrumentos y Métodos	68
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	70
2.5. Procedimientos	73
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	77
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	92
4.1. Discusión.....	92
4.2. Conclusiones	117
REFERENCIAS	119
ANEXOS	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del ECA para agua, categoría 3, subcategoría D-2, bebida de animales	35
Tabla 2. Principales ventajas y desventajas de los bioindicadores.....	39
Tabla 3. Clases, valores y características para aguas naturales clasificadas mediante el índice BMWP para Colombia.	59
Tabla 4. Establecimiento de la calidad de agua a partir del puntaje del Índice Biótico Andino (por sus siglas en inglés ABI).....	60
Tabla 5. Coordenadas geográficas de los puntos de monitoreo en el río San Lucas.....	67
Tabla 6. Materiales de campo.....	68
Tabla 7. Materiales de laboratorio	69
Tabla 8. Instrumentos	69
Tabla 9. Composición taxonómica de macroinvertebrados acuáticos encontrados en el río San Lucas en septiembre de 2018 y febrero de 2019	77
Tabla 10. Abundancia absoluta y riqueza específica de macroinvertebrados acuáticos encontrados en cada punto de muestreo del río San Lucas en septiembre de 2018	78
Tabla 11. Abundancia absoluta y riqueza específica de macroinvertebrados acuáticos encontrados en cada punto de muestreo del río San Lucas en febrero de 2019	79
Tabla 12. Abundancia relativa de macroinvertebrados acuáticos encontrados en cada punto de muestreo del río San Lucas, en septiembre de 2018.....	80
Tabla 13. Abundancia relativa de macroinvertebrados acuáticos encontrados en cada punto de muestreo del río San Lucas, en febrero de 2019.....	81

Tabla 14. Frecuencia absoluta y relativa de los macroinvertebrados acuáticos encontrados en cada punto de muestreo del río San Lucas, en septiembre de 2018	82
Tabla 15. Frecuencia absoluta y relativa de los macroinvertebrados acuáticos encontrados en cada punto de muestreo del río San Lucas, en febrero de 2019	83
Tabla 16. Valores de los parámetros comunitarios de macroinvertebrados acuáticos en las seis estaciones de muestreo del río San Lucas, en septiembre de 2018	84
Tabla 17. Valores de los parámetros comunitarios de macroinvertebrados acuáticos en las seis estaciones de muestreo del río San Lucas, en febrero de 2019	84
Tabla 18. Calificación del agua del río San Lucas, según los valores obtenidos de la aplicación del Índice Biótico Andino (ABI), en septiembre de 2018.....	85
Tabla 19. Calificación del agua del río San Lucas, según los valores obtenidos de la aplicación del Índice Biótico Andino (ABI), en febrero de 2019.....	85
Tabla 20. Calificación del agua del río San Lucas, según los valores obtenidos de la aplicación del Índice BMWP/Col. en septiembre de 2018	86
Tabla 21. Calificación del agua del río San Lucas, según los valores obtenidos de la aplicación del Índice BMWP/Col. en febrero de 2019	86
Tabla 22. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados en el río San Lucas durante septiembre de 2018	87
Tabla 23. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados en el río San Lucas durante febrero de 2019	88
Tabla 24. Resultados de la correlación de Pearson entre índices bióticos y parámetros fisicoquímicos durante septiembre 2018	90
Tabla 25. Resultados de la correlación de Pearson entre índices bióticos y parámetros fisicoquímicos durante febrero de 2019.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Macroinvertebrados representantes del neuston en un ecosistema acuático.....	42
Figura 2. Macroinvertebrados representantes del neuston en un ecosistema acuático.	43
Figura 3. Macroinvertebrados representantes de bentos en un ecosistema acuático.....	44
Figura 4. Diseño	66
Figura 5. Ubicación de los puntos de monitoreo en el río San Lucas, provincia de Cajamarca.....	68
Figura 6. Abundancia absoluta y riqueza específica durante septiembre de 2018 y febrero de 2019.....	93
Figura 7. Número total de familias en septiembre de 2018 y febrero de 2019	93
Figura 8. Promedio de la abundancia relativa en cada familia en septiembre de 2018.....	94
Figura 9. Promedio de la abundancia relativa de cada familia en febrero de 2019.....	95
Figura 10. Frecuencia absoluta y relativa de septiembre de 2018.....	96
Figura 11. Frecuencia absoluta y relativa de febrero de 2019.....	97
Figura 12. Comparación de los resultados de cloruro con el ECA, categoría 3, D2 (bebida de animales), para setiembre de 2018 y febrero de 2019	101
Figura 13. Comparación de los resultados de nitratos y nitritos con el ECA, categoría 3, D2 (bebida de animales), para setiembre de 2018 y febrero de 2019.....	102
Figura 14. Comparación de los resultados de sulfatos con el ECA, categoría 3, D2 (bebida de animales), para setiembre de 2018 y febrero de 2019	103
Figura 15. Variación del pH en cada punto de muestreo para setiembre de 2018 y febrero de 2019, comparado con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales).....	104

Figura 16. Comparación de los resultados de Sólidos Disueltos Totales (TDS) para setiembre de 2018 y febrero de 2019.....	105
Figura 17. Comparación de los resultados de Sólidos Suspendidos Totales (TSS) para setiembre de 2018 y febrero de 2019.....	106
Figura 18. Comparación de los resultados de DBO ₅ con el ECA para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales), para setiembre de 2018 y febrero de 2019.....	107
Figura 19. Comparación de los resultados de DQO con el ECA para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales) para setiembre de 2018 y febrero de 2019.....	108
Figura 20. Comparación de los resultados de OD con el ECA para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales), durante setiembre de 2018 y febrero de 2019.....	109
Figura 21. Comparación de los resultados de temperatura con el ECA para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales), para setiembre de 2018 y febrero de 2019.....	111
Figura 22. Comparación de los resultados de CE con el ECA para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales), durante setiembre de 2018 y febrero de 2019.....	112
Figura 23. Se observa los niveles de salinidad para cada punto de muestreo, para setiembre de 2018 y febrero de 2019.....	113
Figura 24. Comparación de los resultados de Coliformes Totales con el ECA para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales), para setiembre de 2018 y febrero de 2019 ..	114

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Abundancia Absoluta.....	56
Ecuación 2. Abundancia Relativa.....	56
Ecuación 3. Índice de diversidad de Shannon-Weaver	57
Ecuación 4. Equidad de Pielou	58

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la relación que existe entre la presencia de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores y los parámetros fisicoquímicos del río San Lucas, provincia de Cajamarca, durante septiembre de 2018 y febrero de 2019, en 6 puntos de muestreo, teniendo como resultado: 4 clases, 1 subclase, 6 órdenes y 13 familias, también, se determinó la riqueza, abundancia, frecuencia y diversidad. Además, se aplicaron los índices ABI y BMWP/Col., por un lado, el índice ABI presentó una calidad con una clara predominancia “pésima” y el índice BMWP/Col. presentó una predominancia de calidad “muy crítica”, en la mayoría de los puntos monitoreados (P04, P05, P06) y en ambos meses. Por otro lado, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se analizaron, fueron temperatura, TDS, TSS, pH, cloruro, nitrito, nitrato, sulfato, OD, DQO, DBO₅ y coliformes totales. Dichos parámetros, fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para agua, categoría 3, bebida de animales, según ley (D.S. N° 004-2017-MINAM), de este modo, los parámetros que no cumplieron con la normativa fueron: DQO, DBO₅, OD y coliformes totales. Finalmente, la correlación es positiva, solo para OD, pH y nitratos.

Palabras clave: macroinvertebrados, bioindicadores, parámetros fisicoquímicos, estándares de calidad ambiental, correlación.

ABSTRACT

The purpose of this research was to determine the relationship between the presence of aquatic macroinvertebrates as bioindicators and the physicochemical parameters of the San Lucas river, Cajamarca province, during September 2018 and February 2019, at 6 sampling points, resulting in: 4 classes, 1 subclass, 6 orders and 13 families, also, wealth, abundance, frequency and diversity were determined. In addition, the ABI and BMWP/Col. indexes were applied, on the one hand, the ABI index presented a quality with a clear "lousy" predominance and the BMWP/Col. index have a predominance of "very critical" quality, in most of the points monitored (P04, P05, P06) and in both months. On the other hand, the physicochemical and microbiological parameters that were analyzed were temperature, TDS, TSS, pH, chloride, nitrite, nitrate, sulfate, OD, COD, BOD₅ and Total Coliforms. These parameters were compared with the Environmental Quality Standards for water, category 3, animal drink, according to law (DS N ° 004-2017-MINAM), thus, the parameters that did not comply with the regulations were: COD, BOD₅, OD and total coliforms. Finally, the correlation is positive, only for OD, pH and nitrates.

Keywords: macroinvertebrates, bioindicators, physicochemical parameters, environmental quality standards, correlation.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La preocupación general que despertó la conferencia de Río de Janeiro de 1992 sobre la disminución de la Biodiversidad en los ecosistemas tropicales sensibilizó la opinión mundial y marcó el inicio en la toma de acciones tendientes a remediar la situación, especialmente en aquellos ecosistemas naturales poco o nada intervenidos o con posibilidades de recuperación (Segnini, 2003). Asimismo, se hicieron grandes esfuerzos a nivel internacional para la preservación de océanos, bosques y áreas naturales, en el campo legislativo y técnico. Produciéndose así innovadores e interesantes instrumentos que servirán a la gestión ambiental, orientados al monitoreo y al análisis de diferentes ecosistemas, como por ejemplo los ecosistemas lóticos y lénticos, de importancia fundamental en el desarrollo de la vida acuática y humana (Hamada, Nessimian, & Querino, 2014).

De esta manera, procesos como la eutrofización, que se dan en los ecosistemas acuáticos, afectan a la fauna y flora, intoxicando y empobreciendo la biodiversidad. Así, al ser alteradas las estructuras de las comunidades biológicas, debido al aumento en la carga orgánica e inorgánica del agua, se reducen los usos potenciales de los recursos hídricos, ya que induce a la mortalidad de especies, a la descomposición del agua y al crecimiento de microorganismos. Además, en muchas ocasiones los microorganismos se convierten en un riesgo para la salud humana, como es el caso de los agentes patógenos transmitidos

por el agua, que constituyen un problema mundial (Ávila de Navia & Estupiñán Torres, 2013).

Los ecosistemas saludables proporcionan unos servicios hídricos que poseen un valor enorme para la sociedad gracias al control de inundaciones, el reabastecimiento de las aguas del subsuelo, la estabilización de las orillas de los ríos y la protección contra la erosión, la purificación del agua, la conservación de la biodiversidad, así como el transporte, el entretenimiento y el turismo (MEA, 2005).

Por lo tanto, la contaminación del agua es un gran problema, muchos países han utilizado parámetros fisicoquímicos para evaluar la calidad. Para aportar a la solución de esta problemática, se han desarrollado numerosos métodos e índices que tratan de interpretar la situación real o grado de alteración de los sistemas acuáticos. Algunos se basan exclusivamente en los análisis de las condiciones químicas, consideradas testigo de las condiciones instantáneas del agua, y los efectos de los contaminantes se detectan si son dispuestos en el momento (Gamarrá Hernández, Restrepo Manrique, & Cajigas Cerón, 2012). Los resultados son puntuales en la dimensión cronológica, y no revelan mucho de la evolución de una carga contaminante y la capacidad amortiguadora y de resiliencia de los ecosistemas acuáticos (Toro, Schuster, Kurosawa, Araya, & Contreras, 2005). Es por esto que en años recientes se han ido incorporando instrumentos de gestión ambiental, como los bioindicadores para determinar la calidad los ecosistemas acuáticos, esto débese al bajo costo económico que ello implica.

Los macroinvertebrados acuáticos, que funcionan como bioindicadores de calidad del agua, constituyen importantes comunidades bióticas que caracterizan los ecosistemas

lóticos, ya que algunos necesitan de muy buena calidad agua para desarrollarse y sobrevivir, mientras que otros, al contrario, necesitan de aguas contaminadas para desarrollarse y vivir, esto se debe al nivel de sensibilidad o tolerancia a la contaminación.

La carente información de macroinvertebrados acuáticos en el río San Lucas denota enfáticamente la importancia de llevar a cabo un monitoreo de estos seres vivos que tendrán que ser extraídas y caracterizadas taxonómicamente, para aplicar los índices bióticos, en conjunción con la determinación de parámetros fisicoquímicos, que determinaran la calidad del cuerpo lótico, además, es preciso señalar, que se establecerá una relación entre macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores y parámetros fisicoquímicos del agua en el río San Lucas.

1.1.1. Antecedentes

Internacionales

Torralba (2009) en su tesis doctoral titulada: “Estado ecológico, comunidades macroinvertebrados y de Odonatos de la red fluvial de Aragón” llego a las conclusiones:

- Las diferencias más importantes en cuanto a las comunidades fluviales de odonatos, se encuentran entre los tramos situados a gran altitud en la montaña pirenaica, con especies propias, y el resto. Las variables geográficas e hidromorfológicas que más influyen sobre la ordenación de estas comunidades son la altitud, la temporalidad, la iluminación del cauce, el tipo teórico de río y la velocidad de la corriente. Al incluir las variables climáticas, se incrementa la correlación y sólo quedan como variables explicativas la iluminación del cauce y la temporalidad, a las que se añaden la temperatura (la mínima o la máxima y la media anual), la pluviosidad y la radiación solar.
- Las comunidades de odonatos presentan una correlación significativa, aunque baja, con las de macroinvertebrados: una elevada diversidad de odonatos indica que ese tramo también presenta una elevada diversidad de macroinvertebrados y un buen estado ecológico, pero las inferencias no pueden ir más allá.
- Dos especies concretas de libélulas, *Boyeria irene* y *Cordulegaster boltonii*, aparecen como indicadoras de las categorías de estado ecológico muy bueno y bueno (del muy bueno en particular). Su uso como especies indicadoras resulta posible, especialmente si tenemos en cuenta su fácil localización (tamaño grande y comportamiento conspicuo) e identificación en el campo, lo que facilita su empleo en programas de seguimiento por parte de la guardería o voluntarios.

López (2017) en su tesis: “Determinación de la calidad del agua con los insectos como modelo de estudio en la región fronteriza México – Estados Unidos De América con el enfoque al control de las descargas de Aguas Residuales” en la Universidad Autónoma Nueva León para optar el título de Biólogo, llegó a las siguientes conclusiones:

- De acuerdo con la riqueza de especies y los individuos de los órdenes *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera*, los sitios de muestreo de los ríos Álamo, Bravo y San Juan reflejan un sistema acuático severamente impactado.
- La concentración de oxígeno disuelto en cuerpos de agua dulce, como los ríos Álamo, Bravo y San Juan, juega un papel muy importante en la existencia de macroinvertebrados acuáticos, como los insectos, involucrado en la baja concentración de oxígeno disuelto la actividad humana doméstica, agrícola e industrial.
- El uso de insectos acuáticos para determinar la calidad y el estado ecológico de cuerpos de agua puede ser una actividad simple y económica.

Gil (2014) en su tesis: “Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa” optar al título de magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, llegó a las siguientes conclusiones:

- En el primer muestreo a pesar de la limitación que representa el descenso de los niveles de agua para la comunidad de macroinvertebrados, a lo largo de los ríos y quebradas pertenecientes a la cuenca del Río Garagoa se observó de forma generalizada gran representatividad de órdenes como Díptera y *Basommatophora*, que al parecer no se encuentran siendo afectados y por el contrario pueden estar

siendo favorecidos ya que el aumento en los sedimentos y la materia orgánica generan en el sistema condiciones adecuadas para su establecimiento, permanencia y representatividad dentro del sistema y la comunidad.

- Durante el segundo muestreo, la comunidad de macroinvertebrados reportada durante el mes de noviembre en los cuerpos de agua pertenecientes a la cuenca del Río Garagoa, estuvo representada principalmente por organismos con hábito colector, asociados a zonas de aguas rápidas donde se les facilita tanto la colección como en filtrado de alimento desde la corriente. En cuanto a los índices ecológicos, podría decirse que los valores más altos tanto de diversidad como de riqueza se reportaron en las estaciones E6, E7 y E9 (Quinchatoque, Río Fusavita, La Frontera) donde posiblemente factores como la oferta de un mayor y más estable número de biotopos pueden favorecer el establecimiento de comunidades mejor estructuradas.
- De acuerdo con los resultados obtenidos del cálculo del índice BMWP/Col., podría decirse que los cuerpos de agua de la cuenca del Río Garagoa presentan en su mayoría aguas moderadamente contaminadas de calidad dudosa donde la comunidad de macroinvertebrados encuentra ciertas limitaciones de tipo hidráulico que limitan su establecimiento, de igual forma se reportaron además aguas ligeramente contaminada de calidad aceptable en la estación E11, Puente Olaya, y aguas muy contaminadas de calidad Crítica estaciones E5 y E10 (inicio Río Garagoa y Quebrada la Quigua).

Nacionales

Bullón (2016) en su tesis: “Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua en la cuenca del río Perené, Chanchamayo” para optar por el grado de académico de Ingeniero Forestal y Ambiental, llegó a las conclusiones:

- Existe afectación de la calidad físicoquímica de las aguas de la cuenca del río Perené por Coliformes Termotolerantes según los ECA agua evaluados, asimismo se sobrepasa los límites de Sólidos Suspendidos Totales, esto debido a las presiones significativas que ejercen las actividades antrópicas en el área.
- Se registraron en total 456 individuos, distribuidos en tres clases, 10 órdenes y 25 familias de macroinvertebrados en la cuenca del río Perené, la clase *Insecta* representó el 88.77% del total de la población, siendo el orden coleóptera con 109 individuos la más distintiva de la clase.
- El patrón espacial que sigue el número de familias de macroinvertebrados en las aguas del río Perené es altamente dependiente de la calidad del agua, ya que presenta una alta correlación entre la abundancia de las comunidades de macroinvertebrados y la calidad de agua registrada.

Palomino (2015) en la tesis: “Calidad ambiental de las aguas del río Apacheta y sus principales tributarios. Ayacucho, Julio - Noviembre 2013” para obtener el título profesional de Biólogo en la especialidad de Ecología y Recursos Naturales por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, llegó a las siguientes conclusiones:

- La calidad ambiental de las aguas del río Apacheta y sus principales tributarios de acuerdo a los índices EPT, IBF y BMWP son muy variables y diferentes en cada zona de muestreo. Para esto influyen mucho, la composición del lecho por donde discurren las aguas del río en mención, la características fisicoquímicas de las aguas de los afluentes que alimentan el río y los vertederos de aguas utilizadas por los criaderos de truchas apostados en las riberas del río. Asimismo los índices EPT e IBF coinciden, al catalogar la calidad ambiental de las aguas, en varias zonas de muestreo, a diferencia con los resultados obtenidos del índice BMWP, que no coinciden con ninguno de los resultados obtenidos de los índices EPT e IBF, esto debido a que el índice BMWP tiene carácter cualitativo y EPT e IBF tienen carácter cuantitativo.
- El índice IBF se perfila como el más sensible para la detección de las perturbaciones del agua del río Apacheta y sus principales tributarios, ya que correlaciona con pH y cloruros, manifestando mayor número de correlaciones significativas, con las características fisicoquímicas del agua, en comparación con el índice EPT y BMWP; por lo mismo que puede ser considerado como un índice bueno para la evaluación de la calidad ambiental del agua de la zona estudiada, seguida del índice EPT por su alta correlación (-0.59) con el índice IBF.
- Los valores hallados para los índices IBF, EPT y BMWP en las diez zonas de muestreo difieren, considerando en forma general que estadísticamente las zonas en la cabecera del río son diferentes ($p < 0,05$) a zonas de aguas abajo, así mismo, esta diferencia es mucho más perceptible en los valores hallados en las zonas pertenecientes a los tributarios.

Balmaceda (2007) en su tesis: “Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en el río Chicama. Regiones La Libertad - Cajamarca. Perú. 2006.” para optar el grado de Doctorado en Medio Ambiente por la Universidad Nacional de Trujillo, llegó a las siguientes conclusiones:

- En base al Índice Biótico Andino, y a macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores, la calidad del agua del río Chicama fluctúa de regular a mala.
- En el río Chicama viven 10 órdenes y 28 familias de invertebrados; de los que destacan los insectos con 7 órdenes.
- El análisis de correlación entre el índice biótico y los parámetros físicoquímicos, determinan una relación nula.
- En el río Chicama, la variabilidad del IBA es explicado de forma significativa en un 86,9%, por la conductividad en forma positiva y por nitrato, color verdadero, caudal, oxígeno y alcalinidad en forma negativa, el resto de la varianza es explicado por los macroinvertebrados.

Peña y Villacorta (2014) en su tesis: “Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos y su relación con la calidad del agua en la microcuena Mishquiyacu, provincia de Moyobamba – 2014” por la Universidad Nacional De San Martín – Tarapoto, llegó a las siguientes conclusiones:

- En la microcuena Mishquiyacu se identificaron 20 familias taxonómicas de macroinvertebrados acuáticos (*Plociidae*, *Tricorythidae*, *Oligoneuridae*, *Leptophlebiidae*, *Baetidae*, *Perlidae*, *Perlodidae*, *Hydropsychidae*, *Ptilodactylidae*, *Ptilodactylidae*, *Gyrinidae*, *Elmidae*, *Tipulidae*, *Tabanidae*, *Gerridae*, *Vellidae*, *Gomphidae*, *Libellulidae*, *Polythoridae*, *Corydalidae*, *Palaemonidae*), las cuales

están agrupadas en 09 órdenes y 02 clases, existiendo mayor abundancia en el mes de marzo con 181 individuos en la microcuenca Mishquiyacu como indicadores biológicos del agua en los meses de Enero, Marzo y Mayo.

- De acuerdo a la identificación de los macroinvertebrados acuáticos y su ubicación en la tabla de IBMWP/Col., tenemos que 03 familias están dentro del puntaje 10 según la tabla, 03 familias en el puntaje 09, 01 familias en el puntaje 08, 05 familias en el puntaje 07, 04 familias en el puntaje 06, 03 familias en el puntaje 05 y 01 familias en el puntaje 04. Por lo tanto, se tiene un puntaje total en el mes de Enero 61, en Marzo 77 y Mayo 77.
- De acuerdo a los puntajes consignados según la tabla de IBMWP/Col., en los meses de Enero, Marzo y Mayo, tenemos que la calidad de agua es ACEPTABLE; cuyos resultados coinciden con los análisis físico-químicos que se encuentran dentro de los niveles máximos establecidos por el ECA-Aguas para uso poblacional.

Locales

Muñoz (2016) en su tesis: “Caracterización físicoquímica y biológica de las aguas del río Grande, Celendín” por la Universidad Nacional de Cajamarca para optar el título de Ingeniero Ambiental, llego a las conclusiones:

- Para el parámetro oxígeno disuelto (OD) se determinó que en Shuitute (EM-3) y Los Pajuros (EM-4) muestreados en época de estiaje los valores no cumplen con los límites establecidos por la norma debido a que presentan valores inferiores determinándose así que para estas estaciones el OD no fue aceptable, pero en todas las demás estaciones de muestreo si cumplieron con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.

- Según las experiencias de especialistas en trabajos realizados con macroinvertebrados bentónicos en la región se ha identificado en el río Grande de Celendín, la Clase: *Bivalvia*, Orden: *Veneroidea*, Familia: *Sphaeriidae* como un nuevo taxón identificado dentro de la región Cajamarca.
- Según los índices bióticos y su asignación de valores de ponderación desarrollados por estación de muestreo se tiene que en la EM-1 (Chupset) presentó una calidad del agua “buena”, la EM-2 (El Gaitán) presentó una “regular” calidad del agua, las EM-3 (Shuitute), EM-4 (Los Pauros) y la EM-5 (Llanguat) presentaron una “mala” calidad del agua en el río Grande, en general el resultado de los índices bióticos desarrollados en promedio por estación determinaron que la calidad del agua del río Grande fue “regular”. Las evaluaciones de estos índices por campaña de muestreo determinaron que en las campañas 1 y 2 desarrolladas en época de estiaje la calidad del agua en general fue “mala” por el contrario las campañas 3 y 4 desarrolladas en época de avenidas presentaron una “regular” calidad del agua.

Escalante (2018) en su tesis: “Caracterización de las aguas del río Mashcón y San Lucas y del efluente de las Lagunas de Estabilización de la ciudad de Cajamarca con fines de Evaluación Ambiental, Marzo – Agosto del 2007” por la Universidad Nacional de Cajamarca para optar el título de Maestro en Ciencias, llegó las siguientes conclusiones:

- El valor promedio de la temperatura de las aguas de los puntos de muestreo fue de 12,6 °C, valor que está dentro del rango establecido por los ECAs nacionales. La dureza de las aguas de los puntos de muestreo en promedio tuvo un valor de 203,2 mg/L. El valor promedio de la alcalinidad en las aguas de los puntos de muestreo fue de 229,9 mg/L. Los valores promedio de los sólidos disueltos totales y de los sólidos

en suspensión totales fue de 526 mg/L y 102 mg/L y en cuanto a los caudales se registró valores de 1 827,7 L/s para el río Mashcón, 546,3 L/s en el río San Lucas y 132,4 L/s en la descarga del canal de los efluentes de las lagunas de estabilización de la Ciudad de Cajamarca.

- En todos los puntos de muestreo las concentraciones de los parámetros químicos evaluados estuvieron por debajo de los valores establecidos por los ECAs respectivos, por lo que cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental para agua categoría 3 (D.S. 015-2015-MINAM), siendo la excepción los parámetros manganeso (0,22 mg/L en promedio), DBO₅ (102,32 mg/L en promedio) y DQO (204,09 mg/L en promedio), que no cumplen con lo establecido en la categoría 3: Bebida de animales y riego de cultivos de los ECAs para agua categoría 3.
- En todos los puntos de evaluación las concentraciones de los parámetros biológicos como: coliformes totales (5 654 293,2 nmp/100 mg/l) y coliformes fecales termotolerantes (5 539 983,4 nmp/100 mg/l); no cumplen con lo establecido en la categoría 3: Bebida de animales y Riego de vegetales de los ECAs para agua categoría 3 (D.S. 015-2015-MINAM).

Romero y Tarrillo (2017) en su tesis titulada: “Evaluación de la calidad del agua utilizando macroinvertebrados bentónicos como indicadores bióticos en la quebrada Chambag, Santa Cruz, Cajamarca” por la Universidad de Lambayeque para optar el grado de Ingeniero Ambiental, llegó a las siguientes conclusiones:

- Se identificaron y describieron de las familias encontradas, donde tuvo una variación en cada una de las zonas de colecta, siendo la más abundante en punto QC-R; cabe resaltar que las influencias humanas o naturales en la quebrada

Chambag han modificado las características del agua, por tanto las órdenes que se han identificado son 8 y 17 familias, donde el mayor número de familias encontradas pertenecen a las órdenes *Ephemeroptera* y Díptera con un total de 4, mientras en menor número pertenecen a las órdenes *Tricladia*, *Trichóptera* *Annelida* y *Gastrópoda* con un total de 1.

- Se determinó la calidad del agua utilizando los tres índices bióticos, en el cual mediante el uso del Índice EPT solo se logró determinar un tipo de calidad que es pobre en los 5 puntos de muestreo y la aplicación de los otros dos índices bióticos muestra una similitud en su categorización del tipo de agua identificada, ya que el Índice BMWP abarca una calidad del agua Aceptable, Dudosa y Crítica, asimismo el Índice ABI una calidad Buena, Moderada y Mala.
- La relación de los parámetros fisicoquímicos con los macroinvertebrados bentónicos es: que a menor caudal promedio existió mayor número de familias, a comparación de la temperatura que se obtuvo menos familias a mayor valor de temperatura, asimismo con el pH y Oxígeno Disuelto hay una correlación entre valores y número de familias encontradas.

Palomino (2016) en su tesis titulada: “Macroinvertebrados acuáticos bentónicos (MAB) y su relación con la calidad del agua en el río Mashcón - Cajamarca, 2016” por la Universidad Privada del Norte para optar el grado de Ingeniero Ambiental, llegó a las siguientes conclusiones:

- Existe una correlación entre los cambios en la estructura comunitaria de los macroinvertebrados acuáticos bentónicos (MAB) y la variación de los parámetros de calidad de agua. Basándose en el estudio de la comunidad de MAB en la función

de la abundancia de familias, índices de diversidad, grupos tróficos y la aplicación de índices biótico (IB) para determinar la calidad del agua; en relación a los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que se registraron en cada estación de muestreo.

- Los resultados obtenidos en la determinación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos indican que la estación E1 sobrepasa notoriamente los estándares de calidad ambiental para DBO₅, DQO y Coliformes totales, seguido de la estación E2. Lo que evidencia un fuerte grado de la perturbación en el cuerpo de agua.
- En las estaciones E1 y E2 es donde se registró la mayor abundancia de las familias *Chironomidae*, *Tipuladae* y *Ceratoponidae*; que según concuerdan diversos autores, habitan ambientes altamente contaminadas con materia orgánica y por lo tanto su presencia es evidencia de la baja calidad ambiental de un cuerpo de agua. En las estaciones E4 y E5 la presencia de familias pertenecientes a las órdenes Trichoptera y Coleóptera, además de la familia *Leptophlebiidae* (orden *Ephemeroptera*) indicarían que son aguas menos contaminadas.

1.1.2. Bases teóricas

Calidad del agua

El agua posee unas características variables que la hacen diferente de acuerdo al sitio y al proceso de donde provenga, estas características se pueden medir y clasificar de acuerdo a características físicas, químicas y biológicas del agua. Éstas últimas son las que determinan la calidad de la misma y hacen que ésta sea apropiada para un uso determinado (Organización Mundial de la Salud, 2006).

La buena salud de los ecosistemas acuáticos y la buena calidad del agua dependen de cómo manejamos nuestra cuenca y los recursos hídricos. Este manejo y las alteraciones producidas en la ribera y en el canal modifican la calidad ecológica del río. Diagnosticar el estado de salud de los ríos nos permite identificar los problemas de contaminación y definir estrategias o cambios en nuestras costumbres que nos permitan mejorar la calidad del agua que utilizamos y proteger los ecosistemas acuáticos y las especies que viven en ellos. En la región Andina, es especialmente importante, conocer la calidad ecológica de los ríos, ya que muchas personas utilizan agua de ríos que reciben gran cantidad de contaminación a su paso por tierras agrícolas o ganaderas, poblados y ciudades. Además, esta agua que puede estar contaminada, luego es usada por otras personas que viven río abajo (Encalada, Rieradevall, Ríos-Touma, García, & Prat, 2011).

El uso del agua impone numerosas modificaciones a la morfología de los ríos, tales como la construcción de presas y canales de riego. El uso del suelo en las cuencas influye en la calidad del agua, debido a que la agricultura, la industria, la urbanización y la deforestación representan las principales fuentes de contaminación puntual y difusa.

Así, se afecta el almacenamiento en acuíferos y la calidad del agua subterránea. De hecho, muchas actividades en la superficie de las cuencas repercuten en el agua subterránea (Aguilar, Ávila, Cardona, Durán, & Zambrano, 2010).

Importancia del Agua

La creciente demanda de agua por parte de las actividades humanas ha provocado, en los últimos 150 años, uno de los efectos más devastadores sobre los ecosistemas: ha reducido el cauce de los ríos, la profundidad de los lagos y el tamaño del manto freático en sistemas terrestres; también ha modificado el ciclo hídrico de las cuencas debido a grandes represas, o pequeños bordos que desvían el cauce o mantienen el agua quitándole la humedad a los sitios bajos. En fechas recientes se ha hecho hincapié sobre los problemas que la falta de este recurso implicaría sobre la humanidad y los ecosistemas. Sin embargo, un segundo efecto, el de la contaminación del agua, genera tantos impactos ecológicos como la obtención de la misma; por ello, hay que considerarlo dentro de la lista de prioridades en el manejo del recurso (Aguilar *et al.*, 2010).

Siendo los desperdicios más comunes que han afectado los ecosistemas dulceacuícolas se dividen en dos grupos: los nutrientes y los industriales. El primer grupo de contaminantes deriva primordialmente de fertilizantes de agricultura que se lixivian o vierten hacia un cuerpo de agua; también de la gran mayoría de los desperdicios domésticos, puesto que los desechos humanos se vuelven nutrientes para las plantas (Aguilar *et al.*, 2010).

Por su parte, el desperdicio industrial puede originar múltiples cambios en el sistema receptor. El efecto varía mucho en función de la industria: si vierte ácidos al agua, el cambio de pH modifica las reacciones químicas de los organismos en la columna de agua y ocasiona muertes masivas; si vierte solventes, éstos liquidan directamente las bacterias que son fuente importante en el reciclado de la energía; si aumenta la concentración de metales pesados en el agua, tal vez las consecuencias no se adviertan con rapidez como en los casos anteriores, pero son más graves y demandan un remedio más costoso y más lento. Por tanto, todo tipo de contaminación resulta altamente nociva para los cuerpos acuáticos (Aguilar *et al.*, 2010).

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua

- Temperatura

Por lo general, la temperatura es una variable física que influye notablemente en la calidad del agua siendo la influencia más interesante la disminución de la solubilidad del oxígeno al aumentar la temperatura y la aceleración de los procesos de putrefacción (Orozco-Barrenetxea, Pérez-Serrano, Gonzáles-Delgado, Rodríguez-Vidal, & Alfayate-Blanco, 2003). El agua fría tiene, por lo general, un sabor más agradable que el agua tibia, y la temperatura repercutirá en la aceptabilidad de algunos otros componentes inorgánicos y contaminantes químicos que pueden afectar al sabor. La temperatura alta del agua potencia la proliferación de microorganismos y puede aumentar los problemas de sabor, olor, color y corrosión (Organización Mundial de la Salud, 2006).

- **Sólidos disueltos totales (TDS)**

Es el residuo remanente después de evaporar una muestra de agua a 103 °C – 105 °C. Así, la presencia de estos sólidos produce la turbiedad del agua. Incluye los sólidos sedimentables, los sólidos suspendidos totales, los sólidos disueltos totales y los coloidales. La diferencia entre uno y otro es el tamaño de partícula, siendo los de mayor tamaño los sólidos sedimentables con un diámetro mayor a 10 µm; y los más pequeños los sólidos disueltos totales (TDS), con un diámetro menor a 0.001 µm. Estos últimos son una medida de la concentración total de iones en solución, principalmente de sales minerales (Chavez de Allaín, 2012). Sólidos son los materiales suspendidos o disueltos en aguas limpias y aguas residuales. Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua o a su suministro de varias maneras. Las aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de inferior potabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor ocasional (APHA, 1992).

- **Sólidos suspendidos totales (TSS)**

Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica. Los TSS son la cantidad de sólidos que el agua conserva en suspensión después de 10 minutos de asentamiento, y se mide en ppm (Ecofluidos Ingenieros S.A., 2012).

- **Conductividad Eléctrica (CE)**

La conductividad eléctrica del agua es la capacidad que tienen las sales inorgánicas presentes en el agua para conducir corriente eléctrica. Es por ello, que la

conductividad eléctrica es un perfecto indicador de la cantidad de sales disueltas, pues a mayor cantidad de éstas, mayor será la conductividad del agua (DIGESA, 2010).

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

En las aguas de riego el pH normal es de 6,5 y 8,4. Las aguas con pH anormal pueden crear desequilibrios de nutrición o contener iones tóxicos que alterarían el crecimiento normal de la planta, también puede afectar al proceso fisiológico de absorción de los nutrientes por parte de las raíces: todas las especies vegetales presentan unos rasgos característicos de pH en los que su absorción es idónea. Fuera de este rango la absorción radicular se ve dificultada y si la desviación en los valores de pH es extrema, puede verse deteriorado el sistema radical o presentarse toxicidades debidas a la excesiva absorción de elementos fitotóxicos (aluminio) (DIGESA, 2010).

- **Cloruros (Cl⁻)**

Los cloruros en concentraciones razonables no son peligrosos para la salud y son un elemento esencial para las plantas y los animales. En concentraciones encima de 250 mg/l producen un sabor salado en el agua, el cual es rechazado por el consumidor, para consumo humano. Sin embargo, hay áreas donde se consumen aguas con 2000 mg/l de cloruros, sin efectos adversos gracias a la adaptación del organismo (DIGESA, 2010).

- **Nitritos (NO_2^-) y Nitratos (NO_3^-)**

La presencia de nitratos y nitritos no es extraña, especialmente en aguas almacenadas en cisternas en comunidades rurales. Aunque la toxicidad relativa de los nitratos es bien conocida, es difícil establecer cuál es el nivel de una dosis nociva. Los nitritos tienen mayor efecto nocivo que los nitratos, pero como generalmente en las aguas naturales no se presentan niveles mayores de 1 mg/L y la oxidación con cloro los convierte en nitratos, el problema prácticamente queda solucionado. Es importante destacar que, aunque el agente responsable de enfermedades son los nitritos, debido a que estos se forman naturalmente a partir de los nitratos, un factor determinante en la incidencia de esta enfermedad es la concentración de nitratos en el agua y los alimentos. Para dar una idea de la gravedad y magnitud potencial de este problema, basta mencionar que los datos obtenidos a través del Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente (GEMS) indican que 10 % de los ríos estudiados en todo el mundo tenían concentraciones de nitratos por encima del límite recomendado por la OMS. Los estudios de GEMS también encontraron que en Europa 15 % de los ríos tenían concentraciones de nitratos hasta 45 veces mayores que la concentración natural. Los métodos tradicionales de floculación e incluso ablandamiento con cal no son efectivos para la remoción de nitratos. El más eficiente es el de resinas de intercambio iónico, que puede remover concentraciones tan altas como 30 mg/L y reducirlas hasta 0,5 mg/L en procesos continuos. En la práctica, difícilmente los nitritos se encuentran en aguas tratadas debido a que se oxidan fácilmente y se convierten en nitratos durante la cloración. Por sus efectos adversos para la salud de los lactantes y porque no se tienen procesos definitivos para su remoción, el contenido de nitratos en aguas de

consumo público no debe exceder, según la EPA, de 10 mg/l. Puesto que los nitritos tienen un efecto tóxico superior a los nitratos, el contenido no debe exceder de 1 mg/L; en ambos casos, medidos como nitrógeno (Vargas, Maldonado, Barrenechea, & Aurazo, 2004).

- **Sulfato (SO₄²⁻)**

Los sulfatos son un componente natural de las aguas superficiales y por lo general en ellas no se encuentran en concentraciones que puedan afectar su calidad. Pueden provenir de la oxidación de los sulfuros existentes en el agua y, en función del contenido de calcio, podrían impartirle un carácter ácido. Así mismo, un contenido alto de sulfatos puede proporcionar sabor al agua y podría tener un efecto laxante, sobre todo cuando se encuentra presente el magnesio, este efecto es más significativo en niños y consumidores no habituados al agua de estas condiciones. Cuando el sulfato se encuentra en concentraciones excesivas en el agua ácida, le confiere propiedades corrosivas (Vargas *et al.*, 2004).

- **Oxígeno disuelto (OD)**

Es la cantidad de oxígeno en el agua el cual es esencial para los riachuelos y lagos saludables; puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir. Este indicador depende de la temperatura, puesto que el agua más fría puede guardar más oxígeno en ella, que el agua más caliente. Los niveles

típicamente pueden variar de 0-18 partes por millón (ppm) aunque la mayoría de los ríos y riachuelos requieren un mínimo de 5-6 ppm para soportar una diversidad de vida acuática. (Lenntech, 2007).

- **Salinidad**

Un exceso de sal en ríos por la actividad humana es un factor que condiciona la supervivencia de organismos, comunidades, biodiversidad y el equilibrio ecológico de todo un ecosistema y además, genera también efectos de carácter económico y problemas de salud pública (Piedra, 2013).

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una medida de la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aeróbicos (principalmente por bacterias y protozoarios). Representa, por lo tanto, una medida indirecta de la concentración de la materia orgánica e inorgánica degradable o transformable biológicamente. Se utiliza para determinar la contaminación de las aguas. Cuando los niveles de la DBO son altos, los niveles de oxígeno disuelto serán bajos, ya que las bacterias están consumiendo ese oxígeno en gran cantidad (Sánchez, Herzig, Peters, Márquez, & Zambrano, 2007).

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

Es la cantidad de oxígeno necesario para descomponer químicamente la materia orgánica e inorgánica. Se utiliza para medir la cantidad total de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales (Sánchez *et al.*, 2007).

- **Coliformes Totales**

El grupo coliforme está formado por todas las bacterias Gram (-), de morfología bacilar, aerobias o anaerobias facultativas, oxidasas negativas, no esporogénicas y capaces de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas a 35 °C dentro de las 24 horas. Las bacterias coliformes pueden hallarse en heces como en el medio ambiente, por ejemplo, aguas ricas en nutrientes, suelos, materias vegetales en descomposición. También hay especies que nunca o casi nunca se encuentran en las heces pero que se multiplican en el agua (Organización Mundial de la Salud, 2006).

Normativa legal de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos del Perú

De acuerdo con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, no se registra un valor fijo para la temperatura (interpretado como variación de la temperatura respecto al promedio mensual multianual del área evaluada), sin embargo, para los demás parámetros establecidos por el MINAM en el Decreto Supremo N° 004-2017 y el Decreto Supremo N° 015-2015 (solo parámetros microbiológicos), categoría 3, D-2 (bebida de animales), indican que deben cumplir con los valores establecidos (Ver Tabla 1).

Tabla 1

Valores de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos del ECA para agua, categoría 3, subcategoría D-2, bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D2: Bebida de animales
FÍSICOS-QUÍMICOS		
Conductividad Eléctrica (CE)	μS/cm	5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40
Nitratos (NO ₃ ⁻ -N) + Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L	100
Oxígeno Disuelto (OD) (valor mínimo)	mg/L	≥ 5
Potencial de hidrogeno (pH)	Unidad de pH	6.5 – 8.4
Temperatura	°C	Δ 3
MICROBIOLÓGICOS		
Coliformes Totales*	NMP/100ml	5000

Fuente: MINAM (2017) y *MINAM (2015).

Calidad biológica y ecológica

En cada cuerpo lótico o léntico, existen gran cantidad y variedad de biota, que involucra micro y macro fauna, como los macroinvertebrados, peces, bacterias, además de una vasta flora que (macrófitos y micrófitos), como las diatomeas, etc. Así, todo tipo de biota está sujeto a distintos cambios, según las condiciones del medioambiente, como por ejemplo a las perturbaciones antrópicas (contaminación), unos se adaptan mejor que otros, pues presentan grados distintos de tolerancia. De este modo, Encalada *et al.* (2011) afirman:

Algunas especies son muy sensibles a la contaminación y frente a una pequeña alteración desaparecen. Otras son un poco más tolerantes, pero, cuando los niveles de contaminantes aumentan, también desaparecen del río. Finalmente, solo unas pocas resisten niveles altos de contaminación e incluso si la contaminación es muy fuerte. (p. 28)

Un ecosistema acuático está determinado por la dominancia de las poblaciones de organismos adaptados característicos o propios de la calidad de sus aguas, los cuales son utilizados como bioindicadores bien sea cualitativamente o cuantitativamente, según el índice que se aplique (Zamora-González, 2007). Por tanto, 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. De modo que, y a título de ejemplo, mientras que las aguas fecales en ningún caso podríamos considerarlas 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 podríamos asociar 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). Precisando se tiene que: “(...) Se considera que un medio acuático presenta una buena calidad biológica cuando tiene unas características naturales que permiten que en su seno se desarrollen las comunidades de organismos que les son propias” (Alba-Tercedor, 1996).

Finalmente, según Zamora-González (2007) “La calidad ecológica está determinada por el nivel de estabilidad (homeostasis) del ecosistema en un momento determinado, en relación con su estado homeostático normal. Evalúa entonces, los efectos de las sustancias extrañas sobre la estabilidad de los ecosistemas” (p. 4).

La bioindicación

En sentido general, todo organismo es indicador de las condiciones del medio en el cual se desarrolla, ya que de cualquier forma su existencia en un espacio y momento determinados responde a su capacidad de adaptarse a los distintos factores ambientales (Pinilla Agudelo, 2000). Sin embargo, en términos más estrictos, un bioindicador es una especie o un grupo de especies, ya sean animales, vegetales o microorganismos, que presentan un rango estrecho de tolerancia a uno o varios factores medioambientales de origen biótico o abiótico. La presencia de un bioindicador en un hábitat es indicativo de un estado particular de su medio ambiente (Tenjo Morales & Cárdenas Castro, 2013).

Asimismo, teniendo en cuenta lo anterior, los criterios para la selección de un buen

bioindicador tendrá muy en cuenta que las poblaciones de especies que se usan deben ser abundantes, muy sensibles a los cambios en el medio donde habitan, con poca movilidad, fáciles de identificar y bien estudiadas en su ecología y ciclo biológico. En cuanto más estrecho sea su límite de tolerancia, mayor será su utilidad como indicador ecológico (Tenjo Morales & Cárdenas Castro, 2013).

Por otro lado, los indicadores biológicos se han asociado directamente con la calidad del agua más que con procesos ecológicos o con su distribución geográfica, sin que ello impida utilizarlos en tales circunstancias (Mason, 2002). Independientemente que se trate de un ecosistema lótico o uno léntico, el tipo de organismos y comunidades presentes en ellos, así como sus adaptaciones al medio, están definidos por las características abióticas y en especial por los factores limitantes existentes en esos ecosistemas. De tal forma que también se pueden diagnosticar las características abióticas de un determinado ecosistema, con base a la característica y el tipo de organismos y comunidades que presente el ecosistema; utilizándolos en este caso como bioindicadores. En este sentido la bioindicación no es otra cosa que la utilización de los organismos y comunidades como indicadores de las características abióticas de un determinado ecosistema (Zamora-González, 2007).

Ventajas y desventajas de los indicadores biológicos

Las ventajas de la utilización de los indicadores biológicos se centran especialmente en la integración que se produce cuando son usados adecuadamente. Además las poblaciones de animales y plantas acumulan información que los análisis físicoquímicos no detectan; también permiten detectar la aparición de nuevos contaminantes y la

selección de algunas especies indicadoras; simplifica y reduce los costos de la valoración sobre el estado del ecosistema (Jaramillo-Londoño, 2002).

Tabla 2
Principales ventajas y desventajas de los bioindicadores

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Las muestras pueden tener integración en el espacio y en el tiempo. - Responden a contaminación crónica. - Responden a contaminación puntual. - Se puede estudiar la bioacumulación de diferentes sustancias. - Se pueden desarrollar estudios en tiempo real (bioensayos). - Permiten medir la degradación del hábitat. - Este tipo de estudio es de bajo costo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pueden presentar una sensibilidad temporal baja. - A veces son difíciles de cuantificación. - Las técnicas de estandarización son complicadas. - Sin validez para estudios de flujos. - Dificultad para utilizar en aguas subterráneas.

Fuente: Jaramillo-Londoño (2002).

Macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados acuáticos tienden a definirse de diferentes maneras, tomando diferentes criterios, según el autor, de esta manera tenemos a Roldán (1988) quien lo define como: “aquellos organismos que se pueden ver a simple vista, o sea, todos aquellos organismos que tengan tamaños superiores a 0.5 mm de longitud” (p. 7); además Roldán (2003) indica que “los macroinvertebrados acuáticos pueden vivir en la superficie, en el fondo o nadar libremente; de ahí que reciban diferentes nombres de acuerdo con este tipo de adaptación” (p. 12). Por otro lado, Carrera y Fierro (2001) afirman: “Son bichos que se pueden ver a simple vista. Se llaman macro porque son

grandes (miden entre 2 milímetros y 30 centímetros), invertebrados porque no tienen huesos, y acuáticos porque viven en los lugares con agua dulce: esteros, ríos, lagos y lagunas” (p. 28). Asimismo, tenemos también a Hanson, Springer y Ramírez (2010) quienes lo definen con mayor alcance, como:

(...) aquellos invertebrados que se pueden ver a simple vista o bien que son retenidos por una red de malla de aproximadamente 125 μ m. Esta distinción es relativa y a veces arbitraria, por lo que podemos ser un poco más precisos definiendo los macroinvertebrados con base en la taxonomía. Este grupo tiene representantes en muchos filos de animales, entre ellos: *Arthropoda*, *Mollusca*, *Annelida*, *Platyhelminthes*, *Nematoda* y *Nematomorpha*. (p. 3)

En resumen, los macroinvertebrados acuáticos se ven a simple vista, por sus relativos tamaños pequeños. Cabe agregar, que el grupo de invertebrados acuáticos más ampliamente distribuido en las aguas dulces es el de los insectos. En la mayoría de éstos, los estados inmaduros (huevos, ninfas) son acuáticos, mientras que los adultos suelen ser terrestres.

Comunidades de macroinvertebrados acuáticos

El ecosistema acuático es el resultado de la interacción de los organismos que allí viven con la calidad físicoquímica del agua, la atmosfera, el medio terrestre que lo rodea (Roldán-Pérez, 2003). Para ello, la composición del agua (físicoquímica) juega un papel fundamental en el desarrollo de la vida acuática, de este modo, cualquier perturbación

causada por el hombre, tiene consecuencias en la estructura de las comunidades que la habitan.

Modos de vida y hábitats de los macroinvertebrados acuáticos

El hábitat se refiere al lugar específico en que vive un organismo; el nicho, al papel que desempeña en la comunidad. En otras palabras, el limnólogo debe saber dónde encontrar los macroinvertebrados acuáticos y conocer sus relaciones con los demás organismos. Los hábitats acuáticos son muy variados y a cada uno de ellos corresponde una comunidad determinada (Roldán-Pérez, 2003).

La mayoría de la biodiversidad de invertebrados acuáticos (entre estos los macroinvertebrados) se pueden clasificar según su ubicación dentro del cuerpo del agua y su manera de moverse dentro de él. La mayoría de los macroinvertebrados viven sobre algún tipo de sustrato, como los bentos, o en la madera, rocas, tallos de plantas, algas, etc. De acuerdo con sus características morfológicas, conductuales y fisiológicas, los invertebrados están adaptados para vivir en regiones más o menos particulares del medio acuático. Además, vale la pena señalar, que esta clasificación funcional es relativa y depende de la etapa (o estadio) de desarrollo en el que se encuentra el invertebrado y el momento o actividad que está realizando.

Por lo tanto, pueden agruparse en tres categorías, según el lugar que pasa la mayor parte de su tiempo en el medio acuático:

Neuston (pleuston). Conjunto de organismos microscópicos componentes del pleuston (Fraume-Restrepo, 2007). Se denomina epineuston a los organismos que viven en la fase aérea (sobre la película de agua), e hiponeuston a los de la fase acuosa (por debajo) (Dajoz & Leiva-Morales, 2003). Estos organismos, ya sea caminando, patinando o brincando; sus uñas, sus patas y su exoesqueleto están recubiertos por una especie de cera que los hace impermeables, así que, en vez de hundirse, doblan la superficie del agua venciendo la tensión superficial. Entre los representantes están las familias *Guerridae*, *Hidrometridae* y *Mesoveliidae* (véase figura 1) (Roldán-Pérez, 2003).

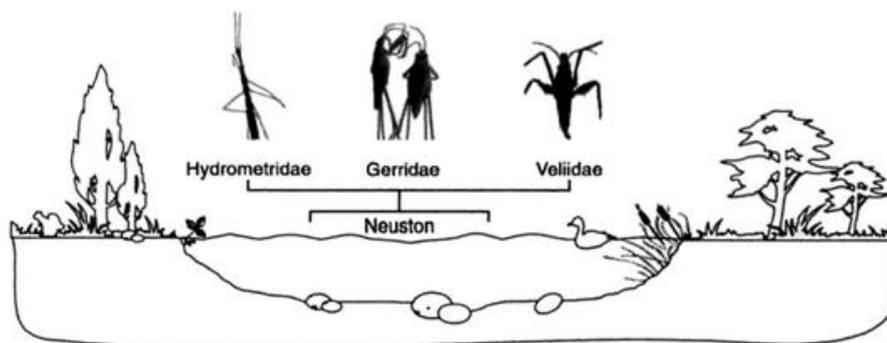


Figura 1. Macroinvertebrados representantes del neuston en un ecosistema acuático.

Fuente: Roldán-Pérez (2003).

Necton. Está conformado por todos aquellos organismos que nadan libremente en el agua. Entre ellos se encuentran: *Corixidae* y *Notonectidae* del orden *Hemiptera*; *Dytiscidae*, *Gyrinidae* e *Hydrophilidae* del orden *Coleóptera* y *Baetidae* del orden *Ephemeroptera* (véase figura 2) (Roldán-Pérez, 2003).

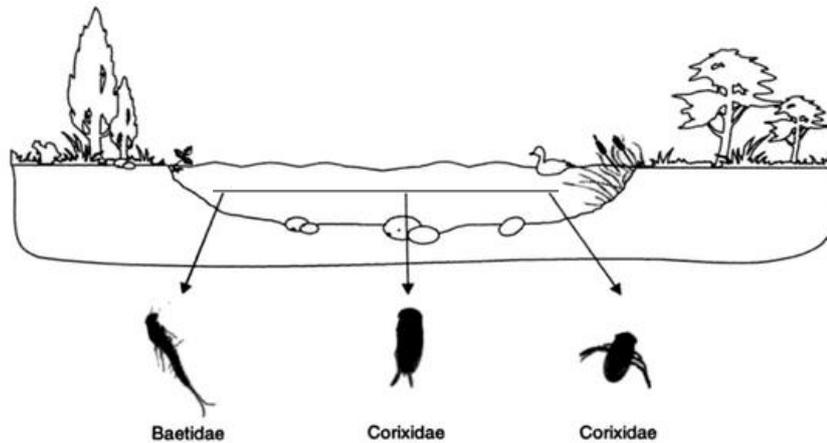


Figura 2. Macroinvertebrados representantes del necton en un ecosistema acuático.

Fuente: Roldán-Pérez (2003).

Bentos. Se refiere a todos aquellos organismos que viven en el fondo de ríos y lagos, adheridos a piedras, rocas, troncos, restos de vegetación y sustratos similares. Los principales órdenes representantes son: *Ephemeroptera*, *Plecóptera*, *Trichoptera*, *Megaloptera* y *Díptera*. También pueden encontrarse algunos enterrados en el fondo a varios centímetros de profundidad, como la familia *Euthyplociidae* (*Ephemeroptera*). Otros, como la familia *Blephariceridae* (*Díptera*), se adhieren fuertemente a rocas mediante un sistema de ventosas en el abdomen. Ciertas especies pertenecientes al orden *Odonata* se encuentran adheridas a vegetación acuática sumergida o emergente (véase figura 3) (Roldán-Pérez, 2003).

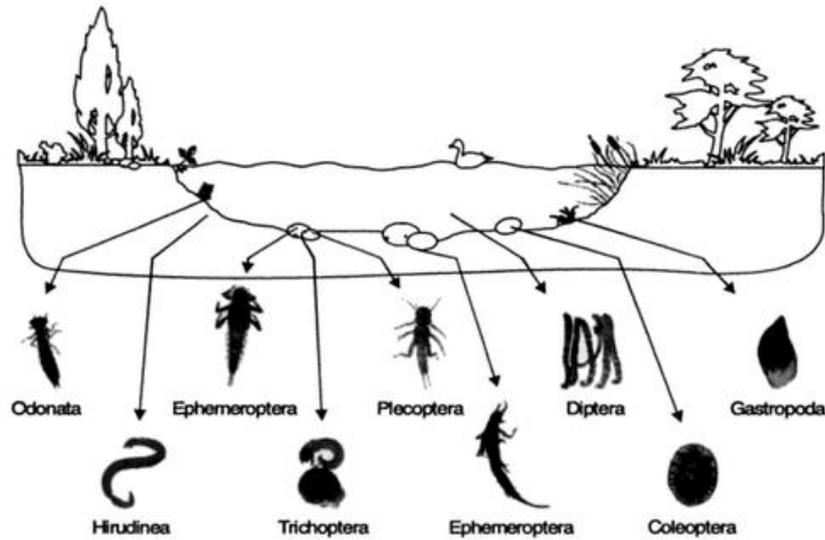


Figura 3. Macroinvertebrados representantes de bentos en un ecosistema acuático.

Fuente: Roldán-Pérez (2003).

Alimentación de los macroinvertebrados acuáticos

Al igual que en los ecosistemas terrestres, los ecosistemas acuáticos funcionan con base en el principio de *comer y ser comido*. Los **parasitarios**, son organismos que viven en una asociación íntima con un hospedero, pero generalmente no lo matan (a veces pueden matarlo si la población de parásitos es muy alta). Ejemplos incluyen: Copépoda (*Crustacea*) en peces, *Bopyridae* (Isópoda) en las branquias de camarones, las larvas de ácaros en los adultos de insectos acuáticos, etc. Los **parasitoides** son organismos que viven en una asociación íntima con un hospedero y a diferencia de un parásito, siempre lo matan. En contraste con un depredador, la larva de un parasitoide consume un solo individuo. Comparado con los ecosistemas terrestres, este grupo es muy escaso en los ecosistemas acuáticos. Incluye algunas pocas especies de avispitas (*Hymenoptera*) que entran al agua para poner su huevo en un insecto acuático o en sus huevos, donde se alimenta y se desarrolla su larva.

Los **detritívoros** se alimentan de detritus (materia orgánica muerta). Los **fragmentadores** (desmenuzadores) se alimentan de pedazos (>1mm) de hojas en descomposición o fragmentos de madera, una dieta que incluye muchos microorganismos (bacterias y hongos), lo cual aumenta el valor nutricional de las hojas. Ellos convierten estos fragmentos en partículas más finas de materia orgánica. Los **filtradores**, incluyen los animales que utilizan estructuras especializadas del cuerpo (cepillos bucales como en *Simuliidae*, patas con brochas de setas en algunas *Ephemeroptera*, etc.) o redes de seda (algunos *Trichoptera* y *Chironomidae*) que funcionan como filtros para remover partículas finas (<1mm) del agua. Muchos filtradores son más bien omnívoros porque se alimentan tanto de materia viva (fitoplancton y zooplancton) como de materia muerta. Los **recogedores** (recolectores) son animales que recogen partículas finas (<1mm) depositadas en el agua (Hanson *et al.*, 2010).

Adaptaciones en el agua y respiración

Puesto que la mayoría de los macroinvertebrados acuáticos deben tomar oxígeno disuelto en el agua es fundamental que estos organismos presenten adaptaciones estructurales y fisiológicas que les permitan llevar a cabo este proceso. Por tanto, los problemas de contaminación que disminuyan los niveles de oxígeno en el agua, son letales para la mayoría de los organismos que allí habitan (Roldán-Pérez, 2003). De ahí que la respiración tenga importancia clave en estos organismos. Por consiguiente, se conocen dos tipos de respiración, la primera es la **respiración hidropnéustica**, que consiste en tomar directamente el oxígeno disuelto en el agua a través de la piel o de agallas filamentosas. Este es el tipo de respiración que

realizan la mayoría de los macroinvertebrados acuáticos. El segundo tipo es la **respiración aeropnéustica**, que la llevan a cabo, algunos tipos de macroinvertebrados acuáticos que toman el oxígeno directamente del aire. Organismos como estos no servirán como indicadores de aguas desoxigenadas (Roldán-Pérez, 2003).

Osmoregulación

Consiste en el mantenimiento de concentraciones específicas de sales o iones dentro del cuerpo. Los animales de agua dulce viven en un medio hipotónico, o sea, el agua tiende a entrar a su cuerpo porque las concentraciones de sales son mayores en su cuerpo que en el medio. Una manera de reducir la entrada de agua es poseer un tegumento impermeable: cutícula con cera en insectos o cutícula con carbonato de calcio en crustáceos. Sin embargo, la respiración cutánea y la respiración branquial (branquias traqueales en el caso de insectos) requieren de superficies permeables y por las que entra un exceso de agua al cuerpo (Hanson *et al.*, 2010). Un aumento de salinidad en el medio (concentración hiperosmótica) sería fatal para la mayoría de los organismos que allí viven (Roldán-Pérez, 2003).

Importancia ecológica

Los macroinvertebrados controlan la productividad primaria de los ecosistemas acuáticos. Ellos consumen gran cantidad de algas y otros microorganismos asociados con el perifiton en ríos o bien con el plancton en lagos (Hanson *et al.*, 2010).

En sistemas basados en material alóctono como la hojarasca, los macroinvertebrados fragmentadores son vitales para mover esta energía a otros niveles tróficos. Los fragmentadores utilizan partículas de gran tamaño, como las hojas de árboles que caen al río y las degradan. En el proceso, generan fragmentos pequeños de materia orgánica que son accesibles a otros organismos, como los recolectores y filtradores (Hanson *et al.*, 2010).

Importancia económica

Algunos macroinvertebrados de agua dulce, principalmente Díptera, pueden ser plagas. Las larvas de *Culicidae*, *Simuliidae* y algunos *Tabanidae* viven en agua dulce, pero los adultos son terrestres y las hembras chupan la sangre de vertebrados (Hematófagos). La mayoría de estos casos solo resultan en una molestia para los seres humanos, pero el ganado a veces pierde peso cuando no puede pastar con tranquilidad por culpa de estas moscas (Hanson *et al.*, 2010).

Desde el punto de vista humano, las especies más problemáticas son las que transmiten enfermedades y sin duda el grupo que tiene mayor importancia médica es el de los zancudos o mosquitos (*Culicidae*), del orden Díptera; por ejemplo, *Aedes aegypti*, una especie introducida a las Américas desde África hace varios siglos, es el vector principal del dengue y la fiebre amarilla (ambos son virus). Sus

larvas se encuentran principalmente en aguas efímeras (latas vacías, llantas, canoas, etc.). *Anophelesalbimanus*, es el vector principal del paludismo o malaria (un protozoario) y sus larvas se encuentran en los márgenes de ríos o pantanos, donde el agua es soleada y crecen las algas verdes filamentosas. En Guatemala, *Simuliumochraceum* (*Simuliidae*) transmite un nematodo introducido de África (*Onchocercavolvulus*) que causa oncocercosis (ceguera de río o enfermedad de Robles) (Hanson *et al.*, 2010).

Por otro lado, algunos macroinvertebrados tienen una importancia económica positiva. Por ejemplo, algunas especies de camarones dulceacuícolas se cultivan para proveer alimento a los seres humanos (New & Valenti, 2000). De este modo, cabe señalar la importancia de los macroinvertebrados acuáticos en estudios que involucran la calidad del agua, es decir, en el biomonitoreos, que, a su vez, aportaría en variados proyectos de gestión ambiental. Todo esto débese a su gran alcance y bajo costo económico, siendo así útiles en todo el mundo.

Principales ordenes de macroinvertebrados acuáticos

Ephemeroptera. Las larvas de este orden son exclusivamente acuáticas y pueden vivir hasta 2 años, mientras que la vida del adulto es muy efímera, de donde se deriva su nombre, llegando a vivir pocas horas o incluso minutos. Su respiración se realiza por branquias abdominales relativamente bien desarrolladas y en su mayor parte son detritívoros (se alimentan de materia orgánica muerta) y herbívoros. A pesar de que presentan diferencias en cuanto a su tolerancia a bajas concentraciones de oxígeno, un gran número de familias de este orden son buenos indicadores de la

calidad del ecosistema y poseen generalmente gran sensibilidad a condiciones ácidas (Ladrera-Fernández, 2012). Este orden cuenta con aproximadamente 300 géneros y 4000 especies descritas en todo el mundo. En América del Sur continental, el número de taxones está creciendo de manera constante debido al desarrollo acelerado de su estudio (Domínguez & Fernández, 2009).

Plecóptera. Constituyen un orden con larvas exclusivamente acuáticas. El adulto presenta un vuelo torpe y suele pasar gran parte del tiempo entre las rocas, por lo que a los adultos de este grupo se les conoce con el nombre de “moscas de las piedras”. Se trata de especies que viven en el fondo de cauces de aguas frías, bien oxigenadas y libres de contaminación, por lo que son ampliamente utilizados como bioindicadores de la calidad del ecosistema acuático. Esta sensibilidad a las bajas concentraciones de oxígeno parece derivarse de la ausencia de grandes branquias, de manera que éstas pueden estar constituidas por finos filamentos en la base de las patas o incluso en el cuello. De acuerdo a su régimen alimenticio pueden ser fragmentadores de materia orgánica gruesa o depredadores (Ladrera-Fernández, 2012). Se ha observado que son especialmente abundantes en riachuelos con fondo pedregoso, de corrientes rápidas y muy limpias situadas alrededor de los 2.000 m de altura. Son, por lo tanto, indicadores de aguas muy limpias y oligotróficas (Roldán, 1988). En Sudamérica existen 6 familias, 47 géneros y cerca de 460 especies, número que está creciendo por los estudios recientes (Domínguez & Fernández, 2009).

Odonata. Engloban a los conocidos como libélulas y caballitos del diablo. Los adultos no se ven obligados a vivir en las inmediaciones del agua, pero las larvas son acuáticas sin excepción. Las larvas de todas las especies de odonatos son zoófagas, atacan a diferentes animales con los que comparten territorio, como oligoquetos, efemerópteros o dípteros e incluso pueden llegar a atacar a renacuajos y alevines de peces. Con este fin depredador, el labro está transformado en un órgano prensil o máscara dentada que es desplegado bruscamente y lanzado hacia adelante para capturar las presas, que quedan atrapadas en los ganchos móviles de las piezas bucales. Pueden vivir en una amplia variedad de hábitats, pero son más frecuentes en las zonas con poca velocidad de corriente de los cursos fluviales, como remansos o en pequeñas lagunas (Ladrera-Fernández, 2012).

Hemíptera. Son un grupo de insectos caracterizados por poseer un aparato bucal chupador, dentro del cual alrededor del 10% de las especies son acuáticas. Una gran parte de familias viven sobre la superficie del agua, como los conocidos zapateros, y la mayoría son depredadores, que a menudo inoculan compuestos tóxicos en sus presas a través de sus estiletes maxilares. Presentan numerosas adaptaciones frente a la depredación, fundamentalmente de peces, como el hecho de vivir en la superficie del agua, el comportamiento gregario o la capacidad de saltar varios centímetros de algunas especies (Ladrera-Fernández, 2012).

Coleóptera. Constituyen el mayor grupo de insectos y, quizá, el más evolucionado. Únicamente el 15% de las especies aproximadamente son acuáticas. Esta adaptación al medio acuático puede tener lugar en diferentes etapas del ciclo vital,

de manera que en algunos grupos las larvas y adultos son acuáticos, mientras que en otros sólo una de las dos fases. Presentan un régimen alimenticio muy variado y la calidad de las aguas no suele ser un factor determinante en la distribución de muchas familias de este grupo (Ladrera-Fernández, 2012).

Díptera. Este orden, también conocido como moscas verdaderas, es uno de los más ampliamente distribuidos y con mayor diversidad, en el que muchas especies presentan larvas acuáticas como los mosquitos y tábanos, entre otros. Algunas especies están adaptadas a vivir en zonas con elevadas corrientes y concentraciones de oxígeno, mientras que otras son especies oportunistas, adaptadas a vivir en ecosistemas con ciertas perturbaciones e incluso en condiciones extremas, por lo que hay especies con requerimientos muy diferentes en cuanto a la calidad del agua, lo cual es usado frecuentemente como indicador de la misma (Ladrera-Fernández, 2012).

Trichoptera. Constituyen uno de los grupos de insectos más importantes de los ecosistemas acuáticos, con larvas exclusivamente acuáticas. Algunas especies fabrican estuches con materiales tan diversos como arena, grava o restos vegetales y en el interior del mismo desarrollan su ciclo larvario. Su modo de alimentación es muy variado, con especies herbívoras, detritívoras y depredadoras, y presentan en general cierta exigencia en cuanto a la calidad del agua (Ladrera-Fernández, 2012).

Factores que determinan la distribución de los macroinvertebrados acuáticos

La estructura de las comunidades de macroinvertebrados es afectada principalmente por la disponibilidad y calidad del alimento, el tipo de sedimento, el sustrato, la temperatura del medio y la concentración del monóxido de carbono y ácido sulfúrico, factores muy variables en ambientes fluviales (Esteves, 1998).

De la misma forma, la distribución y abundancia de los nutrientes dentro de los sistemas lóticos es influenciada por factores como el tamaño del río, las áreas iluminadas y el sustrato, entre otros. En aguas poco profundas y con poca sombra, el periofiton se convierte en un recurso muy importante, por su abundancia y amplia distribución, las formaciones de micro capas orgánicas sobre piedras y otros sustratos, constituyen a su vez, la principal fuente de alimento para las larvas de insectos (Allan, 1995).

Los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua

Las siguientes son las razones por las cuales se consideran los macroinvertebrados como los más propicios para determinar la calidad del agua: son abundantes, de amplia distribución y fáciles de recolectar; son sedentarios en su mayoría y, por tanto, reflejan las condiciones de su hábitat; son relativamente fáciles de identificar; representan los efectos de las variaciones ambientales de corto tiempo; proporcionan información para integrar efectos acumulativos; poseen ciclos de vida largos (semanas y/o meses); se reconocen a simple vista; pueden cultivarse en el laboratorio; responden rápidamente a los tensores ambientales y varían poco genéticamente (Roldán, 1999; 2003). Las comunidades de macroinvertebrados presentan diferentes respuestas a la contaminación (Roldán-Pérez, 2016). Así, por ejemplo, los isópodos actúan como bioacumuladores de metales pesados, por lo que pueden ser usados particularmente para el monitoreo de contaminación por metales pesados en zonas industrializadas y urbanas (Paoletti & Hassall, 1999). Se tiene entonces a determinadas especies que bioacumulan unas más que otras. Por otra parte, la limnología ha estado siempre muy vinculada al estudio de la contaminación de ríos, lagos y al diseño de instalaciones de depuración aprovechando la actividad de los propios organismos en la descomposición de la materia orgánica y en el ciclado de sus elementos (Margalef, 1983). Por un lado, en el caso de los cuerpos lóticos, Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo (2008) mencionan:

Un río que ha sufrido los efectos de la contaminación es el mejor ejemplo para ilustrar los cambios que suceden en las estructuras de los ensambles, las cuales cambian de complejas y diversas con organismos propios de aguas limpias, a simples y de baja diversidad con organismos propios de aguas contaminadas. La cantidad de oxígeno

disuelto, el grado de acidez o basicidad (pH), la temperatura y la cantidad de iones disueltos (conductividad) son a menudo las variables a las cuales son más sensibles los organismos. Dichas variables cambian fácilmente por contaminación industrial y doméstica. (pp. 339-340)

Así, en aguas intermedias, que comienzan a mostrar síntomas de contaminación, o por el contrario, que comienzan a recuperarse, es común encontrar poblaciones dominantes de turbelarios, hirudíneos, quironómidos, oligoquetos y algunos moluscos (Roldán-Pérez, 2003). Asimismo, Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo (2008) afirman:

De lo mucho que se conozca de la ecología de los organismos, depende el grado de confianza que estos ofrezcan en la evaluación de un ecosistema acuático. Se puede hablar simplemente de grandes grupos, como, por ejemplo, decir que en términos generales los efemerópteros, plecópteros y tricópteros son indicadores de aguas limpias y que los anélidos y ciertos dípteros (quironómidos) son indicadores de aguas contaminadas. (p. 340)

Por consiguiente, la categoría taxonómica más apropiada para los bioindicación sería el de la especie, pero, Prat, Ríos, Acosta y Rier (2009) afirmaron:

Si bien es cierto que el nivel preferible sería el de especie, la taxonomía de ciertos grupos hace el trabajo prácticamente inviable en muchos países en gran parte por el coste económico que ello comporta (en forma de tiempo para el examen de las muestras). (...) Por ello, un buen equilibrio entre calidad de los resultados y tiempo requerido para obtenerlos se da utilizando como nivel taxonómico la familia. (...) En algunos casos se

utilizan niveles taxonómicos algo diferentes, por ejemplo, género en Tricópteros, Plecópteros o Efemerópteros y familia en Dípteros y Oligoquetos. En las circunstancias actuales, el uso a nivel de familia parece el que puede ofrecer más ventajas en América del Sur. (pp. 633-634)

Por último, según Roldán (2016): “Metcalf (1989), distingue tres enfoques principales para evaluar la respuesta de las comunidades de macroinvertebrados a la contaminación. Estos son: el sapróbico, la diversidad y el biótico” (p. 260). Sin embargo, no son todos, desde los años setenta en Colombia se ha venido investigando el tema de la bioindicación, con trabajos en el río Medellín (Roldán, Builes, Trujillo, & Suárez, 1973). En años siguientes se han ido adaptando métodos provenientes de Europa, como el método BMWP (Biological Monitoring Working Party), que fue establecido originalmente en Inglaterra a inicios de los setentas, luego años después fue adaptado por Roldán (2003), como propuesta de bioindicación, empleando macroinvertebrados acuáticos.

Evaluación de la biodiversidad

La diversidad biológica dentro de una comunidad tiene dos componentes: (1) riqueza o número de especies, y (2) la abundancia relativa de cada una de las especies. Un modo de caracterizar a una comunidad consiste en establecer una lista de las especies que la componen junto con sus abundancias (Martella *et al.*, 2012).

Diversidad alfa

Según Moreno (2001) es la riqueza de especies de una comunidad particular a la que consideramos homogénea.

- Riqueza Específica (S)

Es el número total de familias que se obtendrá por un censo de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos. Por lo tanto, es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de familia presentes (Martella *et al.*, 2012).

- Índice de Abundancia

Describirá la estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en términos de la abundancia proporcional de cada familia, es decir, la proporción que representan los individuos de una familia particular respecto al total de individuos de la comunidad (Martella *et al.*, 2012). Se sub divide en abundancia absoluta y relativa, se describen con las siguientes fórmulas:

Ecuación 1. Abundancia Absoluta

$$AA = \sum ni$$

Ecuación 2. Abundancia Relativa

$$AR = \frac{ni}{\sum ni} \times 100$$

Donde:

- ni – número de individuos de la especie i

- **Índice de la diversidad de Shannon-Weaver**

Este índice tomará en cuenta a los individuos que se muestreen al azar a partir de una población indefinidamente grande y que todas las familias que componen la comunidad o hábitat están representadas en la muestra (Martella *et al.*, 2012).

De este modo, se calcula a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 3. Índice de diversidad de Shannon-Weaver

$$H' = - \sum_{i=0}^S (Pi \log_2 Pi)$$

Donde:

- S – número de especies (la riqueza de especies)
- Pi – proporción de individuos de la especie / respecto al total de individuos (abundancia relativa de la especie): $\frac{ni}{N}$
- ni – número de individuos de la especie i
- N – número de todos los individuos de todas las especies.

El valor del índice de Shannon (H') suele hallarse entre 1.5 y 3.5 y sólo raramente sobrepasa 4.5 (Martella *et al.*, 2012).

- **Equidad de Pielou**

Según Moreno (2001) mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Así, Martella *et al.* (2012) menciona que, dicha equidad adopta valores entre 0 y 1, el número 1 indica que todas las especies son igualmente abundantes y el 0 señala la ausencia de uniformidad. Su fórmula es:

Ecuación 4. Equidad de Pielou

$$Pielou'J = \frac{H'}{\ln(S)}$$

Donde:

- H' - índice de la diversidad de Shannon.
- S - número de especies (o riqueza).

El índice BMWP para Colombia (BMWP/Col.)

El Biological Monitoring Working Party (BMWP) fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores. Este método sólo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia) (Roldán-Pérez, 2003).

Para el cálculo de dicho índice primero se tiene que identificar en el laboratorio cada uno de los macroinvertebrados según sus características que se observarán en el estereoscopio, para luego identificarlas con ayuda de claves taxonómicas. En la identificación de los macroinvertebrados se recomienda elaborar un inventario con una lista de las clases, subclases, órdenes y familias presentes. Los valores que se asignarán, según la ausencia o presencia, están entre 1 y 10, siendo 1, las familias de macroinvertebrados más tolerantes a la polución y 10 las familias de macroinvertebrados más intolerantes. Seguidamente, con la puntuación de cada familia (Ver Anexo 5), se obtendrá el valor de índice BMWP/Col. Por consiguiente, ya habiendo asignado la puntuación pertinente, se procede a sumar los puntajes, dando así, el grado de contaminación, cuanta mayor llegue a ser la suma, menor será la polución (Ver Tabla 3).

Tabla 3
Clases, valores y características para aguas naturales clasificadas mediante el índice BMWP para Colombia.

Clase	Rango	Calidad	Características	Color
I	≥ 121	Muy Buena	Aguas muy limpias	Azul oscuro
II	101 -120	Buena	Aguas limpias	Azul claro
III	61 - 100	Aceptable	Aguas medianamente contaminadas	Verde
IV	36 - 60	Dudosa	Aguas Contaminadas	Amarillo
V	16 - 35	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja
VI	≤ 15	Muy crítica	Aguas Fuertemente contaminadas	Rojo

Fuente: Tomado de Roldán (2003) y adaptado por Zamora-González (2007).

Índice Biótico Andino (por sus siglas en inglés ABI)

El ABI (Acosta *et al.*, 2009), es un índice biótico que sirve para evaluar la calidad del agua y la integridad ecológica de ecosistemas acuáticos andinos. Además, se tiene que:

La principal ventaja de utilizar el índice ABI es que permite utilizar a los macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua, a partir de información taxonómica a nivel de Familia y es específico para las zonas andinas (>2000 msnm). Además, la metodología requiere solo de datos cualitativos, (presencia o ausencia de familias), lo que hace de ella una alternativa económica, sencilla y que requiere de poca inversión de tiempo. (Encalada *et al.*, 2011, p. 33)

Para calcular este índice, primero se asigna valores entre 1 y 10 a cada familia de macroinvertebrados acuáticos, por supuesto, identificados con anterioridad en el

laboratorio, así, las familias con 1 son más tolerantes y 10 las más intolerantes a su medio (Ver Anexo 6). Cuando se haya asignado todo el puntaje al inventario de macroinvertebrados, se sumará y obtendrá el puntaje total del ABI. De este modo, se tendrá la calidad (Ver Tabla 4) del cuerpo de agua monitoreado.

Tabla 4
Establecimiento de la calidad de agua a partir del puntaje del Índice Biótico Andino (por sus siglas en inglés ABI)

ÍNDICE BIÓTICO ANDINO (ABI)				
Muy bueno	Bueno	Moderado	Malo	Pésimo
Más de 74	45 a 74	27 a 44	11 a 26	Menos de 11

Fuente: Flores-Rojas (2014).

1.1.3. Definición de términos básicos

- **pH:** Es una de las pruebas más comunes para conocer parte de la calidad del agua. El pH, nos indica la alcalinidad o acidez, en este caso de un líquido como es el agua, las mediciones del pH se ejecutan en una escala de 0 a 14, con 7.0 considerado neutro. Las soluciones con un pH inferior a 7.0 se consideran ácidos. Las soluciones con un pH por encima de 7.0, hasta 14.0 se consideran bases o alcalinos (Fraume-Restrepo, 2007).
- **Temperatura:** Es una propiedad de la materia que está relacionada con la sensación de calor o frío que se siente en contacto con ella. Cuando tocamos un cuerpo que está a menos temperatura que el nuestro sentimos una sensación de frío, y al revés de calor (Fraume-Restrepo, 2007).
- **Nitratos:** Es un compuesto inorgánico compuesto por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de oxígeno (O); el símbolo químico del nitrato es NO_3^- . El nitrato no es normalmente peligroso para la salud a menos que sea reducido a nitrito (NO_2^-) (Fraume-Restrepo, 2007).
- **Sulfatos:** Son compuestos que se encuentran presentes en el agua de forma natural, debido al lavado y la disolución parcial de materiales del terreno por el que discurre (formaciones rocosas compuestas de yeso principalmente y suelos sulfatados) (Fraume-Restrepo, 2007).
- **Cloruros:** Compuesto de cloro y otro elemento químico diferente del oxígeno; se obtiene por acción del cloro o del ácido clorhídrico con un metal o su hidróxido. Los cloruros metálicos son en general solubles en agua, excepto el de plata (Fraume-Restrepo, 2007).

- **Demanda química de oxígeno (DQO):** Es la concentración de la masa de oxígeno consumido por la descomposición química de la materia orgánica e inorgánica (Fraume-Restrepo, 2007).
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** Es la cantidad de oxígeno consumida durante un tiempo determinado, a temperatura dada, para descomponer por oxidación orgánica del agua (Fraume-Restrepo, 2007).
- **Oxígeno disuelto (OD):** Oxígeno libremente disponible en el agua, es la concentración de oxígeno existente a determinadas condiciones de presión y temperatura, en una muestra líquida proveniente de líquidos residuales o de un cuerpo de agua (Fraume-Restrepo, 2007).
- **Conductividad eléctrica (CE):** La corriente eléctrica resulta del movimiento de partículas cargadas eléctricamente y como respuesta a las fuerzas que actúan en estas partículas debido a un campo eléctrico aplicado. Dentro de la mayoría de los sólidos existen un flujo de electrones que provoca una corriente, y a este flujo de electrones se le denomina conducción electrónica (Fraume-Restrepo, 2007).
- **Macroinvertebrados:** Organismos invertebrados con un tamaño superior a 0,5 milímetros, y que son visibles por el ojo humano (Fraume-Restrepo, 2007).
- **Estándares de Calidad Ambiental (ECA):** Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos (D.S. N° 004, 2017).

1.2. Formulación del problema

¿Qué relación existe entre la presencia de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores y los parámetros físicoquímicos según el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales), del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, en el río San Lucas, provincia de Cajamarca, septiembre 2018 - febrero 2019?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la relación que existe entre la presencia de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores y los parámetros fisicoquímicos del río San Lucas en la provincia de Cajamarca durante septiembre de 2018 y febrero de 2019.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la riqueza, abundancia, frecuencia y diversidad de macroinvertebrados acuáticos en el río San Lucas, provincia de Cajamarca, durante septiembre de 2018 y febrero de 2019.
- Determinar la calidad del agua según el Índice Biótico Andino (ABI) y El índice Biological Monitoring Working Party para Colombia (BMWP/Col.) en el río San Lucas, provincia de Cajamarca, durante septiembre de 2018 y febrero de 2019.
- Determinar y comparar los resultados de las características fisicoquímicas del agua en las seis estaciones de muestreo con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales), según el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM en el río San Lucas, provincia de Cajamarca, durante septiembre de 2018 y febrero de 2019.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

H_i: Los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores se relacionan con los parámetros fisicoquímicos del agua en el río San Lucas, provincia de Cajamarca, durante septiembre de 2018 y febrero de 2019.

H₀: Los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores no se relacionan con los parámetros fisicoquímicos del agua en el río San Lucas, provincia de Cajamarca, durante septiembre de 2018 y febrero de 2019.

1.4.2. Hipótesis específicas

- La mayor riqueza y diversidad se encontró en la parte alta, la mayor abundancia se encontró en la parte alta y media en el río San Lucas, provincia de Cajamarca, durante septiembre de 2018 y febrero de 2019.
- Se encontró que la calidad del agua utilizando el índice ABI es “mala” y el índice BMWP/Col. es “crítica” en la parte media y baja en el río San Lucas, provincia de Cajamarca, durante septiembre de 2018 y febrero de 2019.
- Al comparar los resultados de los parámetros fisicoquímicos con el Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, D2 (bebidas de animales) del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, se encontró que superan el límite establecido el OD, pH, DBO₅ y DQO en el río San Lucas, provincia de Cajamarca, durante septiembre de 2018 y febrero de 2019.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El presente proyecto, de acuerdo al diseño de investigación es No experimental, del tipo longitudinal y del sub tipo descriptivo-correlacional.

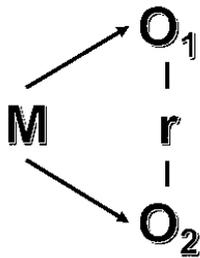


Figura 4. Diseño

Donde:

M = Representa la muestra.

O₁ = Diversidad de las familias de macroinvertebrados acuáticos.

O₂ = Parámetros fisicoquímicos del agua.

r = Relación entre las variables de estudio.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

Comunidad de macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos presentes en el río San Lucas en los seis puntos de monitoreo.

2.2.2. Muestra

Individuos de macroinvertebrados acuáticos recolectados y parámetros fisicoquímicos presentes en el río San Lucas en los seis puntos de monitoreo.

2.2.3. Ubicación

Los seis puntos de monitoreo del río San Lucas comprenden, parte alta, media y baja. De los cuales, los puntos P01 y P02 (quedan cerca de los centros poblados el Ronquillo y Corisorgona) representan la parte alta, los puntos P03 y P04 (dentro de la ciudad de Cajamarca) representan la parte media y los puntos P05 (al frente del complejo deportivo Qhapaq Ñan) y P06 (a unos metros antes de la unión con el río Mashcón) representan la parte baja, con sus debidas coordenadas. Ver Tabla 5, Figura 5 y Anexo 1.

Tabla 5
Coordenadas geográficas de los puntos de monitoreo en el río San Lucas

Puntos de monitoreo	COORDENADAS UTM (WGS84, ZONA 17 S)		
	Norte	Este	Altitud (m.s.n.m)
P01	9208765.3	771404.9	2735
P02	9208402.6	771878.1	2734
P03	9208443.3	773443.3	2729
P04	9208411.7	775001.7	2727
P05	9207574.4	777124.0	2726
P06	9207307.7	778388.4	2728

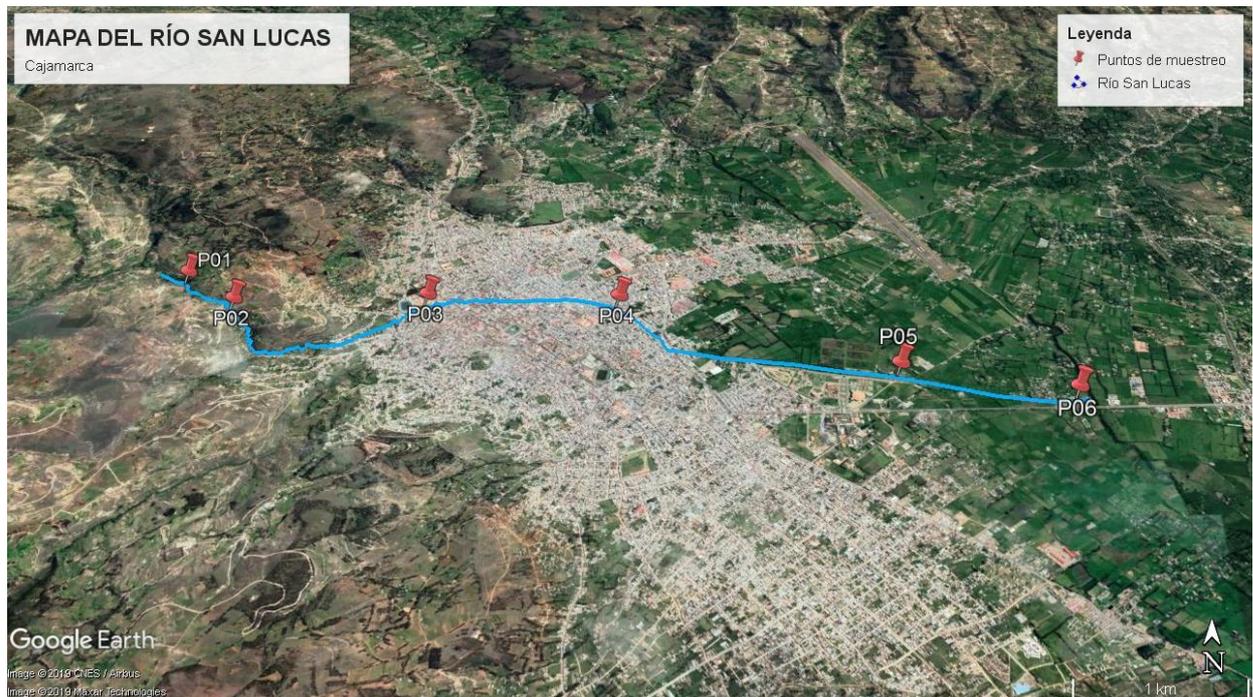


Figura 5. Ubicación de los puntos de monitoreo en el río San Lucas, provincia de Cajamarca.

2.3. Materiales, Instrumentos y Métodos

2.3.1. Materiales

Tabla 6
Materiales de campo

CANTIDAD	MATERIALES
2	Coolers
2	Plumones indelebles
4	Pares de guantes de látex
2	Pares de guantes de jebe
2	Cuadernos
2	Lapiceros
2	Laptops
2	Pares de botas
1	Calculadora
1	Cinta para rotular
1	Frasco de Alcohol de 96°

Tabla 7
Materiales de laboratorio

CANTIDAD	MATERIALES	VOLUMEN
6	Frascos de plástico	500ml
6	Frascos de plástico	1L
6	Frascos Winkler	250ml
6	Frascos de plástico	100ml
6	Frascos de plástico	100ml
CANTIDAD	MATERIALES	
2	Placas Petri	
2	Pinzas entomológicas	
1	Guía digital de clave taxonómica de macroinvertebrados acuáticos	

2.3.2. Instrumentos

Tabla 8
Instrumentos

CANTIDAD	INSTRUMENTOS
2	Estereoscopio ZEISS Stemi 305
1	Cámara fotográfica
1	Red Tipo D-net (Artesanal de 300 micras, tela organza)
1	Termómetro de alcohol
1	GPS Garmin eTrex® 20x

2.3.3. Métodos

El presente proyecto de investigación está basado en la observación, medición y comparación de datos.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.4.1. Técnicas de recolección de datos

Técnica de colecta de macroinvertebrados en aguas continentales del Perú

En el río San Lucas se exploró cuidadosamente cada uno de los hábitats posibles, en cada uno de los seis puntos de muestreo, la exploración se dio en el sustrato de fondo, macrofitas acuáticas, raíces sumergidas de árboles y sustratos artificiales. El esfuerzo de muestreo cubrirá un área de 100 metros por cada punto. Finalmente, el muestreo se realizó durante unos 20 o 30 minutos (Samanez-Valer *et al.*, 2014).

Para el muestreo de macroinvertebrados acuáticos en el río San Lucas se utilizó la red tipo D-net. De este modo, en primer lugar, se hizo el barrido de orillas en aguas poco profundas, en segundo lugar, en aguas profundas se hizo a manera de barrido sobre la vegetación, en tercer lugar, en el fondo, donde haya poca corriente y aguas estancadas, se barrió solo superficialmente (Samanez-Valer *et al.*, 2014).

Por otro lado, se recomienda no muestrear después de lluvias intensas, ya que puede haber pérdida de organismos locales o encontrarse otros arrastrados por la corriente, también, en algunos ríos debe muestrearse en ambas orillas, pues la fauna puede ser diferente debido a la sombra, meandros, composición del fondo; no debe muestrearse en la confluencia inmediata de dos ríos, sino más abajo de la zona de mezcla (Samanez-Valer *et al.*, 2014).

Técnica para el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

El monitoreo del agua para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos fue realizado según el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (R.J. N° 010-2016-ANA), que garantizó la calidad del monitoreo, y consiste en:

- Reconocimiento del entorno de las estaciones de monitoreo.
- Rotulado y etiquetado.
- Georreferenciación de los puntos de monitoreo.
- Medición de los parámetros de campo.
- Toma de muestras.
- Preservación de muestras.
- Llenado de cadena custodia.
- Conservación y transporte de muestras.

2.4.2. Técnicas de análisis de datos

Para determinar la relación que existe entre los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores y los parámetros fisicoquímicos del río San Lucas, se usó la técnica estadística de correlación Pearson, que consiste en medir el grado de relación de variables. De esta manera, se generó una base de datos en el software Microsoft Excel, donde se ingresó los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos del Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca y los resultados de los índices bióticos (ABI y BMWP/Col.) obtenidos en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte, sede Cajamarca, seguidamente, a partir de la

base de datos se procesó ambas variables en el software IBM SPSS, para luego hacer el análisis e interpretación de los resultados obtenidos.

2.4.3. Instrumentos de recolección de datos

- Termómetro de alcohol: para tomar la temperatura ambiente del río San Lucas.
- Estereoscopio: para identificar las familias de macroinvertebrados.
- GPS Garmin eTrex® 20x: para georreferenciar las ubicaciones de los puntos de monitoreo.

2.5. Procedimientos

i. Para los parámetros físicoquímicos y microbiológicos

Se aplicó el “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (R.J. N° 010-2016-ANA)” y los “Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua (D. S. N° 015-2015-MINAM y D. S. N° 004-2017-MINAM)”

a. Para realizar la toma de muestras.

Antes de la toma de muestra:

- Planificación del monitoreo.
- Establecimiento de los puntos de monitoreo.
- Codificación de los puntos de monitoreo.
- La toma de muestras se realizó en septiembre de 2018 y febrero de 2019.
- Se dispuso de seis envases de plástico de una capacidad de 1L, seis envases de 500 mL, doce envases con una capacidad de 100 mL, además se dispuso de seis frascos Winkler de 250mL, todo esto se utilizó para cada mes, en cada uno de los puntos de monitoreo.
- Se utilizó un marcador indeleble para rotular las etiquetas de los envases.

Recolección de muestras:

- Se dejó un espacio vacío en el frasco para facilitar la homogenización por agitación antes de proceder al análisis.
- Se tomó la temperatura del agua y se tomaron fotografías de la fuente de agua.

- Se anotó la localización de los puntos en coordenadas por medio de un GPS.
- Se llenó la cadena de custodia.
- Se recolectó las muestras de agua por cada punto de monitoreo, para el posterior análisis de los parámetros fisicoquímicos.
- Los frascos permanecieron a una temperatura de 4 a 10°C, por ello, se transportaron en hieleras.

Manejo y preservación:

- El tiempo desde la recolección de la muestra hasta el inicio del análisis no excedió de 24 horas.
- Las muestras se mantuvieron por debajo de los 10 °C durante el transporte, aún después de su llegada.
- Entrega de las muestras al Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca, para su posterior análisis.

b. Para el análisis de los resultados obtenidos.

Seguidamente, con los resultados cedidos del Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca y los datos obtenidos en campo, se creó una base de datos en el software Microsoft Excel, para su posterior procesamiento y análisis, que, en este caso, se comparó los resultados y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales).

ii. Para los macroinvertebrados acuáticos

1. Se aplicó “Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú, publicado por el Ministerio del Ambiente”
 - a. Para la toma y registro de las muestras
 - Se utilizó seis frascos de plástico estériles de 100 ml para la recolección de muestras en cada uno de los puntos de muestreo.
 - Se rotuló los frascos que se utilizaron en el recojo de las muestras en los seis puntos de muestreo.
 - Para la conservación de los macroinvertebrados acuáticos se añadió alcohol de 96°.
 - Las muestras de los seis puntos recolectadas en campo se llevaron al laboratorio de la Universidad Privada del Norte, sede Cajamarca.
 - Seguidamente, los macroinvertebrados acuáticos se identificaron y contaron con ayuda de claves taxonómicas y estereoscopios.
 - En el trabajo de gabinete se creó una base de datos del registro de los macroinvertebrados acuáticos de cada punto de muestreo.

2. Se aplicó el “Manual de Ecología: evaluación de la biodiversidad”
 - b. Para evaluar la diversidad alfa
 - De este modo, se procedió, en hojas del software Microsoft Excel, al cálculo de la abundancia absoluta y relativa, riqueza específica, frecuencia absoluta y relativa, el índice de diversidad de Shannon y la uniformidad de Pielou.

3. Se aplicó el “Índice Biological Monitoring Working Party para Colombia (BMWP/Col.) y el Índice Biótico Andino (ABI)”
 - c. Para las asignación y cálculo de los índices
 - Posteriormente, con la base de datos generada, se procedió a la asignación de puntajes a cada familia identificada según las tablas del índice BMWP/Col. (Anexo 5) e índice ABI (Anexo 6).
 - Finalmente, en hojas de cálculo del software Microsoft Excel se obtuvo la calidad del agua por cada índice biótico y puntos de muestreo.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Composición Taxonómica

La composición taxonómica en ambos meses, consta de 4 Clases, 1 subclase, 6 órdenes y 13 familias. Ver Tabla 9.

Tabla 9
Composición taxonómica de macroinvertebrados acuáticos encontrados en el río San Lucas en septiembre de 2018 y febrero de 2019

CLASE	SUBCLASE / ORDEN	FAMILIA
		<i>Elmidae</i>
	<i>Coleóptera</i>	<i>Gyrinidae</i>
		<i>Psephenidae</i>
	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>
		<i>Ephydriidae</i>
<i>Insecta</i>	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>
		<i>Leptohyphidae</i>
		<i>Leptoceridae</i>
	<i>Trichoptera</i>	<i>Polycentropodidae</i>
		<i>Xiphocentronidae</i>
	<i>Odonata</i>	<i>Aeshnidae</i>
<i>Rhabditophora</i>	<i>Tricladida</i>	<i>Planariidae</i>
<i>Clitellata</i>	<i>Oligochaeta</i>	-
<i>Gastropoda</i>	-	<i>Physidae</i>

3.2. Abundancia absoluta y riqueza específica

Tabla 10

Abundancia absoluta y riqueza específica de macroinvertebrados acuáticos encontrados en cada punto de muestreo del río San Lucas en septiembre de 2018

MES DE SEPTIEMBRE DE 2018										
CLASE	SUBCLASE / ORDEN	FAMILIA	ABUNDANCIA ABSOLUTA						TOTAL	
			P01	P02	P03	P04	P05	P06		
Insecta	Coleóptera	<i>Elmidae</i>	3	5	0	0	0	0	8	
		<i>Gyrinidae</i>	2	1	0	0	0	0	3	
		<i>Psephenidae</i>	5	7	0	0	0	0	12	
	Díptera	<i>Chironomidae</i>	2	3	38	44	28	31	146	
		<i>Ephydriidae</i>	3	1	0	0	0	0	4	
	Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	11	9	1	0	0	0	21	
		<i>Leptohyphidae</i>	2	1	0	0	0	0	3	
		<i>Leptoceridae</i>	4	0	0	0	0	0	4	
	Trichoptera	<i>Polycentropodidae</i>	1	3	0	0	0	0	4	
		<i>Xiphocentronidae</i>	1	0	0	0	0	0	1	
	Odonata	<i>Aeshnidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	
	Rhabditophora	Tricladida	<i>Planariidae</i>	1	2	0	0	0	0	3
	Clitellata	Oligochaeta	-	0	0	0	1	0	0	1
Gastropoda	-	<i>Physidae</i>	1	6	0	0	0	0	7	
Abundancia absoluta total (N° de individuos/hora de esfuerzo)			36	38	39	45	28	31	217	
Riqueza específica			12	10	2	2	1	1		

Tabla 11

Abundancia absoluta y riqueza específica de macroinvertebrados acuáticos encontrados en cada punto de muestreo del río San Lucas en febrero de 2019

MES DE FEBRERO DE 2019										
CLASE	SUBCLASE / ORDEN	FAMILIA	ABUNDANCIA ABSOLUTA						TOTAL	
			P01	P02	P03	P04	P05	P06		
Insecta	Coleóptera	<i>Elmidae</i>	11	24	1	0	0	0	36	
		<i>Gyrinidae</i>	0	1	0	0	0	0	1	
		<i>Psephenidae</i>	6	2	0	0	0	0	8	
	Díptera	<i>Chironomidae</i>	3	5	26	31	22	18	105	
		<i>Ephydriidae</i>	2	0	0	0	0	0	2	
	Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	9	13	2	0	0	0	24	
		<i>Leptohyphidae</i>	1	3	0	0	0	0	4	
		<i>Leptoceridae</i>	3	0	0	0	0	0	3	
	Trichoptera	<i>Polycentropodidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	
		<i>Xiphocentronidae</i>	1	0	0	0	0	0	1	
	Odonata	<i>Aeshnidae</i>	0	1	0	0	0	0	1	
	Rhabditophora	Tricladida	<i>Planariidae</i>	1	0	0	0	0	0	1
	Clitellata	Oligochaeta	-	0	1	0	0	0	0	1
	Gastropoda	-	<i>Physidae</i>	1	3	0	0	0	0	4
Abundancia absoluta total (N° de individuos/hora de esfuerzo)			38	53	29	31	22	18	191	
Riqueza específica			10	9	3	1	1	1		

3.3. Abundancia relativa

Tabla 12

Abundancia relativa de macroinvertebrados acuáticos encontrados en cada punto de muestreo del río San Lucas, en septiembre de 2018

MES DE SEPTIEMBRE DE 2018										
CLASE	SUBCLASE / ORDEN	FAMILIA	ABUNDANCIA RELATIVA (%)						PROMEDIO	
			P01	P02	P03	P04	P05	P06		
Insecta	Coleóptera	<i>Elmidae</i>	8.33	13.16	0.00	0.00	0.00	0.00	3.58	
		<i>Gyrinidae</i>	5.56	2.63	0.00	0.00	0.00	0.00	1.36	
		<i>Psephenidae</i>	13.89	18.42	0.00	0.00	0.00	0.00	5.38	
	Díptera	<i>Chironomidae</i>	5.56	7.89	97.44	97.78	100.00	100.00	68.11	
		<i>Ephydriidae</i>	8.33	2.63	0.00	0.00	0.00	0.00	1.83	
	Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	30.56	23.68	2.56	0.00	0.00	0.00	9.47	
		<i>Leptohyphidae</i>	5.56	2.63	0.00	0.00	0.00	0.00	1.36	
		<i>Leptoceridae</i>	11.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.85	
	Trichoptera	<i>Polycentropodidae</i>	2.78	7.89	0.00	0.00	0.00	0.00	1.78	
		<i>Xiphocentronidae</i>	2.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	
	Odonata	<i>Aeshnidae</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Rhabditophora	Tricladida	<i>Planariidae</i>	2.78	5.26	0.00	0.00	0.00	0.00	1.34
	Clitellata	Oligochaeta	-	0.00	0.00	0.00	2.22	0.00	0.00	0.37
Gastropoda	-	<i>Physidae</i>	2.78	15.79	0.00	0.00	0.00	0.00	3.09	
TOTAL (%)			100	100	100	100	100	100	100	

Tabla 13

Abundancia relativa de macroinvertebrados acuáticos encontrados en cada punto de muestreo del río San Lucas, en febrero de 2019

MES DE FEBRERO DE 2019										
CLASE	SUBCLASE / ORDEN	FAMILIA	ABUNDANCIA RELATIVA (%)						PROMEDIO	
			P01	P02	P03	P04	P05	P06		
Insecta	Coleóptera	<i>Elmidae</i>	28.95	45.28	3.45	0.00	0.00	0.00	12.95	
		<i>Gyrinidae</i>	0.00	1.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	
		<i>Psephenidae</i>	15.79	3.77	0.00	0.00	0.00	0.00	3.26	
	Díptera	<i>Chironomidae</i>	7.89	9.43	89.66	100.00	100.00	100.00	67.83	
		<i>Ephydriidae</i>	5.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	
	Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	23.68	24.53	6.90	0.00	0.00	0.00	9.18	
		<i>Leptohyphidae</i>	2.63	5.66	0.00	0.00	0.00	0.00	1.38	
		<i>Leptoceridae</i>	7.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.32	
	Trichoptera	<i>Polycentropodidae</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		<i>Xiphocentronidae</i>	2.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	
	Odonata	<i>Aeshnidae</i>	0.00	1.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	
	Rhabditophora	Tricladida	<i>Planariidae</i>	2.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44
	Clitellata	Oligochaeta	-	0.00	1.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31
Gastropoda	-	<i>Physidae</i>	2.63	5.66	0.00	0.00	0.00	0.00	1.38	
TOTAL (%)			100	100	100	100	100	100	100	

3.4. Frecuencia absoluta y relativa

Tabla 14

Frecuencia absoluta y relativa de los macroinvertebrados acuáticos encontrados en cada punto de muestreo del río San Lucas, en septiembre de 2018

MES DE SEPTIEMBRE DE 2018										
Clase	Subclase / Orden	Familia	P01	P02	P03	P04	P05	P06	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa (%)
Insecta	Coleóptera	<i>Elmidae</i>	1	1	0	0	0	0	0.33	7.14
		<i>Gyrinidae</i>	1	1	0	0	0	0	0.33	7.14
		<i>Psephenidae</i>	1	1	0	0	0	0	0.33	7.14
	Díptera	<i>Chironomidae</i>	1	1	1	1	1	1	1.00	21.43
		<i>Ephydriidae</i>	1	1	0	0	0	0	0.33	7.14
	Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	1	1	1	0	0	0	0.50	10.71
		<i>Leptohyphidae</i>	1	1	0	0	0	0	0.33	7.14
		<i>Leptoceridae</i>	1	0	0	0	0	0	0.17	3.57
	Trichoptera	<i>Polycentropodidae</i>	1	1	0	0	0	0	0.33	7.14
		<i>Xiphocentronidae</i>	1	0	0	0	0	0	0.17	3.57
Odonata	<i>Aeshnidae</i>	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	
Rhabditophora	Tricladida	<i>Planariidae</i>	1	1	0	0	0	0	0.33	7.14
Clitellata	Oligochaeta	-	0	0	0	1	0	0	0.17	3.57
Gastropoda	-	<i>Physidae</i>	1	1	0	0	0	0	0.33	7.14
FRECUENCIA TOTAL									4.67	100

Tabla 15

Frecuencia absoluta y relativa de los macroinvertebrados acuáticos encontrados en cada punto de muestreo del río San Lucas, en febrero de 2019

MES DE FEBRERO DE 2019											
Clase	Subclase / Orden	Familia	P01	P02	P03	P04	P05	P06	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa (%)	
Insecta	Coleóptera	<i>Elmidae</i>	1	1	1	0	0	0	0.50	12.00	
		<i>Gyrinidae</i>	0	1	0	0	0	0	0.17	4.00	
		<i>Psephenidae</i>	1	1	0	0	0	0	0.33	8.00	
	Díptera	<i>Chironomidae</i>	1	1	1	1	1	1	1.00	24.00	
		<i>Ephydriidae</i>	1	0	0	0	0	0	0.17	4.00	
	Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	1	1	1	0	0	0	0.50	12.00	
		<i>Leptohyphidae</i>	1	1	0	0	0	0	0.33	8.00	
		<i>Leptoceridae</i>	1	0	0	0	0	0	0.17	4.00	
	Trichoptera	<i>Polycentropodidae</i>	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	
		<i>Xiphocentronidae</i>	1	0	0	0	0	0	0.17	4.00	
	Odonata	<i>Aeshnidae</i>	0	1	0	0	0	0	0.17	4.00	
	Rhabditophora	Tricladida	<i>Planariidae</i>	1	0	0	0	0	0	0.17	4.00
	Clitellata	Oligochaeta	-	0	1	0	0	0	0	0.17	4.00
Gastropoda	-	<i>Physidae</i>	1	1	0	0	0	0	0.33	8.00	
FRECUENCIA TOTAL									4.17	100	

3.5. Valores de los parámetros comunitarios

Tabla 16

Valores de los parámetros comunitarios de macroinvertebrados acuáticos en las seis estaciones de muestreo del río San Lucas, en septiembre de 2018

MES DE SEPTIEMBRE DE 2018				
Estación de muestreo	Riqueza específica	Densidad	Índice de diversidad de Shannon (H')	Uniformidad (Pielou)
P01	12	36	3.14	1.26
P02	10	38	2.96	1.29
P03	2	39	0.17	0.25
P04	2	45	0.15	0.22
P05	1	28	0	0
P06	1	31	0	0

Tabla 17

Valores de los parámetros comunitarios de macroinvertebrados acuáticos en las seis estaciones de muestreo del río San Lucas, en febrero de 2019

MES DE FEBRERO DE 2019				
Estación de muestreo	Riqueza específica	Densidad	Índice de diversidad de Shannon (H')	Uniformidad (Pielou)
P01	10	38	2.78	1.21
P02	9	53	2.31	1.05
P03	3	29	0.41	0.37
P04	1	31	0	0
P05	1	22	0	0
P06	1	18	0	0

3.6. Calificación de las aguas del río San Lucas según el Índice Biótico Andino (por sus siglas en inglés ABI)

Tabla 18

Calificación del agua del río San Lucas, según los valores obtenidos de la aplicación del Índice Biótico Andino (ABI), en septiembre de 2018

MES DE SEPTIEMBRE DE 2018			
ESTACIONES	VALOR	CALIDAD	COLOR
P01	60	Bueno	
P02	44	Moderado	
P03	6	Pésimo	
P04	3	Pésimo	
P05	2	Pésimo	
P06	2	Pésimo	

Tabla 19

Calificación del agua del río San Lucas, según los valores obtenidos de la aplicación del Índice Biótico Andino (ABI), en febrero de 2019

MES DE FEBRERO DE 2019			
ESTACIONES	VALOR	CALIDAD	COLOR
P01	49	Bueno	
P02	36	Moderado	
P03	11	Malo	
P04	2	Pésimo	
P05	2	Pésimo	
P06	2	Pésimo	

3.7. Calificación de las aguas del río San Lucas según el índice BMWP/Col. (Biological Monitoring Working Party para Colombia)

Tabla 20

Calificación del agua del río San Lucas, según los valores obtenidos de la aplicación del Índice BMWP/Col. en septiembre de 2018

MES DE SEPTIEMBRE DE 2018				
ESTACIONES DE MUESTREO	VALOR	CALIDAD	CARACTERÍSTICAS	COLOR
P01	78	Aceptable	Aguas medianamente contaminadas	
P02	61	Aceptable	Aguas medianamente contaminadas	
P03	10	Muy crítica	Aguas fuertemente contaminadas	
P04	2	Muy crítica	Aguas fuertemente contaminadas	
P05	2	Muy crítica	Aguas fuertemente contaminadas	
P06	2	Muy crítica	Aguas fuertemente contaminadas	

Tabla 21

Calificación del agua del río San Lucas, según los valores obtenidos de la aplicación del Índice BMWP/Col. en febrero de 2019

MES DE FEBRERO DE 2019				
ESTACIONES DE MUESTREO	VALOR	CALIDAD	CARACTERÍSTICAS	COLOR
P01	62	Aceptable	Aguas medianamente contaminadas	
P02	53	Dudosa	Aguas contaminadas	
P03	17	Crítica	Aguas muy contaminadas	
P04	2	Muy crítica	Aguas fuertemente contaminadas	
P05	2	Muy crítica	Aguas fuertemente contaminadas	
P06	2	Muy crítica	Aguas fuertemente contaminadas	

3.8. Resultados de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos

Para el mes de septiembre de 2018

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos de los análisis físicoquímicos y microbiológicos de cada uno de los puntos de monitoreo (P01, P02, P03, P04, P05 y P06), analizados en el Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca.

Tabla 22

Parámetros físicoquímicos y microbiológicos evaluados en el río San Lucas durante septiembre de 2018

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS EN EL RÍO SAN LUCAS					
		PUNTOS DE MONITOREO					
PARAMETROS FÍSICOQUÍMICOS		P01	P02	P03	P04	P05	P06
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.826	0.825	19.63	22.77	62.05	59.56
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.998	0.545	1.34	<LCM	5.392	0.19
Nitrito (NO ₂ ⁻)	mg/L	<LCM	<LCM	0.67	<LCM	0.340	<LCM
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	7.69	7.67	19.25	35.90	110.9	194.2
pH a 25°C	pH	8.43	8.48	7.9	7.71	7.46	7.67
Sólidos Disueltos Total (TDS)	mg/L	202	179	331	402	673	838
Sólidos Suspendidos Totales (TSS)	mg/L	<LCM	<LCM	11.3	19	8.8	20.3
DBO ₅	mg O ₂ /L	<LCM	<LCM	10.9	21.2	14.5	62.3
DQO	mg O ₂ /L	<LCM	<LCM	18.6	44.4	43.9	160.9
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	7.17	6.85	3.84	1.46	6.54	0.49
Temperatura	°C	14.13	14.37	15.7	17.8	18.27	16.84
Conductividad a 25°C	µS/cm	325	293.1	557	642.9	1138	1297
Salinidad	mg O ₂ /L	209	199	334	379	643	743
MICROBIOLÓGICOS							
Coliformes Totales	NMP/100 ml	1700	1600	16000	5400	92000	3500000

*LCM: Limite de cuantificación del método

Fuente: Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca.

Para el mes de febrero de 2019

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de cada uno de los puntos de monitoreo (P01, P02, P03, P04, P05 y P06), analizados en el Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca.

Tabla 23

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados en el río San Lucas durante febrero de 2019

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS EN EL RÍO SAN LUCAS					
		PUNTOS DE MONITOREO					
PARAMETROS FÍSICOQUÍMICOS		P01	P02	P03	P04	P05	P06
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.96	0.95	17.66	10.23	27.13	67.27
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	3.794	3.912	5.671	4.983	6.917	3.313
Nitrito (NO ₂ ⁻)	mg/L	<LCM	<LCM	0.442	0.297	0.864	<LCM
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	8.710	8.354	24.320	155.70	41.22	145.70
pH a 25°C	pH	8.41	8.26	7.79	7.79	7.74	7.90
Sólidos Disueltos Total (TDS)	mg/L	235.50	228.0	311.0	326.0	321.0	821.0
Sólidos Suspendidos Totales (TSS)	mg/L	12.7	19.5	10.4	28.0	147.5	317.5
DBO ₅	mg O ₂ /L	<LCM	<LCM	9.40	5.60	28.80	369.50
DQO	mg O ₂ /L	<LCM	<LCM	21.20	11.50	39.70	721.90
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	7.10	6.70	3.60	3.30	4.90	<LCM
Temperatura	°C	13.89	14.16	14.70	15.30	14.72	15.40
Conductividad a 25°C	µS/cm	361	339	545.5	551.5	527.5	1486.5
Salinidad	mg O ₂ /L	223.00	209.00	316.00	318.00	304.00	823.00
MICROBIOLÓGICOS							
Coliformes Totales	NMP/100 ml	16000	920	35000	92000	920000	54000000

*LCM: Limite de cuantificación del método

Fuente: Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca.

3.9. Correlación Pearson

Tabla 24

Resultados de la correlación de Pearson entre índices bióticos y parámetros físicoquímicos durante septiembre 2018

CORRELACIÓN DE PEARSON PARA EL MES DE SEPTIEMBRE 2018		
Parámetros físicoquímicos	BMWP/Col.	ABI
Cloruro (Cl ⁻)	-0.78	-0.77
Nitrato (NO ₃ ⁻)	0.42	0.40
Nitrito (NO ₂ ⁻)	-0.38	-0.41
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	-0.60	-0.59
pH	0.95	0.93
Sólidos Disueltos Totales (TDS)	-0.75	-0.73
Sólidos Suspendidos Totales (TSS)	-0.83	-0.82
DBO ₅	-0.59	-0.58
DQO	-0.55	-0.54
Oxígeno disuelto (OD)	0.70	0.69
Temperatura (°C)	-0.97	-0.98
Conductividad Eléctrica (CE)	-0.76	-0.75
Salinidad	-0.76	-0.75

Tabla 25

Resultados de la correlación de Pearson entre índices bióticos y parámetros físicoquímicos durante febrero de 2019

CORRELACIÓN DE PEARSON PARA EL MES DE FEBRERO 2019		
Parámetros físicoquímicas	BMWP/Col.	ABI
Cloruro (Cl ⁻)	-0.65	-0.64
Nitrato (NO ₃ ⁻)	-0.47	-0.48
Nitrito (NO ₂ ⁻)	-0.55	-0.55
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	-0.72	-0.69
pH	0.95	0.96
Sólidos Disueltos Totales (TDS)	-0.54	-0.53
Sólidos Suspendidos Totales (TSS)	-0.55	-0.53
DBO ₅	-0.41	-0.40
DQO	-0.40	-0.38
Oxígeno disuelto (OD)	0.81	0.81
Temperatura (°C)	-0.80	-0.79
Conductividad Eléctrica (CE)	-0.56	-0.54
Salinidad	-0.55	-0.53

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

a. Para los macroinvertebrados acuáticos

Para la evaluación del río San Lucas, en la provincia de Cajamarca, se georreferenciaron seis puntos de muestreo (Ver Tabla 5). Además, se colectó un total de 408 macroinvertebrados acuáticos en septiembre de 2018 y febrero de 2019, de los cuales, 217 macroinvertebrados acuáticos se colectaron en septiembre de 2018 (Ver Tabla 10) y 191 macroinvertebrados acuáticos en febrero de 2019 (Ver Tabla 11). En resumen, la composición taxonómica del presente proyecto, en ambas temporadas, consta de 4 clases, 1 subclase, 6 órdenes y 13 familias. De este modo, Bullón (2016) menciona haber encontrado un número parecido de macroinvertebrados en el río Perené, con 456 individuos, con 3 clases, 10 órdenes y 25 familias de macroinvertebrados. Por una parte, Balmaceda (2017) en el río Chicama, halló un número ligeramente mayor al nuestro, con 10 órdenes y 28 familias de macroinvertebrados, en la región de la Libertad, por otra parte, Peña y Villacorta (2014) en su estudio ubicado en la región San Martín, encontraron un total de 500 macroinvertebrados, 9 órdenes y 20 familias, parecida al anterior estudio. Como se denota, existe una diversidad enorme, que facilita grandemente este tipo de estudios en nuestro continente.

A parte, es necesario indicar los valores estadísticos comunitarios de los macroinvertebrados. A continuación, se muestran el análisis de la abundancia absoluta y riqueza específica en cada mes, en los siguientes gráficos.

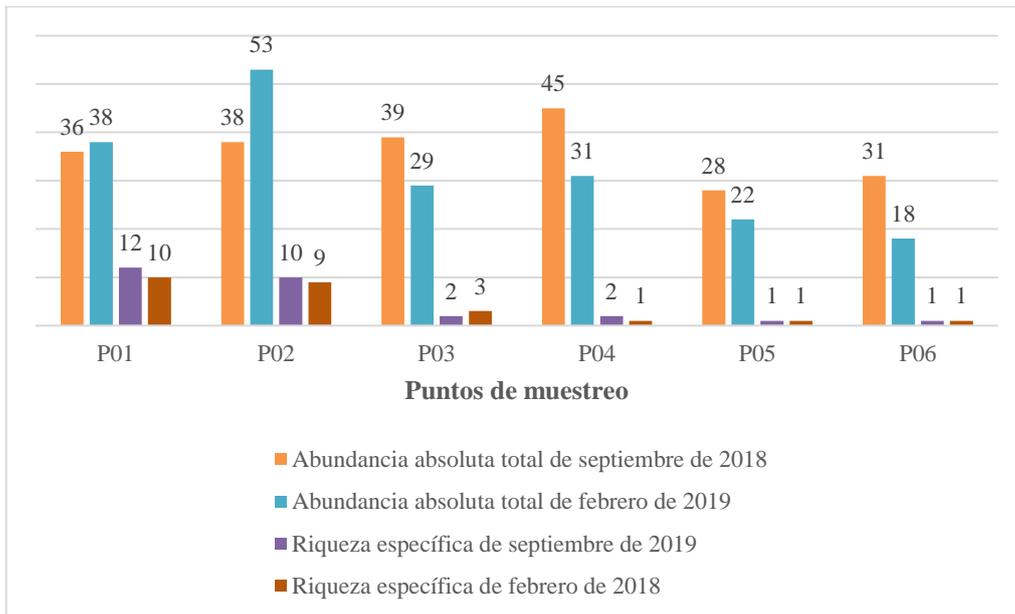


Figura 6. Abundancia absoluta y riqueza específica durante septiembre de 2018 y febrero de 2019

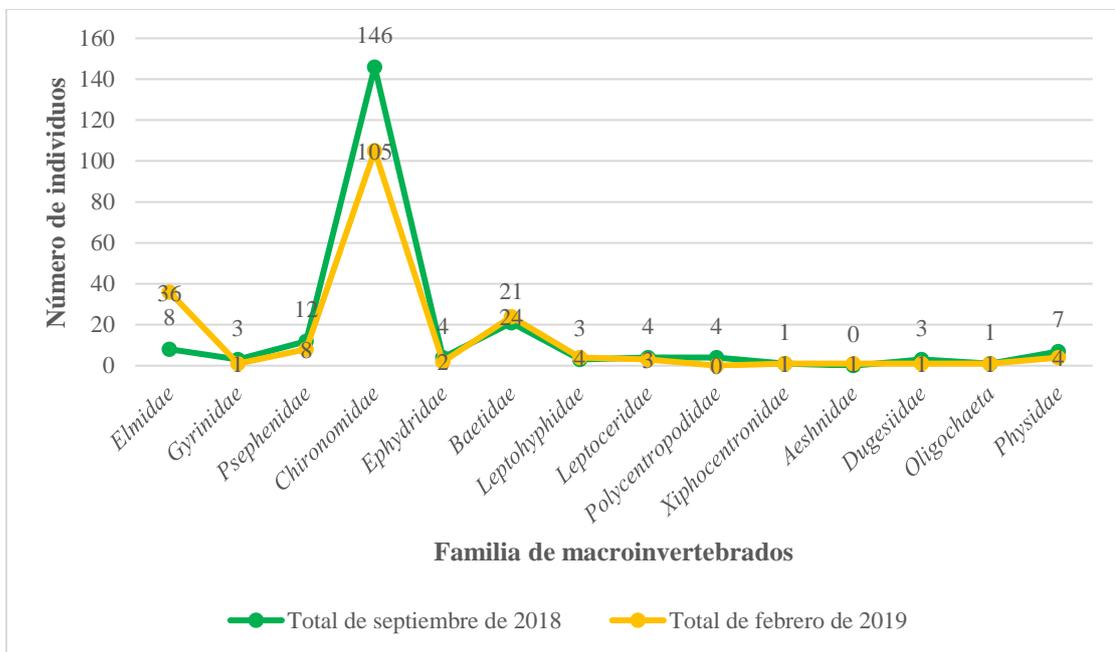


Figura 7. Número total de familias en septiembre de 2018 y febrero de 2019

En septiembre de 2018 se ha encontrado la mayor abundancia absoluta en la estación P04, a 45 individuos por hora de esfuerzo (Ver Figura 6), considerando un total de 217 individuos (Ver Tabla 10). Teniendo la mayor riqueza específica de familias en la estación P01 (Ver Figura 6). Y en febrero de 2019, se ha encontrado mayor abundancia absoluta en la estación P02, a 53 individuos por hora de esfuerzo (Ver Figura 6), considerando un total de 191 individuos (Ver Tabla 11). Teniendo la mayor riqueza específica de familias en la estación P01 (Ver Figura 6). Consecuentemente, la familia más numerosa es *Chironomidae*, con un total de 251 en ambos meses (Ver Figura 7).

El análisis de la abundancia relativa en ambas temporadas se ve en los siguientes gráficos.

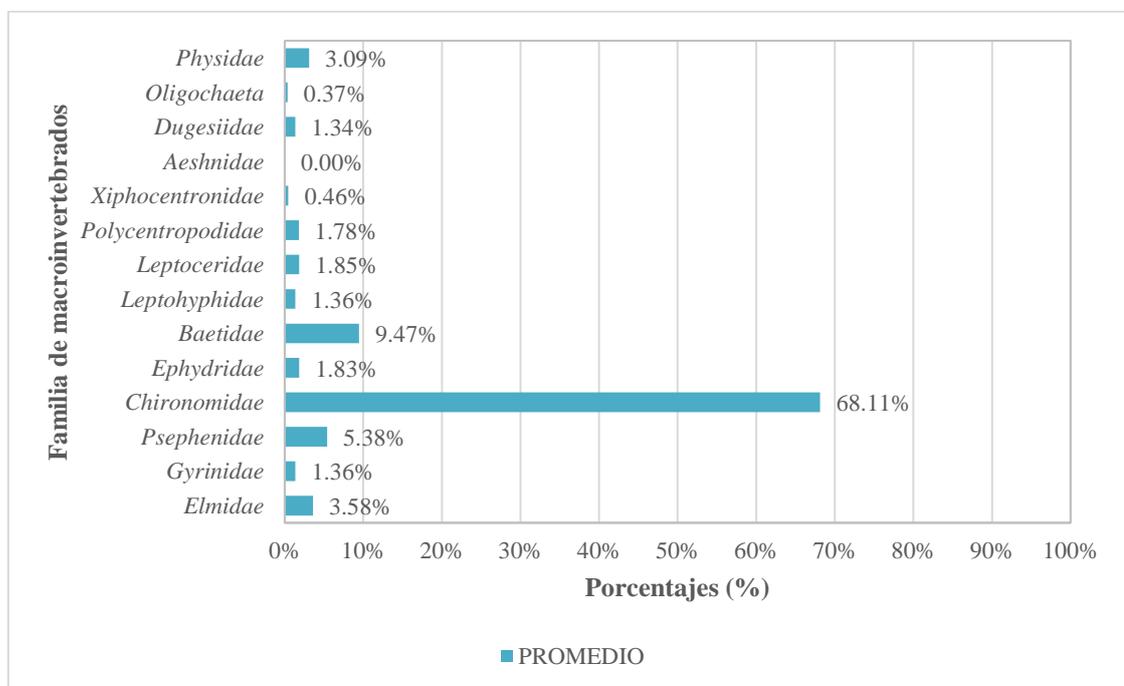


Figura 8. Promedio de la abundancia relativa en cada familia en septiembre de 2018

En el mes de septiembre de 2018, se tiene una mayor abundancia relativa en la familia *Chironomidae* con un porcentaje de 68.11, seguida por la familia *Baetidae* con un porcentaje de 9.47 (Ver Figura 8).

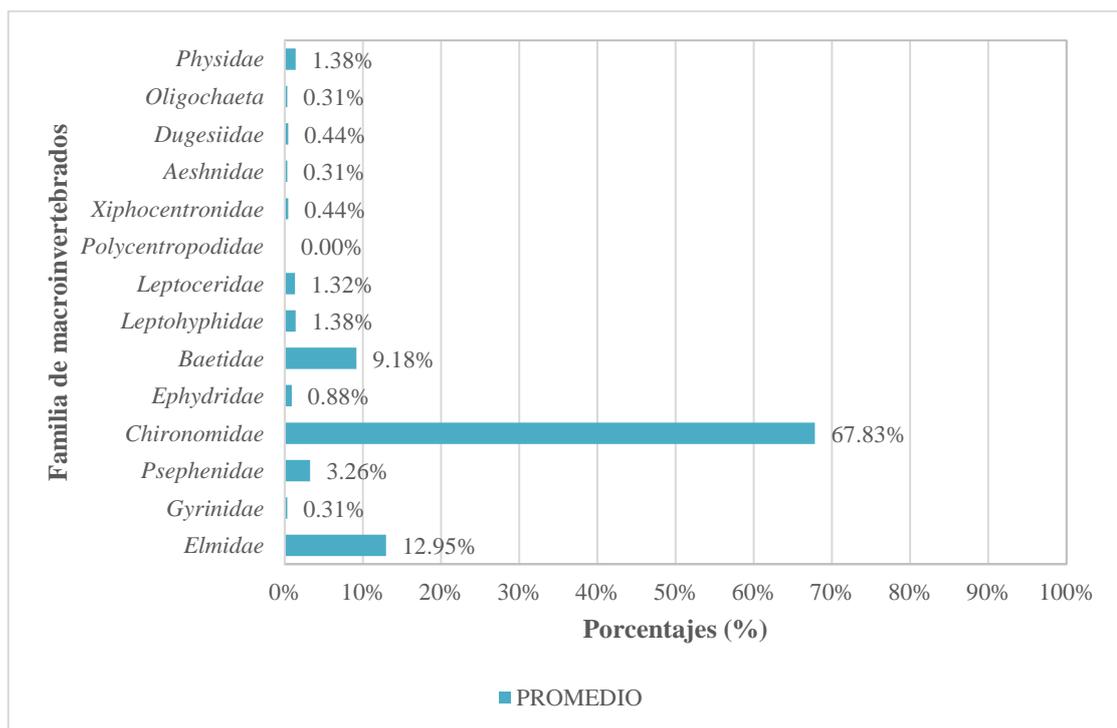


Figura 9. Promedio de la abundancia relativa de cada familia en febrero de 2019

En el mes de febrero de 2019, se tiene una mayor abundancia relativa en la familia *Chironomidae* con un porcentaje de 67.83, seguida por la familia *Elmidae* con un porcentaje de 12.95 (Ver Figura 9).

Por otro lado, el análisis de la frecuencia absoluta y relativa en ambas temporadas, se denota en las siguientes figuras.

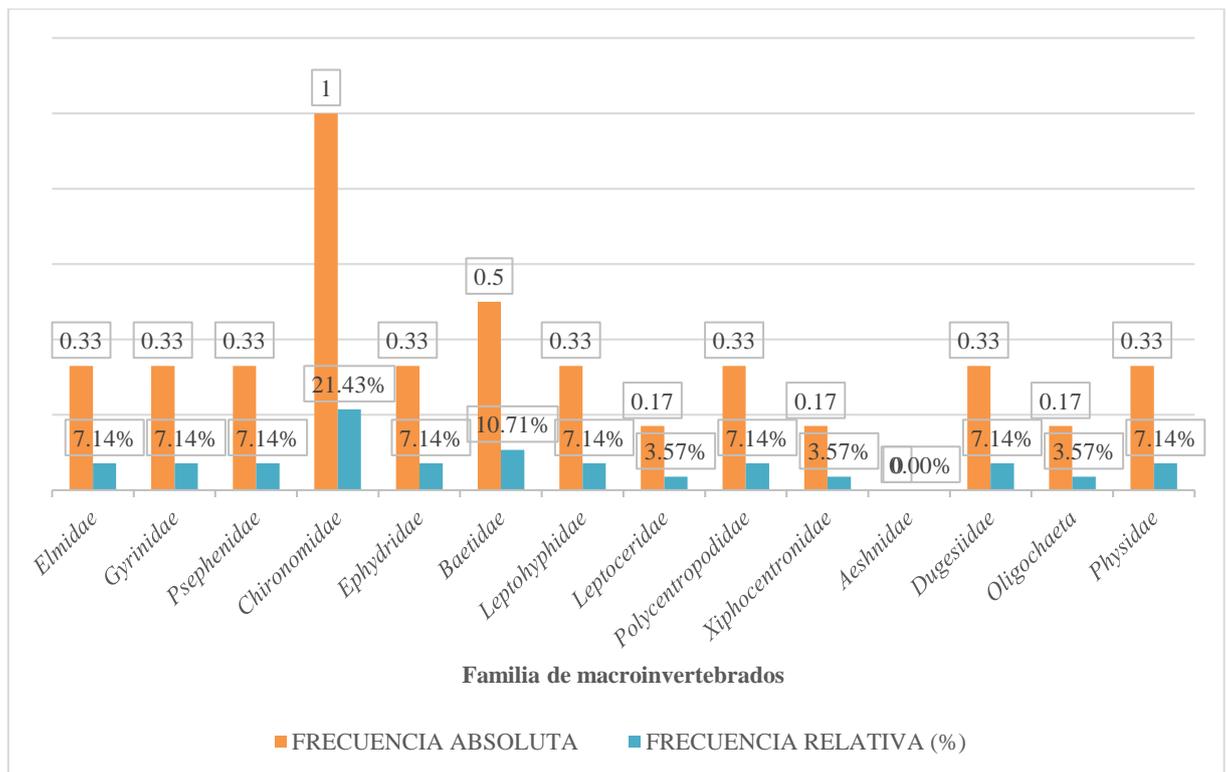


Figura 10. Frecuencia absoluta y relativa de septiembre de 2018

En el mes de septiembre de 2018, tenemos como mayor frecuencia absoluta de 1.00 en la familia *Chironomidae*, con una frecuencia relativa de 21.43 %, seguida por la familia *Baetidae* con una frecuencia absoluta de 0.5 y una frecuencia relativa de 10.71 % (Ver Figura 10).

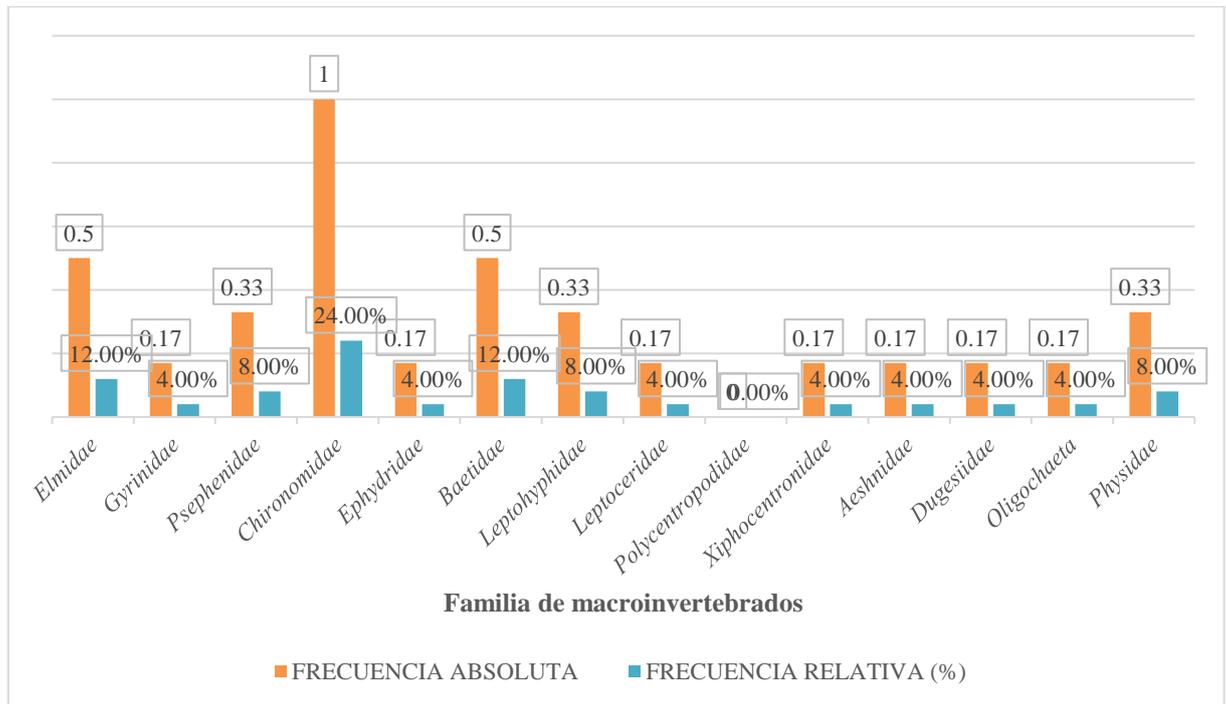


Figura 11. Frecuencia absoluta y relativa de febrero de 2019

En el mes de febrero de 2019, tenemos como mayor frecuencia absoluta de 1.00 en la familia *Chironomidae*, con una frecuencia relativa de 24.00 %, seguida por la familia *Baetidae* con una frecuencia absoluta de 0.5 y una frecuencia relativa de 12 % (Ver Figura 11).

Cabe añadir que, la mayor diversidad (Shannon) y uniformidad (Pielou) se encontró en el P01 y P02 (parte alta), asimismo, la menor diversidad en los puntos P03, P04, P05 y P06 (parte media y baja) del río San Lucas, durante septiembre de 2018 y febrero de 2019 (Ver Tabla 16 y 17). Así, se puede decir, según Roldán-Pérez (2012), que un ecosistema acuático contaminado posee un bajo número de familias (diversidad) con un gran número de individuos por familia (abundancia o densidad); lo cual concuerda con el presente estudio.

En general, después de haber analizado las anteriores gráficas, la familia predominante en el presente proyecto, fue *Chironomidae*, registrados en todos los puntos de muestreo, con un total de 251 individuos, seguida por la familia *Baetidae* con 45 individuos y la familia *Elmidae* con 44 individuos, principalmente en los dos primeros puntos (P01 y P02), durante ambas temporadas. De la misma manera, Romero y Tarrillo (2017) indican en su estudio, haber encontrado órdenes y familias parecidas, así, el mayor número de familias pertenecen a los órdenes *Ephemeroptera* y *Díptera* (en los cuales se encuentran las familias *Chironomidae* y *Baetidae*) seguidas por los órdenes *Tricladia*, *Trichoptera*, Anélida y Gasterópoda. Al mismo tiempo, Palomino (2016) señala haber registrado en las estaciones E1 y E2 la mayor abundancia de las familias *Chironomidae*, *Tipuladae* y *Ceratoponidae*, en el río Mashcón, provincia de Cajamarca, que está cerca y con características similares al río del presente estudio. Cabe destacar, que la familia *Chironomidae* se encuentran en aguas con abundante materia orgánica en descomposición –aguas generalmente de mala calidad-, es por ello, por ejemplo, que los quironómidos rojos (encontrados abundantemente sobretodo en la parte media y baja del río San Lucas) poseen adaptaciones especiales, como abundante hemoglobina, que les permite resistir estos déficits de oxígeno y adaptarse a estas condiciones extremas de contaminación (Roldán-Pérez, 2012). De la misma manera, la familia *Baetidae*, suelen vivir en aguas bien oxigenadas, y con frecuencia, son indicadores de aguas limpias o ligeramente contaminadas (Roldán-Pérez, 2003).

Por otro lado, según el Índice Biótico Andino (ABI), los valores obtenidos, muestran el estado ecológico durante el mes de septiembre de 2018, que se observa en la Tabla 18, con los siguientes puntos y su calidad, P01 con calidad “buena”, P02 con calidad “moderada” y P03, P04, P05, P06 con calidad “pésima” del agua, variando los valores entre un rango de 60-2. Asimismo, durante el mes de febrero de 2019, que se observa en la Tabla 19, el estado ecológico de los siguientes puntos, P01 con calidad “buena”, P02 con calidad “moderada”, P03 con calidad mala y P04, P05, P06 con calidad “pésima” del agua, variando los valores entre un rango de 49-2. Así, Muños (2016), registró un promedio entre rangos de 26-46 en sus cuatro campañas en el río Grande; con una clara diferencia ante nuestro estudio, además, cabe señalar, que la integridad ecológica (Acosta *et al.*, 2009) varía ligeramente entre zonas andinas (>2000 m.s.n.m). De este modo, se puede decir que, en cuanto a la calidad del agua de nuestro estudio, hay una clara predominancia de calidad “pésima”. Por otra parte, Balmaceda (2017) concluye en su estudio, ubicado en el río Chicama, haber determinado una calidad que fluctúa de “regular” a “mala” según el ABI, así también, Romero y Tarrillo (2014) afirman haber determinado una calidad que oscila entre “buena”, “moderada” y “mala”; en definitiva, se puede denotar una evidente disimilitud entre los estudios citados anteriormente y el presente proyecto.

De este modo, según el índice BMWP/Col., el análisis de la calidad del agua del río San Lucas en septiembre de 2018, se observa en la Tabla 20, que las estaciones de control: P01 y P02, tuvieron una calidad “aceptable” del agua (medianamente contaminadas) y las estaciones de control: P03, P04, P05, P06, obtuvieron una calidad muy crítica (fuertemente contaminadas). Aparte, el mes de febrero de 2019 empleando el índice

BMWP/Col., se observa en la Tabla 21, que las estaciones control: P01 obtuvo una calidad “aceptable” del agua (medianamente contaminadas), P02 obtuvo una “calidad dudosa” (aguas contaminadas), P03 obtuvo una calidad “crítica” (aguas muy contaminadas) y las estaciones de control: P04, P05, P06, obtuvieron una calidad “muy crítica” del agua (fuertemente contaminadas). En consecuencia, se denota una predominancia de calidad “crítica” (fuertemente contaminadas), por una visible fuerte actividad antrópica a lo largo de los puntos P03, P04, P05 y P06. Asimismo, Damanik-Ambarita *et al.* (2016), en el río Guayas (Ecuador), con el mismo índice, obtuvieron valores de calidad de agua “críticos” a “muy críticos” en sitios de monitoreo cercanos a áreas urbanizadas. Seguidamente, Yépez-Rosado *et al.* (2017) indica que el río Quevedo (Ecuador), que atraviesa la zona urbana homónima, analizado con el índice mencionado, presenta una fuerte contaminación a causa del urbanismo y las actividades antrópicas que ello conlleva. Una realidad muy distinta (con poca perturbación antrópica del agua) determino Peña y Villacorta (2014) en su proyecto, en la región San Martín, hallando una calidad de agua “aceptable”, durante tres meses (enero, marzo y mayo) que se realizó su estudio.

Finalmente, López (2017) concluye indicando que el uso de insectos acuáticos para determinar la calidad y el estado ecológico de cuerpos de agua es una actividad simple y económica; afirmación que no compartimos en su totalidad, ya que, si bien es cierto, es una actividad económica –coste asequible–, no tiene por qué ser simple, ya que, en muchos casos, hay limitaciones que dificultan, como las del acceso y otras más que dependen del contexto y las circunstancias de los proyectos.

b. Para los parámetros fisicoquímicos

- Cloruro

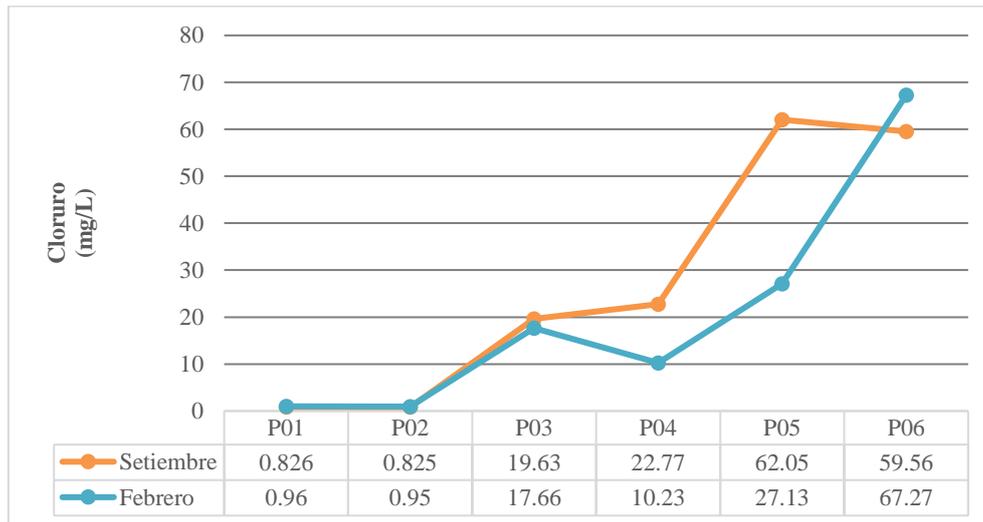


Figura 12. Comparación de los resultados de cloruro con el ECA, categoría 3, D2 (bebida de animales), para setiembre de 2018 y febrero de 2019

De acuerdo a los resultados obtenidos en la figura 12, el cloruro no aplica para esta subcategoría según el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, sin embargo, se observa que los puntos de monitoreo que presentan mayor concentración son el P05 y P06, durante setiembre de 2018 y febrero de 2019. Según DIGESA (2010), determinó que los cloruros en concentraciones razonables no son peligrosos para la salud y son un elemento esencial para las plantas y los animales.

- Nitratos y Nitritos

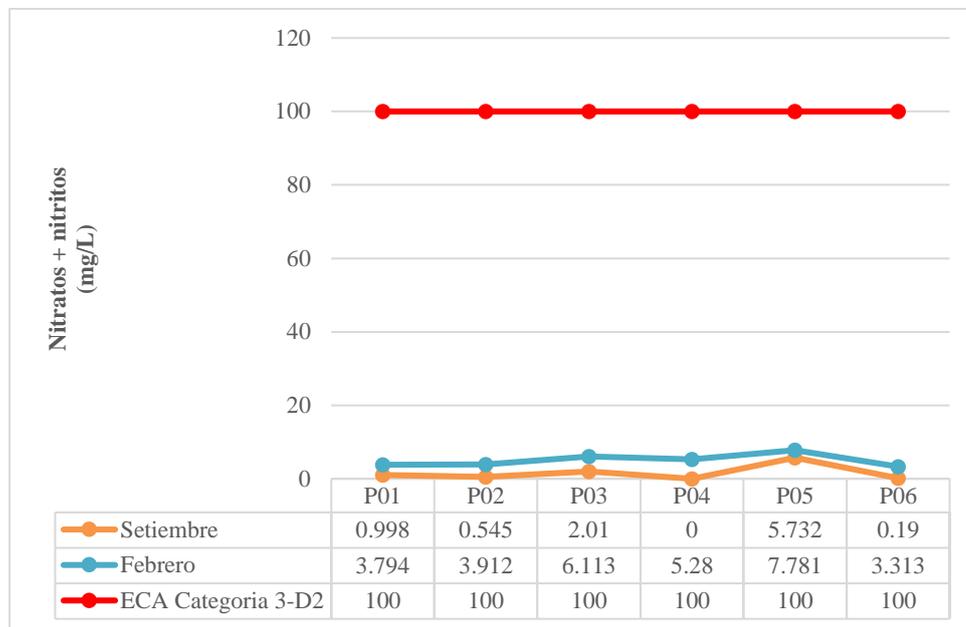


Figura 13. Comparación de los resultados de nitratos y nitritos con el ECA, categoría 3, D2 (bebida de animales), para setiembre de 2018 y febrero de 2019

De acuerdo a los resultados obtenidos durante setiembre de 2018 y febrero 2019 se puede observar (Figura 13), que la suma de nitratos y nitritos presenta mínimas concentraciones respecto a la comparación con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales), por lo que no pasa dicho reglamento, asimismo, en el P04 se puede observar que la concentración nitratos más nitritos está por debajo del límite de detección, por otra parte, según Vargas *et al.* (2004) el contenido de nitratos en aguas de consumo público no debe exceder, según la EPA, de 10 mg/L. Puesto que los nitritos tienen un efecto tóxico superior a los nitratos, el contenido no debe exceder de 1 mg/L, en cuanto a la comparación de nitratos con el ECA, no existe un valor establecido.

- Sulfato

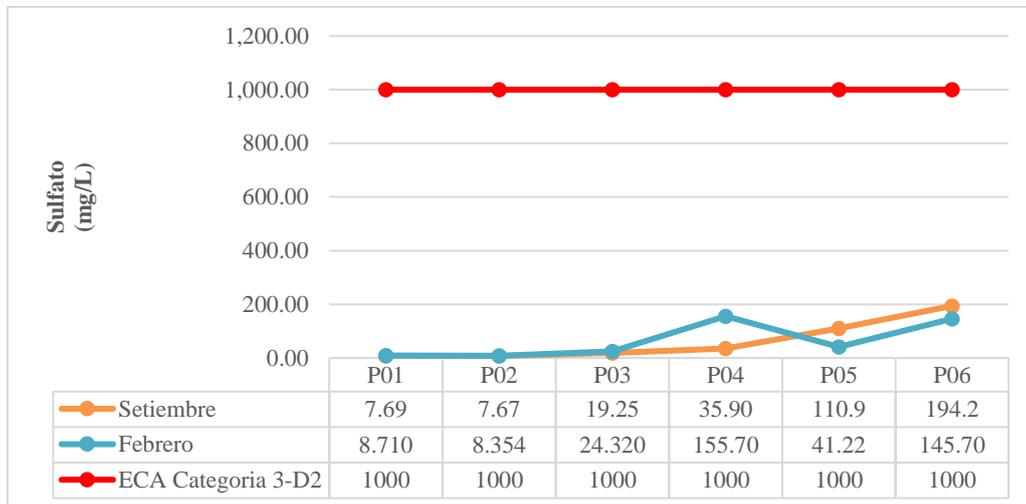


Figura 14. Comparación de los resultados de sulfatos con el ECA, categoría 3, D2 (bebida de animales), para setiembre de 2018 y febrero de 2019

En la figura 14 se observa que los valores del sulfato no sobrepasan el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales), en ningún punto de monitoreo para setiembre de 2018 y febrero de 2019, siendo el punto con más concentración, el P06, durante setiembre de 2018, con una concentración de 194.2 mg/L. Siendo para el mes de febrero de 2019 la más alta concentración de sulfatos con 155.70 mg/L encontrados en el P04. Según Vargas *et al.* (2004), los sulfatos pueden provenir de la oxidación de los sulfuros existentes en el agua y en función del contenido de calcio, podrían impartirle un carácter ácido.

- Potencial de Hidrógeno (pH)

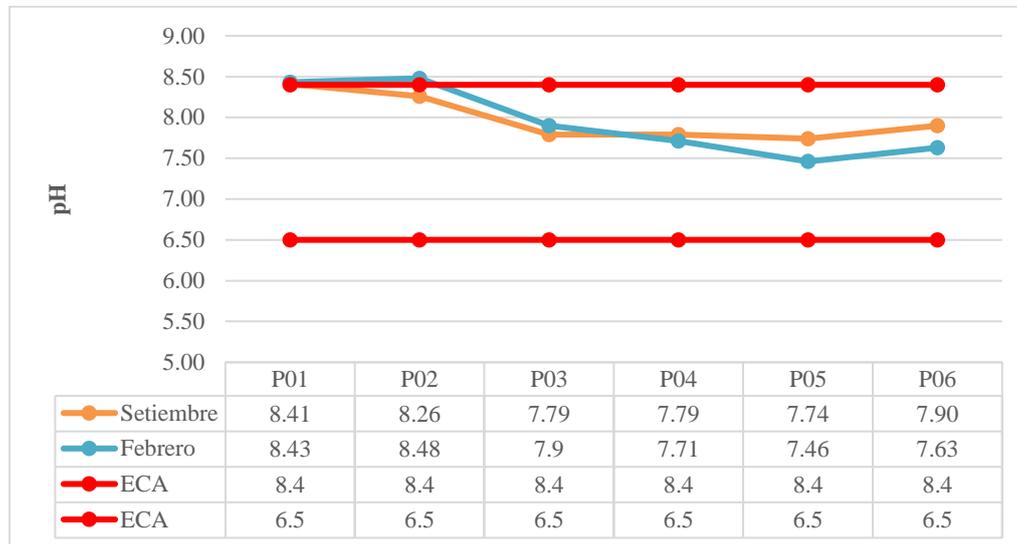


Figura 15. Variación del pH en cada punto de muestreo para setiembre de 2018 y febrero de 2019, comparado con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales)

Podemos observar que todos los resultados de pH oscilan entre 7.63 y 8.48, los cuales, en su gran mayoría están dentro de los valores establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales). Cabe resaltar que, el punto P01, en ambos meses y el P02 durante febrero de 2018, indican una variación ligeramente alcalina.

- **Sólidos Disueltos Totales (TDS)**

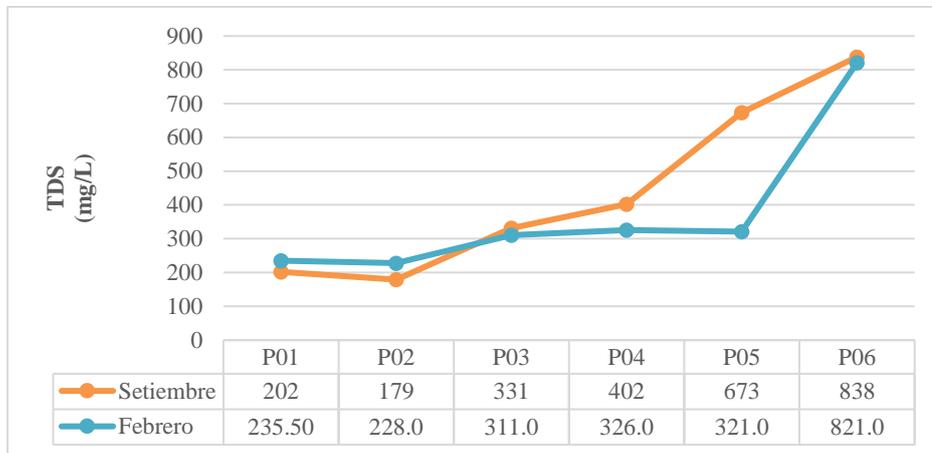


Figura 16. Comparación de los resultados de Sólidos Disueltos Totales (TDS) para setiembre de 2018 y febrero de 2019

En la figura 16 se observa la variación de la concentración de sólidos disueltos totales del agua en cada punto de muestreo, para setiembre de 2018 y febrero de 2019, donde el punto P06 presenta mayor concentración de TDS para ambos meses, de la misma manera, Escalante (2018), en su estudio, encontró que los TDS fue de 102 mg/L, lo que no concuerda con el presente estudio, ya que el punto P06 tiene una concentración de 838 mg/L y 821.0 mg/L, durante setiembre de 2018 y febrero de 2019.

- **Sólidos Suspendidos Totales (TSS)**

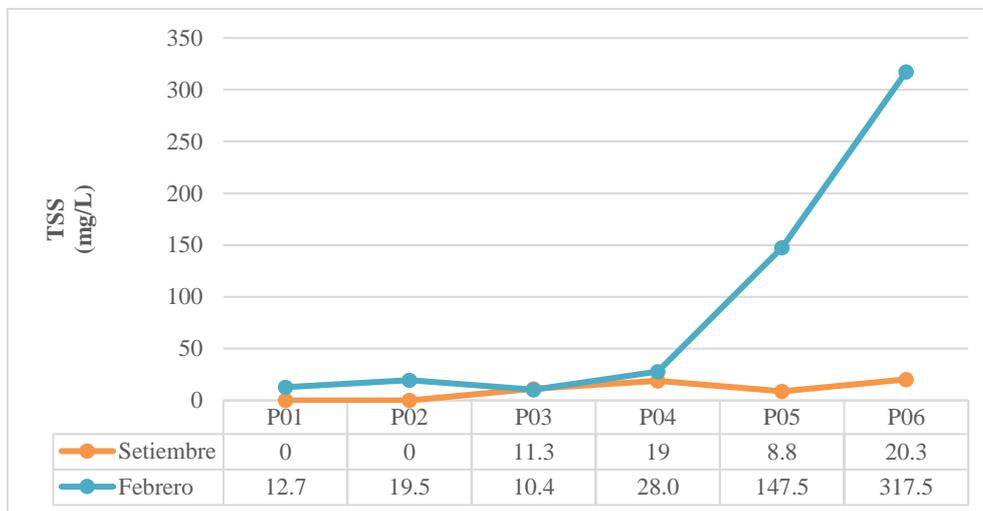


Figura 17. Comparación de los resultados de Sólidos Suspendidos Totales (TSS) para setiembre de 2018 y febrero de 2019

En la figura 17 se observa la variación de la concentración de TSS en cada punto de muestreo en ambos meses, siendo los puntos de monitoreo P05 y P06, los que presentaron mayor concentración para febrero de 2018, comparando con los resultados encontrados por Escalante (2018), que en su estudio encontró que los sólidos suspendidos totales fue de 526 mg/L, lo que no concuerda con nuestro estudio, ya que para los puntos P01 y P02, presentaron resultados que están por debajo del límite de detección (<LCM), durante setiembre de 2018, así, el punto con mayor concentración de TSS, fue el P06, con un valor de 317.5 mg/L, para febrero de 2019.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)**

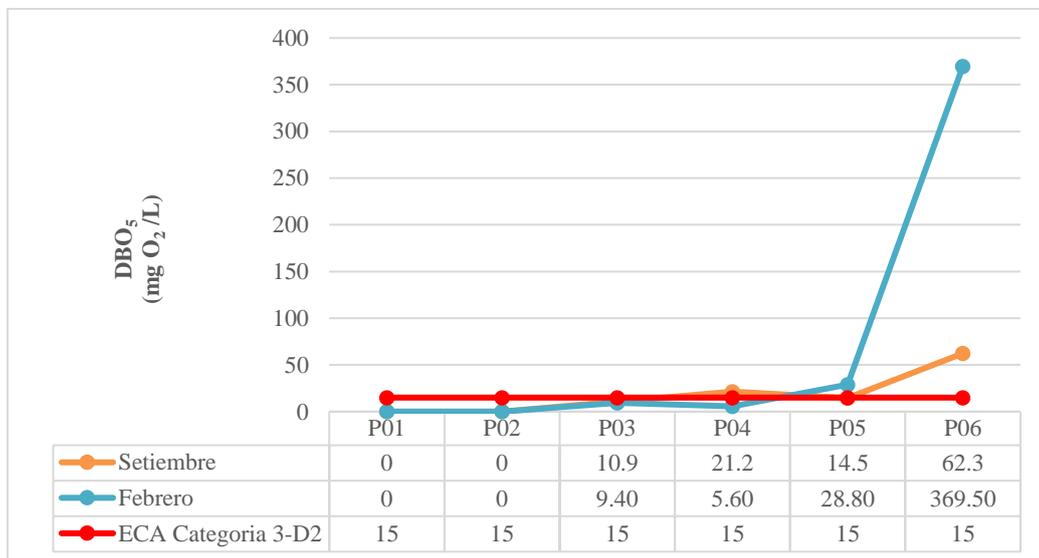


Figura 18. Comparación de los resultados de DBO₅ con el ECA para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales), para setiembre de 2018 y febrero de 2019

En la figura 18 se observa la variación de la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno de cada punto de muestreo para setiembre de 2018 y febrero de 2019, comparado con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales), donde se observa que dicho parámetro no cumple con la normativa mencionada, durante ambos meses de monitoreo. Según Escalante (2018), en su estudio determinó que DBO₅ no cumple con lo establecido en el ECA para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales), con un valor promedio de 102,32 mg O₂/L, lo que concuerda con el presente estudio, ya que los valores oscilan entre puntos que están por debajo del límite de detección (P01 y P02) y puntos que presentan una mayor concentración (P04, P05 y P06). Asimismo, Palomino (2016) en su estudio determinó que el DBO₅ sobrepasa notoriamente dicha normativa, lo cual concuerda con el presente estudio.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

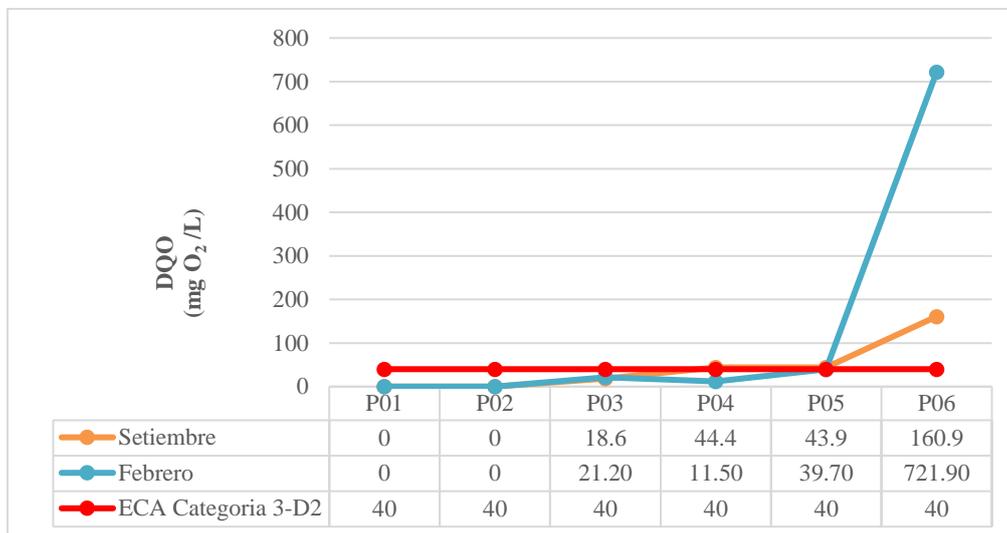


Figura 19. Comparación de los resultados de DQO con el ECA para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales) para setiembre de 2018 y febrero de 2019

En la figura 19 se observa la variación de concentración de la demanda química de oxígeno, de cada punto de muestreo, comparado con el Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales), donde se observa que dicho parámetro no cumple con la norma mencionada, durante setiembre de 2018 y febrero de 2019. Según Escalante (2018), en su estudio, determinó que el DQO no cumple con lo establecido en el ECA para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales), con un valor promedio de 204,09 mg O₂/L, lo que concuerda con el presente estudio, ya que los valores oscilan entre puntos que están por debajo del límite de detección (P01 y P02) y puntos que presentan una mayor concentración (P04, P05 y P06). Es por ello, que Palomino (2016), en su estudio, determinó que el DQO sobrepasa notoriamente la normativa mencionada, lo cual concuerda con el presente estudio, encontrándose que el

punto P06, presento la mayor concentración de DQO de 721.90 mg O₂/L durante febrero de 2019.

- **Oxígeno Disuelto (OD)**

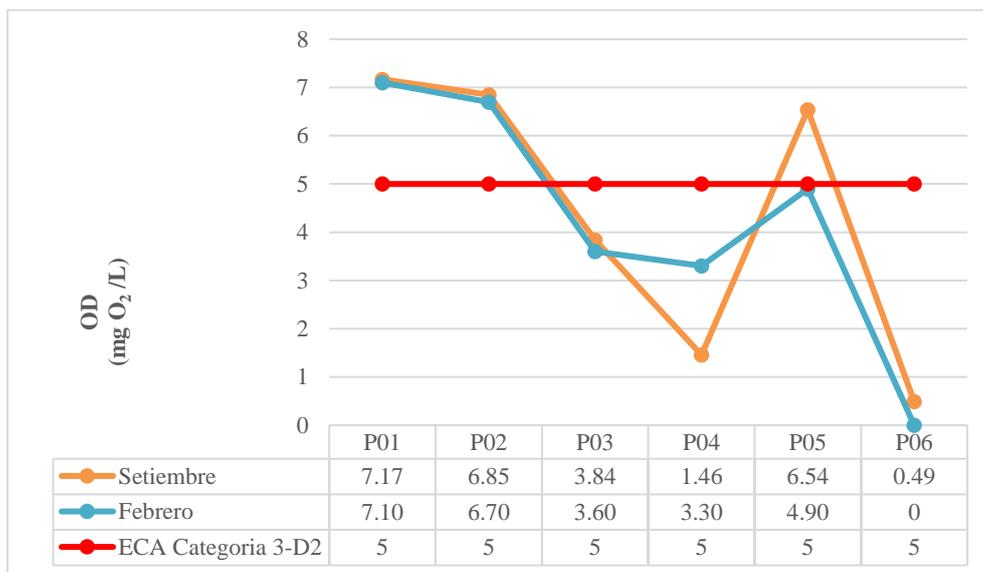


Figura 20. Comparación de los resultados de OD con el ECA para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales), durante setiembre de 2018 y febrero de 2019

En la figura 20 se observa los niveles de concentración de oxígeno disuelto, de cada punto de muestreo, para setiembre de 2018 y febrero de 2019, comparado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales), donde dicho parámetro no cumple con dicha norma. Según Muñoz (2016), en su estudio, determino que para el mencionado parámetro, muestreado en época de estiaje, los valores no cumplen con los límites establecidos por la norma, debido a que presentan valores inferiores, determinándose así, que para estas estaciones, el OD, no fue aceptable, lo que concuerda con el presente estudio, ya que para la época de estiaje (setiembre de 2018), los puntos (P03, P04 y P06), presentan valores inferiores a lo

establecido por la norma, de la misma manera, los puntos mencionados, no fue aceptable durante la época de lluvia (febrero de 2019). Por otra parte, según López (2017), en su estudio, ubicado en la región fronteriza de México, la concentración de OD, en cuerpos de agua dulce, juega un papel muy importante en la existencia de macroinvertebrados acuáticos, como los insectos, involucrado en la baja concentración de OD, la actividad humana doméstica, agrícola e industrial. También, se observa la variación de concentración de OD de cada punto de muestreo en ambos meses, así, el punto P06, está por debajo del límite de detección (<LCM) para febrero de 2018, es por ello, que los puntos que presentaron mayor concentración de OD, fueron el P01 y P02, para ambos meses de monitoreo, con una concentración promedio de 7.13 mgO₂/L y 6.77 mg O₂/L.

- **Temperatura**

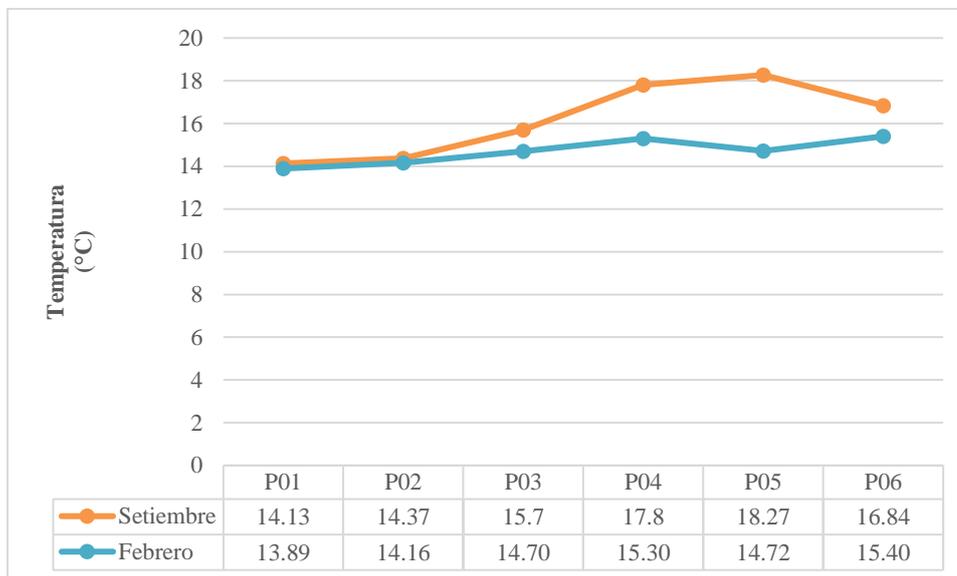


Figura 21. Comparación de los resultados de temperatura con el ECA para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales), para setiembre de 2018 y febrero de 2019

En la figura 21 se observa que los niveles de temperatura de cada punto de muestreo, durante setiembre de 2018 y febrero de 2019, comparado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales). Se puede afirmar, que las condiciones son casi óptimas, ya que los valores se encuentran dentro de la normativa establecida. En cuanto a los valores de los puntos de monitoreo, están en un rango de 13.89 °C y 18.27 °C para setiembre de 2018 y febrero de 2019.

- Conductividad eléctrica (CE)

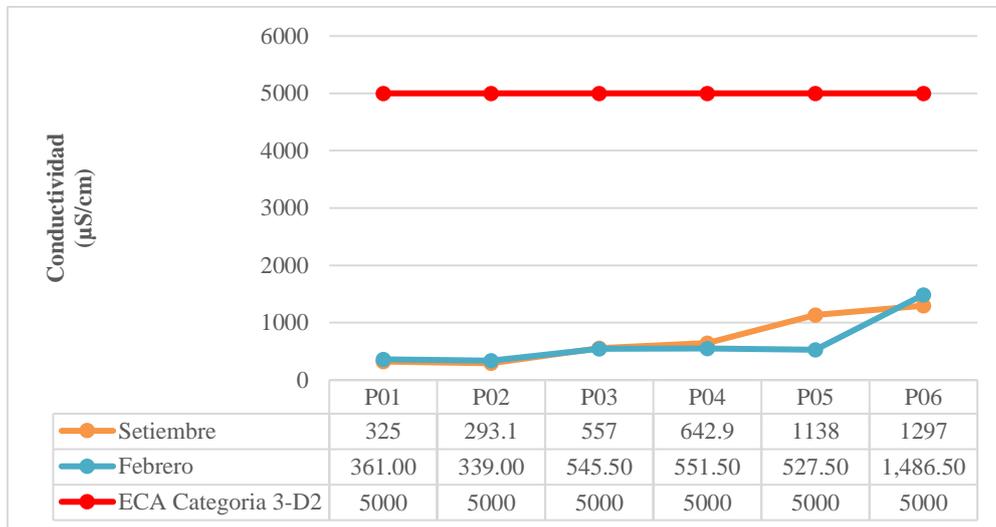


Figura 22. Comparación de los resultados de CE con el ECA para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales), durante setiembre de 2018 y febrero de 2019

En la figura 22 se observa los niveles de conductividad de cada punto de muestreo, para setiembre de 2018 y febrero de 2019, comparado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales), cumple con lo establecido en la norma, de esta manera, los mayores valores de conductividad eléctrica que se registraron en febrero de 2019, fue en el punto P06, con un valor de 1486.5 $\mu\text{S/cm}$, y el valor mínimo de 293.1 $\mu\text{S/cm}$, se registró en el punto P03, durante setiembre de 2019.

- **Salinidad**

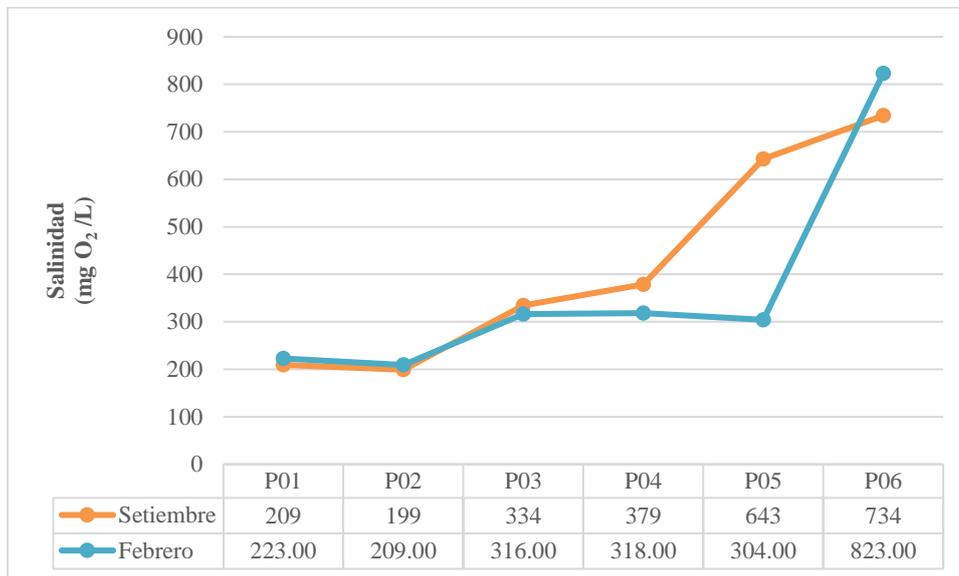


Figura 23. Se observa los niveles de salinidad para cada punto de muestreo, para setiembre de 2018 y febrero de 2019

En la figura 23 se observa los niveles de salinidad para cada punto de muestreo, para setiembre de 2018 y febrero de 2019, en cuanto a los valores de los puntos de monitoreo, se encontraron en un rango de 199 mg O₂/L y 823 mg O₂/L. Por consiguiente, el valor más alto obtenido durante setiembre de 2018, corresponde al punto P05, con un valor de 643 mg O₂/L, de esta manera, durante febrero de 2019, el valor de salinidad más alto fue de 823 mg O₂/L.

c. Para los parámetros microbiológicos

- Coliformes Totales

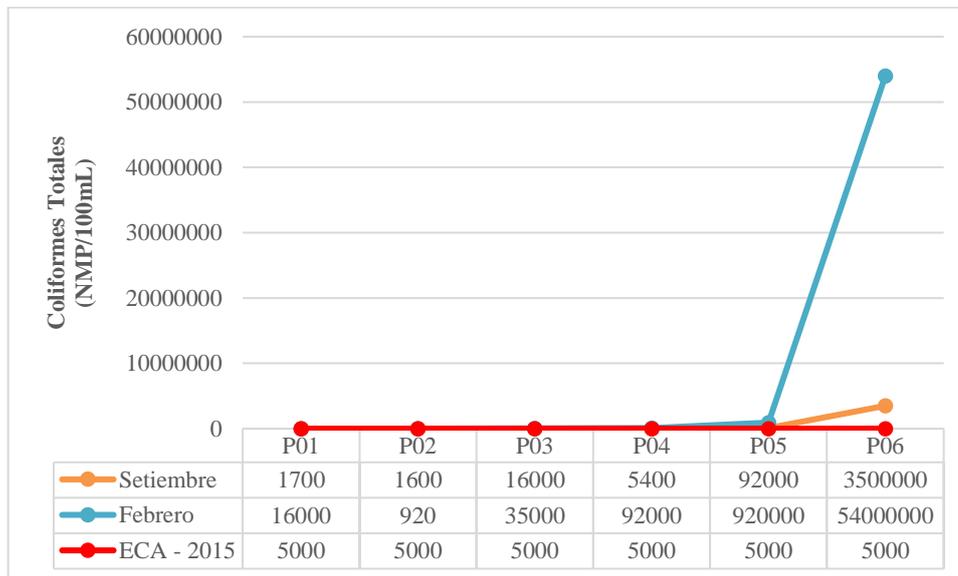


Figura 24. Comparación de los resultados de Coliformes Totales con el ECA para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales), para setiembre de 2018 y febrero de 2019

En la figura 24 se muestra el comportamiento de los Coliformes Totales en cada punto de monitoreo, durante setiembre de 2018 y febrero de 2019, donde, se observa dicho parámetro, no cumple con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales) según el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Así, Escalante (2018), en su estudio, determinó que en todos los puntos de evaluación, las concentraciones de los parámetros microbiológicos, como Coliformes Totales (5 654 293,2 NMP/100 mg/l), no cumplen con la normativa mencionada, lo que concuerda con el presente estudio, ya que los valores oscilan entre 5400 NMP/100 ml y 54000000 NMP/100 ml. Por ello, Palomino (2016), en su investigación, de acuerdo a los resultados obtenidos en la determinación de parámetros microbiológicos, indica que sobrepasa notoriamente los ECA para Coliformes Totales, lo que concuerda con el presente estudio.

d. Para la correlación Pearson

Análisis de coeficiente de correlación de Pearson entre índices bióticos (BMWP/Col. y ABI) y variables fisicoquímicas para septiembre 2018

En la tabla 24 se muestra los resultados de la correlación lineal (usando el coeficiente de Pearson) entre variables fisicoquímicas y los índices bióticos (BMWP/Col. y ABI) para septiembre de 2018, procesado en el software IBM SPSS, para índice BMWP/Col. tuvo una correlación estadísticamente significativa, con tres variables fisicoquímicas, presentando correlación positiva con el nitrato, oxígeno disuelto y pH, con coeficientes de 0.42, 0.70 y 0.95 respectivamente, por otro lado, se relacionó negativamente con los demás parámetros fisicoquímicos analizados. En cuanto al índice ABI, presento una correlación positiva y estadísticamente significativa, con tres variables fisicoquímicas, presentando correlación positiva con el nitrato, oxígeno disuelto y pH, con coeficientes de 0.40, 0.69 y 0.93 respectivamente, además, se relacionó negativamente con los otros parámetros fisicoquímicos analizados.

Análisis de coeficiente de correlación de Pearson entre índices bióticos (BMWP/Col. y ABI) y variables fisicoquímicas para febrero 2019.

En la tabla 25 se muestra los resultados de la correlación lineal (usando el coeficiente de Pearson) entre variables fisicoquímicas y los índices bióticos (BMWP/Col. y ABI) para febrero de 2019, procesado en el software IBM SPSS, para el índice BMWP/Col. tuvo una correlación estadísticamente significativa, con dos variables fisicoquímicas, presentando correlación positiva con el oxígeno disuelto y pH, con coeficientes de 0.81 y 0.95 respectivamente, por otro lado, se relacionó negativamente con los demás parámetros fisicoquímicos analizados. En cuanto al índice ABI, presento una correlación positiva y estadísticamente significativa, con dos variables fisicoquímicas, presentando correlación positiva con el oxígeno disuelto y pH, con coeficientes de 0.81 y 0.96 respectivamente, además, se relacionó negativamente con los otros parámetros fisicoquímicos analizados.

4.2. Conclusiones

- Se registró un total de 408 macroinvertebrados acuáticos, que consta de 4 clases, 1 subclase, 6 órdenes y 13 familias durante septiembre de 2018 y febrero de 2019.
- Se determinó que la mayor riqueza específica está en el P01, con 22 familias durante ambos meses. También, la mayor abundancia absoluta se encontró en el punto P04, con 45 individuos durante septiembre de 2018 y en el P02, a 53 individuos durante febrero de 2019, por otra parte, la mayor abundancia relativa fue el de la familia *Chinoromidae*, con promedio de 68.11% en septiembre de 2018 y 67.83% en febrero de 2019. La mayor frecuencia absoluta y relativa fue el de la familia *Chinoromidae* en ambos meses. Y la mayor diversidad se encontró en la parte alta (P01 y P02) durante ambos meses. De esta manera, se acepta la hipótesis planteada.
- Según los resultados obtenidos del Índice Biótico Andino (ABI), podría decirse que muestran en su mayoría, una calidad “**pésima**”, sobre todo, en las partes media y baja durante ambos meses. Por otra parte, de acuerdo al Índice BMWP/Col. se tiene que los cuerpos de agua analizados, presentan en su mayoría, una calidad “**muy crítica**”, sobre todo, en las partes media y baja durante ambos meses. Con lo que se rechaza la hipótesis, ya que la calidad que se encontró, presenta peores condiciones.

- De acuerdo a la comparación de los resultados fisicoquímicos obtenidos con el ECA para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales), establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, se determinó, que el pH, DBO₅, DQO y OD no cumplieron dicho reglamento durante septiembre de 2018 y febrero de 2019. El pH pasó del reglamento en el P01 y P02, con valores que oscilan entre 8.41 y 8.48. El DBO₅ pasó del reglamento en los puntos P04, P05 y P06, con valores que están entre 21.2 mg O₂/L y 369.5 mg O₂/L. El DQO pasó del reglamento en los puntos P04, P05 y P06, con valores que se encuentran entre 43.9 mg O₂/L y 721.9 mg O₂/L. El OD pasó del reglamento en los puntos P03, P04, P05 y P06 con valores entre 0.49 mg O₂/L y 4.9 mg O₂/L. De la misma manera, de acuerdo a la comparación realizada entre los resultados de Coliformes Totales y el ECA para agua, categoría 3, D2 (bebida de animales) del Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, no cumplió con lo establecido en los puntos P01, P03, P04, P05 y P06 con valores que oscilan entre 5400 NMP/100mL y 54000000 NMP/100mL, durante ambos meses mencionados. De esta forma, se acepta la hipótesis.
- Finalmente, la correlación entre los índices bióticos (BMWP/Col. y ABI) y los parámetros fisicoquímicos, es positiva y estadísticamente significativa, tanto para el OD, pH y nitrato con valores que están entre 0.40 y 0.96. De este modo, se acepta la hipótesis de investigación y se rechaza la hipótesis nula.

REFERENCIAS

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., & Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 35-64.
- Aguilar, A., Ávila, S., Cardona, A., Durán, N., & Zambrano, L. (2010). *Calidad del agua: un enfoque multidisciplinario*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México IIEc.
- Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *IV Simposio Sobre el Agua en Andalucía (Vol II)*, 203-213.
- Allan, J. D. (1995). *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*. Dordrecht: Springer.
- ANA. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos Hídricos superficiales*. Lima.
- APHA, A. W. (1992). *Métodos de Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y residuales*. España: Editorial Díaz de Santos, S.A.
- Ávila de Navia, S. L., & Estupiñán Torres, S. M. (2013). Calidad sanitaria del agua del Parque Natural Chicaque. *SciELO Colombia*, 1.
- Balmaceda, J. (2007). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en el río Chicama. Regiones La Libertad - Cajamarca. Perú. 2006. (*Tesis de doctorado*). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo - Perú.
- Bullón, V. (2016). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua en la cuenca del río Perene, Chanchamayo. (*Tesis de título profesional*). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.

- Carrera Reyes, C., & Fierro Peralbo, K. (2001). *Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Quito: EcoCiencia.
- Chavez de Allain, A. (2012). *Capítulo II: Origen y efectos de la contaminación*. Piura.
- Dajoz, R., & Leiva-Morales, M. J. (2003). *Tratado de Ecología*. Madrid: Mundi-prensa.
- Damanik-Ambarita, M. N., Lock, K., Boets, P., Everaert, G., Tien-Nguyen, T. H., Eurie-Forio, M. A., . . . Goethalsa, P. L. (2016). Ecological water quality analysis of the Guayas river basin (Ecuador) based on macroinvertebrates indices. *Limnologia*, 27-59.
- DIGESA. (2010). *Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad alimentaria*. Obtenido de Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad alimentaria: http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%203.pdf
- Domínguez, E., & Fernández, H. R. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología*. Tucumán: Fundación Miguel Lillo.
- Ecofluidos Ingenieros S.A. (2012). *Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en Apurímac y Cusco*. Lima.
- Encalada, A., Rieradevall, M., Ríos-Touma, B., García, N., & Prat, N. (2011). *Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S)*. Quito: Proyecto FUCARA.
- Escalante, J. (2018). Caracterización De Las Aguas Del Río Mashcón Y San Lucas, Y Del Efluente De Las Lagunas De Estabilización De La Ciudad De Cajamarca Con Fines De Evaluación Ambiental, Marzo – Agosto Del 2007. (*Tesis de maestría*). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca - Perú.
- Esteves, F. (1998). *Fundamentos de Limnología*. Rio de Janeiro: Interciência.

- Flores-Rojas, D. (2014). *Guía de vigilancia ambiental "Agua es Vida"*. Cajamarca: Associació Catalana D'Enginyeria Sense Fronteres.
- Fraume-Restrepo, N. J. (2007). *Diccionario Ambiental*. Bogotá: Ecoe Ed.
- Gamarra Hernández, Y., Restrepo Manrique, R., & Cajigas Cerón, A. (2012). *Guía de Campo de los Macroinvertebrados Acuáticos - Colombia*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Gil Gómez, J. (2014). *Determinación De La Calidad Del Agua Mediante Variables Físico Químicas, Y La Comunidad De Macroinvertebrados Como Bioindicadores De Calidad Del Agua En La Cuenca Del Río Garagoa*. Universidad De Manizales, Manizales, Colombia.
- Hamada, N., Nessimian, J. L., & Querino, R. B. (2014). *Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. Manaus: Editora do INPA.
- Hanson, P., Springer, M., & Ramirez, A. (2010). Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*, 3-37.
- Jaramillo-Londoño, J. C. (2002). Importancia de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. *Revista Ingenierías (Universidad de Medellín)*, 93-98.
- Ladrera-Fernández, R. (2012). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. *Páginas de información ambiental (Gobierno de La Rioja)*, 24-29.
- Lenntech. (2007). Recuperado el 18 de enero de 2019, de Agua residual y purificación del aire. (en línea): <https://www.lenntech.es/index.htm>

- López, B. (2017). Determinación De La Calidad Del Agua Con Los Insectos Como Modelo De Estudio En La Región Fronteriza México – Estados Unidos De América Con El Enfoque Al Control De Las Descargas De Aguas Residuales. (*Tesis de título profesional*). Universidad Autónoma De Nuevo León, San Nicolás De Los Garza, NL.
- Margalef, R. (1983). *Limnología*. Michigan: Ediciones Omega.
- Martella, M. B., Trumper, E. V., Bellis, L. M., Renison, D., Giordano, P. F., Bazzano, G., & Gleiser, R. M. (2012). Manual de Ecología: Evaluación de la biodiversidad. *Reduca (Biología)*, 71-115.
- Mason, C. (2002). *Biology of Freshwater Pollution (4th Edition)*. New York: Pearson .
- MEA. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press.
- Metcalf, J. L. (1989). Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: History and present status in Europe. *Environmental Pollution*, 101-139.
- MINAM. (2015). Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación: Decreto Supremo N° 015. *El Peruano*, 569076-569082.
- MINAM. (2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones: Decreto Supremo N° 004. *El Peruano*, 10-19.
- Mihelcic, J., & Zimmerman, J. (2011). *Ingeniería ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño*. México D.F.: Alfaomega Grupo Editor, S.A.
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. Zaragoza: M&T – Manuales y Tesis SEA.

- Muñoz-Aguilar, C. (2016). Caracterización Físicoquímica Y Biológica De Las Aguas Del Río Grande Celendín por la Universidad Nacional de Cajamarca. (*Tesis de título profesional*). Universidad Nacional de Cajamarca, Celendin, Cajamarca, Perú.
- New, M. B., & Valenti, W. C. (2000). *Freshwater Prawn Culture: The Farming of Macrobrachium rosenbergii*. Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías para la calidad del agua potable: incluye el primer apéndice. Vol. 1: Recomendaciones. Tercera edición*.
- Orozco-Barrenetxea, C., Pérez-Serrano, A., Gonzáles-Delgado, M., Rodríguez-Vidal, F., & Alfayate-Blanco, J. M. (2003). *Contaminación ambiental: una visión desde la química*. Madrid: Paraninfo, S. A.
- Palomino, L. (2015). Calidad ambiental de las aguas del río Apacheta y sus principales tributarios. Ayacucho Julio - Noviembre 2013. (*Tesis de título profesional*). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho - Perú.
- Palomino, P. (2016). Macroinvertebrados acuáticos bentónicos (MAB) y su relación con la calidad del agua en el río Mashcón - Cajamarca, 2016. (*Tesis de título profesional*). Universidad Privada del Norte, Cajamarca - Perú.
- Paoletti, M., & Hassall, M. (1999). Woodlice (Isopoda: Oniscidea): Their potential for assessing sustainability and use as bioindicators. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 157-16.
- Peña, J., & Villacorta, J. (2014). Macroinvertebrados Acuáticos Como Indicadores Biológicos Y Su Relación Con La Calidad Del Agua En La Microcuenca Mishquiyacu, Provincia De Moyobamba – 2014. (*Tesis de título profesional*). Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba - Perú.

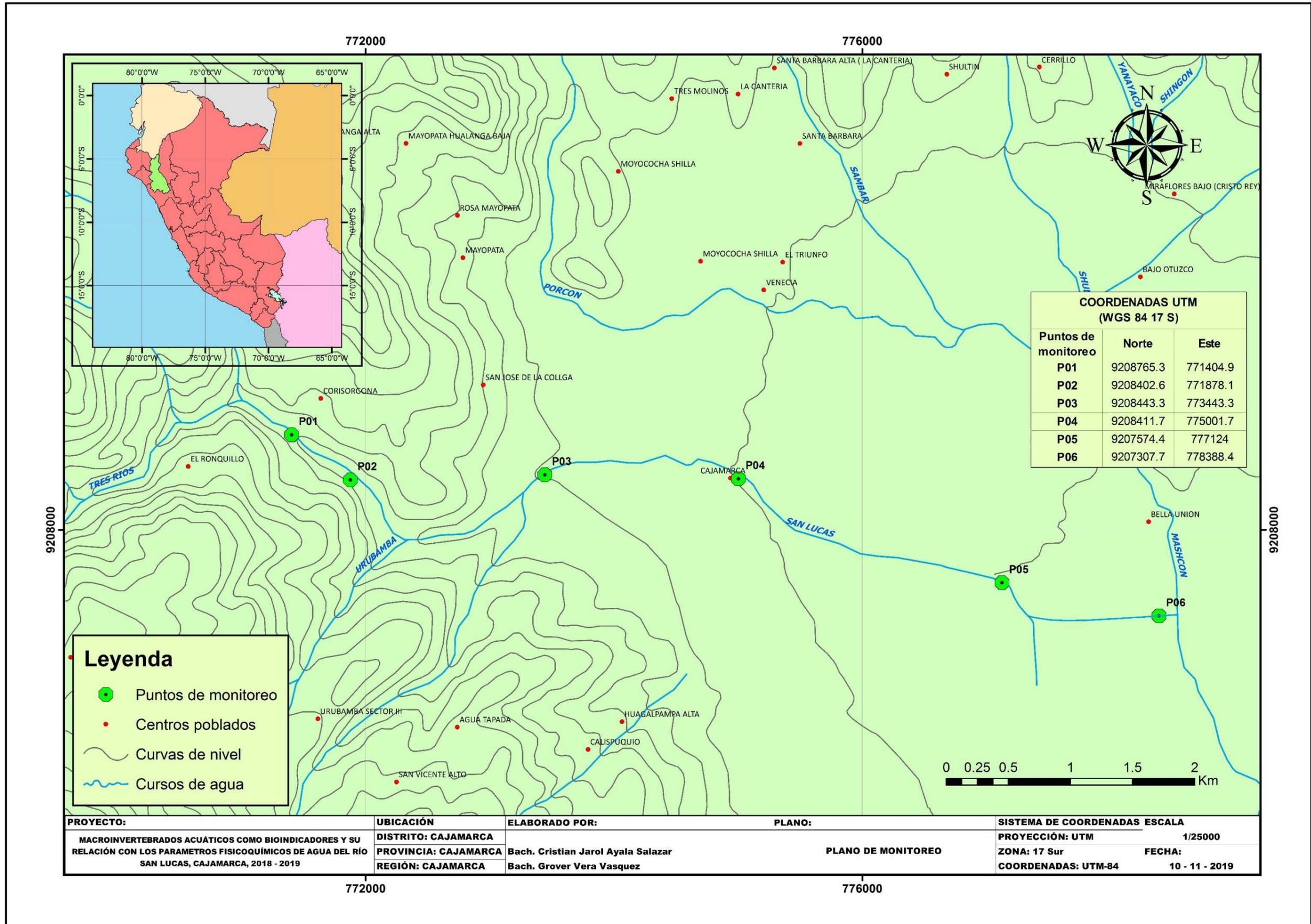
- Piedra, A. y. (2013). *La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata*. Ed. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba.
- Pinilla Agudelo, G. A. (2000). *Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia*. Santafé de Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., & Rier, M. (2009). Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. Tucumán: Fundación Miguel Lillo.
- Roldán P., G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 375-387.
- Roldán, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquía*. Bogotá: Pama Editores Ltda.
- Roldán, G., Builes, J., Trujillo, C. M., & Suárez, A. (1973). Efectos de la contaminación industrial y doméstica sobre la fauna béntica del río Medellín. *Actualidades Biológicas*, 54-64.
- Roldán-Pérez, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Roldán-Pérez, G. (2012). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua*. Bogotá: CAR.
- Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 254-274.
- Roldán-Pérez, G., & Ramírez-Restrepo, J. J. (2008). *Fundamentos de la limnología neotropical*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.

- Romero, D., & Tarrillo, H. (2017). Evaluación de la calidad del agua utilizando macroinvertebrados bentónicos como indicadores bióticos en la quebrada Chambag, santa Cruz, Cajamarca , durante agosto, diciembre 2016 y marzo 2017. (*Tesis de título profesional*). Universidad De Lambayeque, Chiclayo - Perú.
- Rosenberg, D. M., & Resh, V. H. (1993). *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. New York: Chapman & Hall.
- Samanez-Valer, I., Rimarachín-Ching, V., Palma-Gonzales, C., Arana-Maestre, J., Ortega-Torres, H., Correa-Roldán, V., & Hidalgo Del Águila, M. (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Sánchez, Ó., Herzig, M., Peters, E., Márquez, R., & Zambrano, L. (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Mexico: Instituto Nacional de Ecología.
- Segnini, S. (2003). El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Ecotropicos*, 45-63.
- Stroud Center. (11 de Octubre de 2016). *Stroud™ Water Research Center*. Obtenido de <https://stroudcenter.org/projects/peru/>
- Tenjo Morales, A. I., & Cárdenas Castro, E. (2013). Importancia y utilidad de los bioindicadores acuáticos. *Biodiversidad Colombia (Universidad de La Salle)*, 40-48.
- Toro, J., Schuster, J., Kurosawa, J., Araya, E., & Contreras, M. (2005). *Diagnóstico de la calidad del agua en sistemas lóticos utilizando diatomeas y macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores del Río Maipo*. Santiago: Chile.

- Torralba Burrial, A. (2009). *Estado ecológico, comunidades de macroinvertebrados y de odonatos de la red fluvial de Aragón (Tesis doctoral)*. España: Consejo Económico Y Social De Aragón.
- Vargas, L., Maldonado, V., Barrenechea, A., & Aurazo, M. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría tomo I*. CEPIS. 306. Lima, Perú.
- Wiederholm, T. (1980). Use of Benthos in Lake Monitoring . *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 537-547.
- Yépez-Rosado, Á., Yépez-Yanez , Á. B., Urdánigo-Zambrano, J. P., Morales-Cabezas , D. C., Guerrero-Chuez, N. M., & TayHing, C. C. (2017). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador. *Ciencia y Tecnología - Uteq*, 27-34.
- Zamora-González, H. (2007). *El índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia*. Popayán: Universidad del Cauca.

ANEXOS

ANEXO 1. Mapa de las ubicaciones de los puntos de monitoreo en el río San Lucas, provincia de Cajamarca



ANEXO 2. Puntaje final e interpretación de los índices bióticos

Índices e interpretación

Son resultado de muchas investigaciones para determinar la calidad del agua y le otorgan puntajes a las familias de MIB que registran. Usaremos estas puntuaciones después de haber colectado e identificado a las Familias de bichitos que encontremos en nuestro río. Usamos la Ficha #2 de Anexos. Luego interpretamos según este cuadro.

EPT

Te pide SUMAR el N° total de Familias de las Ordenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera que encontremos. Si tenemos 8, por ejemplo, la calidad del agua será "Baja".

BMWP/Col

Le otorga mayores puntajes a las Familias de MIB menos tolerantes a la contaminación. Si encontramos la Familia, le damos el puntaje que señala la Ficha #2, no importa el # de bichitos de la familia encontrados. Se suman los puntajes de las Familias encontradas. Si, por ejemplo, obtenemos un puntaje de 38, el agua será de "Dudosa" calidad.

Índice Biótico Andino (ABI)

También le da mayores puntajes a los MIB menos tolerantes a la contaminación. Si encontramos la Familia le damos el puntaje que señala la Ficha #2. No importa cuántos bichitos de la Familia hayamos encontrado. Se suman los puntajes de las Familias encontradas. Si por ejemplo es puntaje es de 50, la calidad es "Buena".

Índice Biótico de Familia (IBF)

Al revés de los demás índices, le da menor puntaje a las Familias de MIB menos tolerantes a la contaminación y mayor puntaje a los más tolerantes. En este índice, contamos la cantidad de bichitos por c/familia, y lo multiplicamos por el puntaje otorgado. El resultado final lo interpretamos según este cuadro.

EPT	Excelente	Buena	Justo	Baja	Pobre
	Más de 27	21 a 27	14 a 20	7 a 13	0 a 6

BMWP/Col	Buena	Aceptable	Dudosa	Crítica	Muy crítica
	<i>Aguas muy limpias, no contaminadas o poco alteradas</i>	<i>Aguas ligeramente contaminadas</i>	<i>Aguas moderadamente contaminadas</i>	<i>Aguas muy contaminadas</i>	<i>Aguas fuertemente contaminadas</i>
	101-150	61 a 100	36 a 60	16 a 35	Menos de 15

ABI	Muy bueno	Bueno	Moderado	Malo	Pésimo
	Más de 74	45 a 74	27 a 44	11 a 26	Menos de 11

IBF	Excelente	Muy buena	Buena	Mala	Muy mala	Pobre	Muy pobre
	<i>Sin contaminación orgánica</i>	<i>Posible poca contaminación</i>	<i>Probable cierta contaminación</i>	<i>Muy considerable contaminación</i>	<i>Considerable contaminación</i>	<i>Bastante contaminación</i>	<i>Severa contaminación orgánica</i>
	0.00 a 3.75	3.76 a 4.25	4.26 a 5	5.01 a 5.75	5.76 a 6.5	6.51 a 7.25	7.26 a 10

Nota: En esta guía presentamos 4 índices. Sin embargo, existen muchos más que cada grupo de vigilancia puede buscar y evaluar si es pertinente para su tipo de ecosistema y el tipo de contaminación que busca identificar. Lo ideal es contar con un Índice para cada lugar, por ejemplo, para la jalca de la Cuenca del Jequetepeque. Esto se logra con muchas investigaciones y colectas que muestren qué familias y cómo reaccionan en ese hábitat.

Fuente: Flores-Rojas (2014).

ANEXO 3. Algunas guías para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos

**Guía para el estudio
de los macroinvertebrados acuáticos
del Departamento de Antioquia**

Gabriel Roldán Pérez
Universidad de Antioquia
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Centro de Investigaciones, CIEN

7	Principales grupos de macroinvertebrados presentes en ríos, quebradas y lagunas de Antioquia
8	Phylum Coelenterata
10	Phylum Platyhelminthes
	Clase Turbellaria
11	Orden Tricladida
13	Phylum Nematomorpha
15	Phylum Annelida
	Clase Oligochaeta
18	Clase Hirudinea
20	Phylum Arthropoda
	Clase Insecta
	Orden Ephemeroptera
21	Clave para ninfas de Ephemeroptera
39	Orden Odonata
40	Clave para ninfas de Odonata
	Clave para subórdenes
	Clave para familias de Anisoptera
	Clave para familias de Zygoptera
78	Orden Plecoptera
81	Orden Neuroptera (Megaloptera)
83	Orden Hemiptera
	Clave para familias de Hemiptera
116	Orden Coleoptera
118	Clave para adultos de Coleoptera
119	Clave para larvas de Coleoptera
145	Orden Trichoptera
146	Clave para familias de Trichoptera
169	Orden Lepidoptera
171	Orden Diptera
172	Clave para subórdenes e infraórdenes de dípteros acuáticos
	Clave para familias de Orthorrhapha-Nematocera
	Clave para familias de Orthorrhapha-Brachycera
	Características para el suborden Cyclorrhapha
209	Clase Arachnoidea (Hidracarina)
211	Phylum Mollusca
	Clase Gastropoda
215	Clase Bivalvia (Pelecypoda)

Insetos Aquáticos

na Amazônia brasileira:
taxonomia, biologia e ecologia

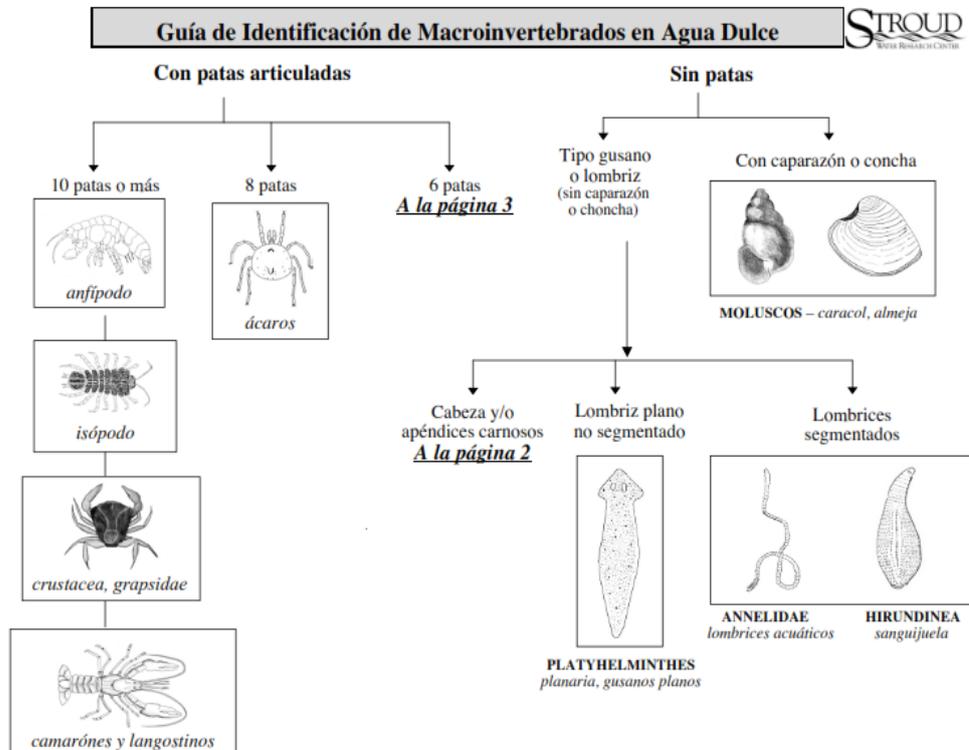
Editores
Neusa Hamada
Jorge Luiz Nessimian
Ranyse Barbosa Querino

Manaus, 2014

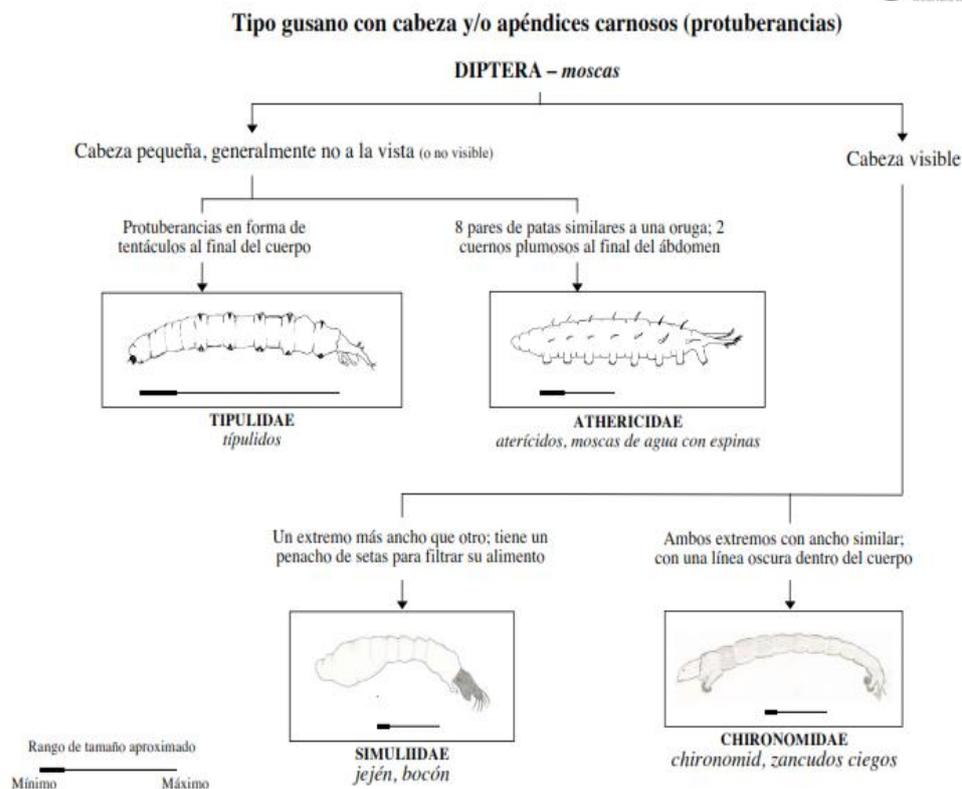
Fuente: Roldán (1988).

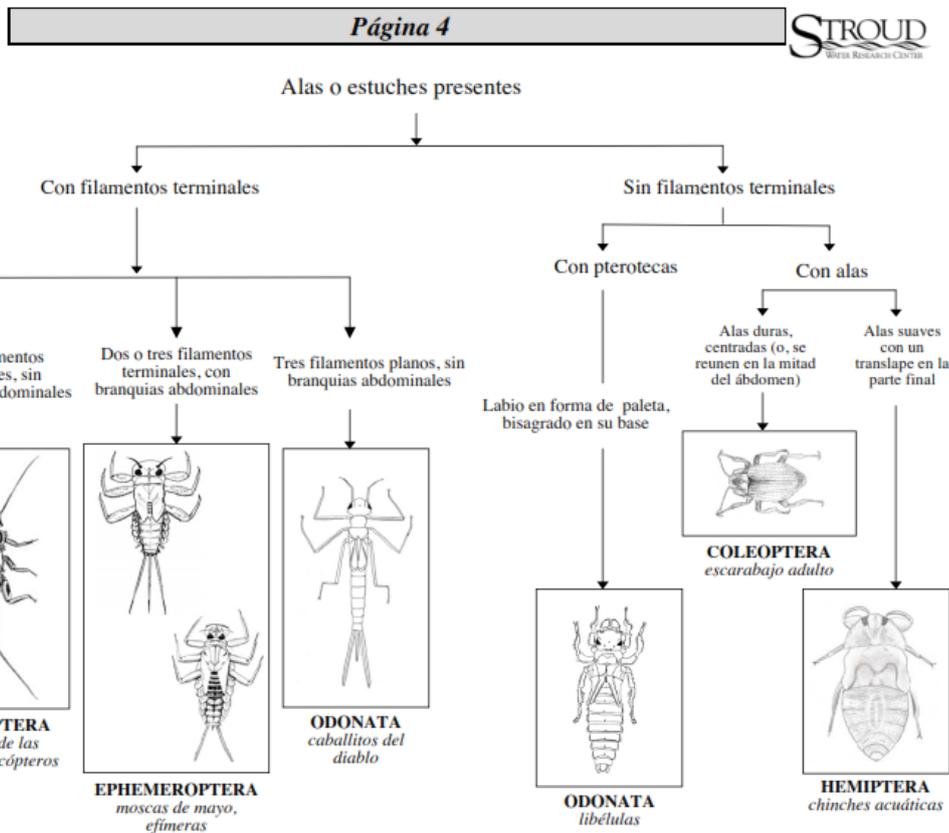
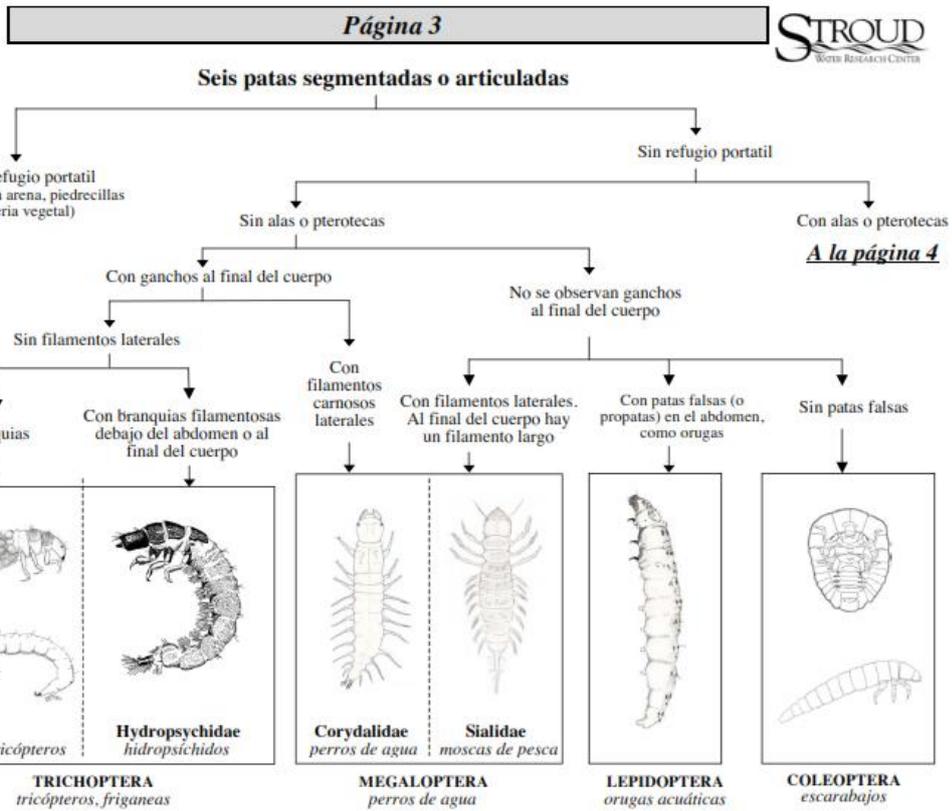
Fuente: Hamada *et al.* (2014).

ANEXO 4. Guía de identificación de macroinvertebrados en agua dulce



Página 2 





Fuente: Stroud Center (2016).

ANEXO 5. Taxonomía de los macroinvertebrados acuáticos y su puntuación según la adaptación del índice BMWP/Col.

IBMWP/Col. (ADAPTADO)			
Ordenes	Familias		Puntaje
Plecóptera	Perlidae		
Ephemeroptera	Oligoneuridae,	Euthyplociidae,	Polymtarciidae.
Trichoptera	Odontoceridae,	Glossosomatidae,	Rhyacophilidae,
	Calamoceratidae,	Hydroptilidae,	Anomalopsychidae,
	Atriplectididae..		
Coleóptera Odonata	Psephenidae,	Ptilodactylidae,	Lampyridae.
Díptera Unionoida	Polythoridae.		
Acari Hidroidea	Blepharoceridae.		10
	Unionidae. (Cl: Bivalvia o Pelecypoda) Lymnessiidae.		
	(Cl: Arachnoidae o Hidracarina). Hidridae. (Cl: Hydrozoa)		
Ephemeroptera	Leptophlebiidae, Efemeridae.		
Tricóptera	Hydrobiosidae,	Philopotamidae,	Xiphocentronidae.
Coleóptera Odonata	Gyrinidae. Scirtidae.		
Díptera	Gomphidae,	Megapodagrionidae,	Coenagrionidae..
Gordioidea	Simullidae.		
Lepidoptera	Gordiidae,	Chordodidae. (Cl: Nematomorpha)	
Mesogastropoda	Pylalidae		9
Hirudiniformes	Ampullariidae. (Cl: Gastrópoda).		
	Hirudinae. (Cl: Hirudinea)		
Ephemeroptera	Baetidae, Caenidae,		
Trichoptera	Hidropsychidae,	Leptoceridae,	Helicopsychidae.
Coleóptera Odonata	Dytiscidae, Dryopidae.		
Hemiptera Díptera	Lestidae, Calopterygidae.		
Decápoda	Pleidae. Saldidae, Guerridae, Veliidae, Hebridae		8
Basommatophora	Dixidae.		
	Palaemonidae,	Pseudothelphusidae. (Cl Crustácea)	
	Chilinnidae. (Cl: Gastrópoda)		
Ephemeroptera	Tricorythidae,		Leptohiphidae.
Trichoptera	Polycentropodidae.		
Coleóptera Odonata	Elmidae, Staphylinidae		
Hemiptera Díptera	Aeshnidae.		
Basommatophora	Naucoridae,	Notonectidae,	Mesolveiidae,
Mesogastropoda	Psychodidae		Corixidae.
Archeogastrópoda			7
	Ancylidae,	Planorbidae. (Cl: Gastrópoda)	
	Melaniidae,	Hydrobiidae, (Cl: Gastrópoda)	
	Neritidae... (Cl: Gastrópoda)+		

Coleóptera Odonata	Limnichidae, Lutrochidae.	
Hemiptera	Libellulidae, Belostomatidae, Hydrometridae, Gelastocoridae, Nepidae,	
Díptera Megalóptera	Dolichopodidae. Corydalidae,	
Decápoda	Sialidae.. Atyidae. . (Cl Crustácea)	
Anphipoda	Hyaellidae. . (Cl Crustácea)	6
Tricladida	Planariidae, Dugesidae...	
Coleóptera Díptera	Chrysomelidae, Haliplidae, Curculiónidae.	
Basommatophora	Tabanidae, Stratiomyidae, Empididae. Thiaridae. (Cl: Gastrópoda)	5
Coleóptera Díptera	Hidrophilidae, Noteridae, Hydraenidae, Noteridae.	
Basommatophora	Tipulidae, Ceratopogonidae. Limnaeidae, Sphaeridae.. (Cl: Gastrópoda).	4
Díptera	Culícidae, Muscidae, Sciomizidae.	
Basommatophora	Physidae. (Cl: Gastrópoda).	3
Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Cylicobdellidae	
Díptera	Chironomidae, Ephyridae, Syrphidae.	
Heplo-taxida	Todas las familias (Excepto tubifex)	2
Haplo-taxida	Tubificidae (Tubifex)	1

Fuente: Zamora-González (2007).

ANEXO 6. Puntuación del Índice Biótico Andino (ABI) para familias de
macroinvertebrados acuáticos

ORDEN	FAMILIA	PUNTUACIÓN ABI
Turbellaria	Planariidae	5
Hirudinea		3
Oligochaeta		1
Gastrópoda	Ancylidae	6
	Physidae	3
	Hydrobiidae	3
	Limnaeidae	3
	Planorbidae	3
Bivalvia	Sphaeriidae	3
Amphipoda	Hyalellidae	6
Ostracoda		3
Hydracarina		4
Ephemeroptera	Baetidae	4
	Leptophlebiidae	10
	Leptohyphidae	7
	Oligoneuriidae	10
Odonata	Aeshnidae	6
	Gomphidae	8
	Libellulidae	6
	Coenagrionidae	6
	Calopterygidae	8
	Polythoridae	10
Plecóptera	Perlidae	10
	Gripopterygidae	10
Heteroptera	Veliidae	5
	Gerridae	5
	Corixidae	5
	Notonectidae	5
	Belostomatidae	4
	Naucoridae	5
Trichoptera	Helicopsychidae	10
	Calamoceratidae	10
	Odontoceridae	10
	Leptoceridae	8
	Polycentropodidae	8
	Hydroptilidae	6
	Xiphocentronidae	8
	Hydrobiosidae	8

	Glossosomatidae	7
	Hydropsychidae	5
	Anamalopsychidae	10
	Philopotamidae	8
	Limnephilidae	7
Lepidoptera	Pyralidae	4
Coleóptera	Ptilodactylidae	5
	Lampyridae	5
	Psephenidae	5
	Scirtidae	5
	Staphylinidae	3
	Elmidae	5
	Dryopidae	5
	Gyrinidae	3
	Dytiscidae	3
	Hydrophilidae	3
	Hydraenidae	5
Díptera	Blepharoceridae	10
	Simuliidae	5
	Tabanidae	4
	Tipulidae	5
	Limoniidae	4
	Ceratopogonidae	4
	Dixidae	4
	Psychodidae	3
	Dolichopodidae	4
	Stratiomyidae	4
	Empididae	4
	Chiromidae	2
	Culicidae	2
	Muscidae	2
	Ephydriidae	2
	Athericidae	10
	Syrphidae	1

Fuente: Acosta *et al.* (2009).

ANEXO 7. Ficha técnica de los índices bióticos (ABI y BMWP/Col.) utilizados

RIQUEZA TOTAL Y EPT		Índice Biótico Andino (ABI)		Biological monitoring working party (BMWP)		Índice Biótico de Familias (IBF)		
Orden	Familia (Marcar con una X en caso de presencia)	Puntaje	Cálculo (Presencia = puntaje)	Puntaje	Cálculo (Presencia = Puntaje)	N° Individuos encontrados	Puntaje	Cálculo (N° Individuos x puntaje)
Amphipoda	Hyslellidae	6		7			8	
Gasteropoda	Physidae	3		3			8	
Diptera	Tabanidae	4		5			5	
	Chironomidae	2		2				
	Simuliidae	5		8			6	
	Ceratopogonidae	4		3			6	
	Empididae	4		4			6	
	Limoniidae	4						
	Ephydriidae	2					6	
	Blephariceridae	10		10			0	
	Psychodidae	3		3			8	
	Tipulidae	5		5			3	
Ephemeroptera	Oligoneuridae	10		10			2	
	Baetidae	4		7			5	
	Leptophlebiidae	10		9			3	
Plecoptera	Leptohyphidae	7		7			4	
	Perlidae	10		10			2	
Trichoptera	Gripopterygidae	10						
	Calamoceratidae	10		10			3	
	Hydropsychidae	5		5			4	
	Hydrobiosidae	8		9				
	Hydroptilidae	6		7			4	
	Leptoceridae	8		8			4	
	Polycentropodidae	8		9			6	
	Helicopsychidae	10		8			3	
Coleoptera	Xiphocentronidae	8		9				
	Glossosomatidae	7		7			1	
	Dytiscidae	3		9			5	
	Ptilodactylidae	5		10			3	
	Psephenidae	5		10			4	
Collembola	Gyrinidae	3		9			4	
	Elmidae	5		6			4	
	Scirtidae	5					5	
Collembola	Collembola	0					5	
Acari	Hidracarina	4						
Annelida	Annelida Oligochaeta	1					8	
Tricladia/ Seriata	Planariidae			7				
N° Total de Familias		37						
PORCENTAJE DE RIQUEZA ENCONTRADA = (N° TOTAL DE FAMILIAS ENCONTRADAS/37) x 100		ABI = SUMA TOTAL	**	BMWP = SUMA TOTAL	**	IBF = SUMA TOTAL/ N° TOTAL INDIVIDUOS		
EPT = N° TOTAL FAMILIAS TRICHOPTERA+EPHEMEROPTERA+ PLECOPTERA		* N° de Familias de MIB esperada en la Cuenca Jequetepeque (Cajamarca) a más de 2000 m.s.n.m. **Ver Ficha de Índices (Pág. N° 11) para interpretación						

Fuente: Flores-Rojas (2014).

ANEXO 8. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, D2
(bebida de animales)

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(μ S/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ ⁻ -N) + Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3

Fuente: MINAM (2017).

ANEXO 10. Resultados de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos analizados en el Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084**



INFORME DE ENSAYO N° IE 0918515

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario	CRISTIAN AYALA SALAZAR		
Dirección	Jr. Cinco esquinas N° 1394		
Persona de contacto	-	Correo electrónico	jaro_oslo_99@hotmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	09.09.18	Hora:	11:25 a 7:05pm
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de Muestras	06	N° Frascos x muestra	05
Ensayos solicitados	Físicoquímicos y Microbiológicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.		
Responsable de la toma de muestra	Las muestras fueron tomadas por el personal usuario		
Procedencia de la Muestra:	CAJAMARCA		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC - 576	Cadena de Custodia	CC - 515- 18
N° Orden de Trabajo	0918515		
Fecha y Hora de Recepción	10.09.18	10:30	Inicio de Ensayo 10.09.18 11:30
Reporte Resultado	17.09.18	15:00	

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA



Ing. Juan V. Díaz Saenz
RESPONSABLE
CSP 7396

Cajamarca, 18 de Setiembre de 2018.

1 de 3

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO
 JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
 e-mail: laboratorio@regioncajamarca.gob.pe FONDO: 599000 anexo 1140



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0918515

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente			P01	P02	P03	P04	P05	P06
Código Laboratorio			0918515-01	0918515-02	0918515-03	0918515-04	0918515-05	0918515-06
Matriz de Agua			NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL
Descripción			Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial
Localización de la Muestra			Parte Alta del Río	Parte Alta del Río	Parte Media del Río	Parte Media del Río	Parte Baja del Río	Parte Baja del Río
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.038	0.168	0.179	0.215	0.194	0.082	0.180
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	0.826	0.825	19.63	22.77	62.05	59.56
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	0.673	<LCM	0.340	<LCM
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.035	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.064	0.998	0.545	1.342	<LCM	5.392	0.190
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.070	7.690	7.666	19.25	35.90	110.9	194.2
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.032	<LCM	<LCM	1.078	2.785	0.688	5.644
° pH a 25°C	pH	NA	8.43	8.48	7.90	7.71	7.46	7.67
Conductividad a 25°C	uScm	NA	325.0	293.1	557.0	642.9	1138	1297
Sólidos Disueltos Total	mg/L	2.5	202.0	179.0	331.0	402.0	673.0	838.0
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	2.5	<LCM	<LCM	11.3	19.0	8.8	20.3
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	<LCM	<LCM	10.9	21.2	14.5	62.3
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	<LCM	<LCM	18.6	44.4	43.9	160.9
(*) Salinidad	mg/L	NA	209	199	334	379	643	734
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	7.17	6.85	3.84	1.46	6.54	0.49

ENSAYOS			MICROBIOLÓGICOS					
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Coliformes Totales	NMP/100mL	1.8	17 x 10 ²	16 x 10 ²	16 x 10 ³	54 x 10 ²	92 x 10 ³	35 x 10 ⁵

Ing. Oco. Mariano de la Cruz Sarmiento
Analista Responsable de Química
CIP: 119544



Cajamarca, 18 de Setiembre de 2018.

2 de 3



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0918515

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Sulfato, Nitrito, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ +N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
Potencial de Hidrogeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B. 23rd Ed. 2017. pH Value; Electrometric Method.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510. B. 23rd Ed. 2017. Conductivity. Laboratory Method
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A,C, 22 nd Ed. 2012: Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A,D, 22nd Ed. 2012: Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Salinidad (NaCl)	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2520 B, 23rd Ed. 2017: Electrical Conductivity Method
Coliformes Totales	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C, 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique

OBSERVACIONES

LCM: Límite de cuantificación del métodos, VE: Valor Estimado

Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.

Los Resultados Microbiológicos <1.8, 1.1, <1.0; significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra.

(* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado

(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev: N°05 Fecha : 06/06/2017

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Cajamarca, 18 de Setiembre de 2018.



LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

3 de 3



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0219085

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario **CRISTIAN AYALA SALAZAR**
 Dirección **Jr. Cinco esquinas N° 1394**
 Persona de contacto **-** Correo electrónico **jaro_oslo_99@hotmail.com**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **04.02.19** Hora: **10:00 a 09:00**
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de Muestras **06** N° Frascos x muestra **06**
 Ensayos solicitados **Fisicoquímicos y Microbiológicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.**
 Responsable de la toma de muestra **Las muestras fueron tomadas por el personal usuario**
 Procedencia de la Muestra: **RIO SAN LUCAS**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 094** Cadena de Custodia **CC - 085 - 19**
 Fecha y Hora de Recepción **05.02.19 10:00** Inicio de Ensayo **05.02.19 10:30**
 Reporte *Final de* Resultados **12.02.19 10:00**


 Bigo. Enver Zulueta Santa Cruz
 Responsable Técnico (e)
 CBP: 9778

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 13 de Febrero de 2019.

1 de 3



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0219085

ENSAYOS			FÍSICOQUÍMICOS					
Código Cliente			P01	P02	P03	P04	P05	P06
Código Laboratorio			0219085-01	0219085-02	0219085-03	0219085-04	0219085-05	0219085-06
Matriz			NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL
Descripción			Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial
Localización de la Muestra			Parte Alta del Río	Parte Alta del Río	Parte Media del Río	Parte Media del Río	Parte Baja del Río	Parte Baja del Río
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F)	mg/L	0.038	0.231	0.209	0.307	0.199	0.231	<LCM
Cloruro (Cl)	mg/L	0.065	0.963	0.950	17.66	10.23	27.13	67.27
Nitrito (NO ₂)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	0.442	0.297	0.864	<LCM
Bromuro (Br)	mg/L	0.035	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Nitrato (NO ₃)	mg/L	0.064	3.794	3.912	5.671	4.983	6.917	3.313
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.070	8.710	8.354	24.32	155.7	41.22	145.7
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.032	<LCM	<LCM	1.302	0.285	1.031	14.20
pH a 25°C	pH	NA	8.41	8.26	7.79	7.79	7.74	7.90
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	361.0	339.0	545.5	551.5	527.5	1486.5
Sólidos Disueltos Total	mg/L	2.5	235.5	228.0	311.0	326.0	321.0	834.0
Sólidos Suspensos Totales	mg/L	2.5	12.7	19.5	10.4	28.0	147.5	317.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	<LCM	<LCM	9.4	5.6	28.8	369.5
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	<LCM	<LCM	21.2	11.5	39.7	721.9
(*) Salinidad	mg/L	NA	223.0	209.0	316.0	318.0	304.0	823.0
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	7.1	6.7	3.6	3.3	4.9	<LCM

Legenda: LCM: Límite de cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

ENSAYOS			BIOLÓGICOS					
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Coliformes Totales	NMP/ 100mL	1.8	16 x 10 ³	920	35 x 10 ³	92 x 10 ³	92 x 10 ⁴	54 x 10 ⁶

Nota: Los Resultados <1.8 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra.

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA



Cajamarca, 13 de Febrero de 2019.

2 de 3



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0219085

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Sulfato, Nitrate, Fosfato: N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ +N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
Potencial de Hidrogeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B. 23rd Ed. 2017. pH Value: Electrometric Method.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510. B. 23rd Ed. 2017. Conductivity. Laboratory Method
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A,C, 22 nd Ed. 2012: Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A,D, 22nd Ed. 2012: Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Salinidad (NaCl)	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2520 B, 23rd Ed. 2017: Electrical Conductivity Method
Coliformes Totales	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C, 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique

NOTAS FINALES

- (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica
- (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Ing. Qcá Freddy H. López León
Analista de Química
CIP: 198264

"Fin del documento"

Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev: N°06 Fecha : 02/01/2019

Cajamarca, 13 de Febrero de 2019.

3 de 3

ANEXO II. Correlación Pearson entre los parámetros fisicoquímicos y los índices bióticos (ABI y BMWP/Col.), durante septiembre de 2018

		ABI	BMWPcol
Correlación de Pearson	ABI	1,000	1,000
	Cloruro	-,773	-,784
	Nitrato	,398	,421
	Nitrito	-,407	-,378
	Sulfato	-,589	-,600
	pH	,932	,945
	Solidos disueltos totales	-,733	-,747
	Solidos suspendidos totales	-,817	-,832
	DBO	-,581	-,593
	DQO	-,540	-,552
	OD	,691	,702
	Temperatura	-,978	-,971
	Conductividad	-,750	-,762
	Salinidad	-,746	-,758

Fuente: Software IBM SPSS.

ANEXO 12. Correlación Pearson entre los parámetros fisicoquímicos y los índices bióticos (ABI y BMWP/Col.), durante febrero de 2019

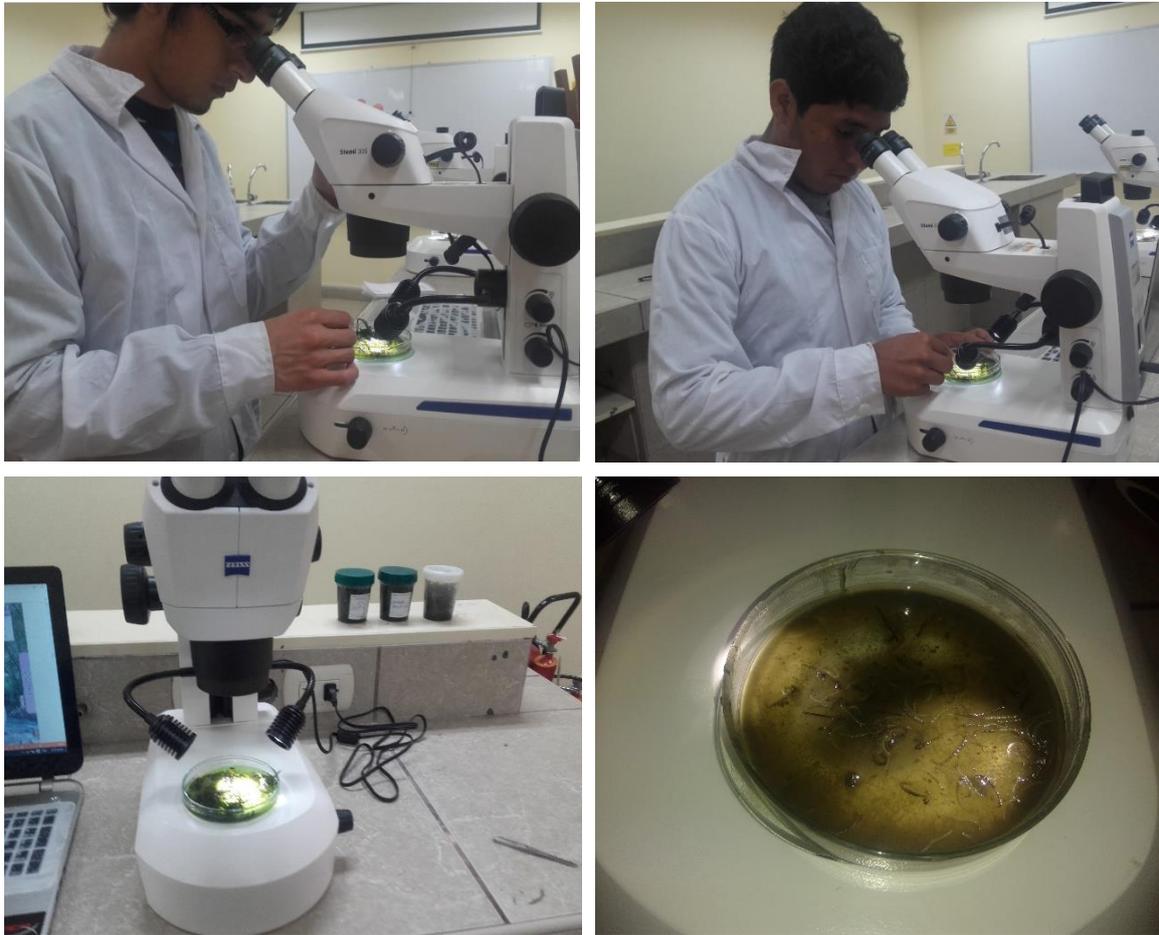
		ABI	BMWPcol
Correlación de Pearson	ABI	1,000	1,000
	Cloruro	-,637	-,653
	Nitrato	-,477	-,471
	Nitrito	-,550	-,553
	Sulfato	-,693	-,719
	pH	,963	,953
	Solidos disueltos totales	-,526	-,543
	Solidos suspendidos totales	-,529	-,550
	DBO	-,397	-,413
	DQO	-,384	-,399
	OD	,809	,814
	Temperatura	-,790	-,802
	Conductividad	-,543	-,560
	Salinidad	-,531	-,548

Fuente: Software IBM SPSS.

ANEXO 13. Panel fotográfico de la toma y recolección de muestras de macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos en el río San Lucas, provincia de Cajamarca



ANEXO 14. Panel fotográfico de la identificación de macroinvertebrados acuáticos en el laboratorio de biología de la Universidad Privada del Norte, sede Cajamarca



ANEXO 15. Panel fotográfico de macroinvertebrados acuáticos encontrados en el en el río
San Lucas, provincia de Cajamarca

