

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**Índices bióticos y de diversidad de la comunidad
macroinvertebrada bentónica para determinar la calidad de
los ríos Cachi, Pongora y Cachimayo, Ayacucho 2010.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO
ESPECIALIDAD DE ECOLOGÍA Y RECURSOS NATURALES**

PRESENTADO POR:

Bach. JAICO HUAYANAY, Marco Antonio.

AYACUCHO – PERÚ

2011

Con mucho cariño a mis padres,

Martha y Sergio

A mis hermanos, Robert,
Noemí y Kevin

A mis Abuelos, Edmunda, Regina,

Serafín y Tíos

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por acogerme y brindarme su formación como profesional.

A la Facultad de Ciencias Biológicas, por brindarme las facilidades para el logro y materialización de mis estudios en la carrera profesional de Biología

A mi asesor, Mg. Carlos Emilio Carrasco Badajoz por su orientación y sabios consejos, que han permitido la elaboración de mis tesis.

Al Dr. Saúl Chuchón Martínez por su apoyo en brindarme su equipo los que permitieron complementar la finalización de mi trabajo de investigación.

A todas aquellas personas que con su invaluable apoyo contribuyeron en la materialización del presente trabajo.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| RESUMEN..... | v |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. MARCO TEÓRICO..... | 4 |
| 2.1. Antecedentes..... | 4 |
| 2.2. Calidad de agua..... | 6 |
| 2.3. Macroinvertebrados..... | 7 |
| 2.4. Macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua..... | 8 |
| 2.5. Los sistemas de bioindicación..... | 8 |
| 2.6. Ventajas y desventajas de los indicadores de la calidad de agua..... | 10 |
| 2.7. Características de un bioindicador..... | 12 |
| 2.8. Índices para estimar la calidad biológica del agua..... | 13 |
| 2.9. Índices de diversidad..... | 19 |
| 2.10. Características fisicoquímicas del agua..... | 22 |
| 2.11. Estándares nacionales de calidad ambiental para el agua..... | 25 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 27 |
| 3.1. Ubicación de área de estudio..... | 27 |
| 3.2. Población y muestra..... | 28 |
| 3.2.1. Población..... | 28 |
| 3.2.2. Muestra..... | 28 |
| 3.3. Sistema de muestreo y toma de datos..... | 29 |
| 3.3.1. Macroinvertebrados acuáticos bentónicos..... | 29 |
| 3.3.2. Características fisicoquímicas de las muestras de agua..... | 30 |
| 3.4. Procesamiento y análisis de datos..... | 30 |
| IV. RESULTADOS..... | 33 |
| V. DISCUSIÓN..... | 46 |
| VI. CONCLUSIONES..... | 55 |
| VII. RECOMENDACIONES..... | 57 |
| VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 58 |
| ANEXOS..... | 61 |

Índices bióticos y de diversidad de la comunidad macroinvertebrada bentónica para determinar la calidad de los ríos Cachi, Pongora y Cachimayo, Ayacucho 2010.

AUTOR : Marco Antonio Jaico Huayanay

ASESOR : Carlos Emilio Carrasco Badajoz

RESUMEN

La determinación de la calidad de las aguas de los ecosistemas acuáticos está basada fundamentalmente en el análisis fisicoquímico, utilizando técnicas de comunidades biológicas como indicadores han demostrado mayor sensibilidad en la detección de eventos disturbantes. Se evaluó tres ríos (Pongora, Cachi y Cachimayo) con seis zonas de muestreo, se tomaron muestras durante Abril a Agosto del 2010. Los objetivos planteados fueron: determinar la composición y estructura de la comunidad macroinvertebrada bentónica, determinar la calidad de las aguas de los ríos, mediante el empleo de los índices bióticos BMWP (Biological Monitoring Working Party), IBF (Índice Biótico de Familia) y EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera), determinar la calidad de las aguas de los ríos, mediante el empleo de los índices de diversidad Shannon-Weaner, Pielou y Simpson, determinar las características fisicoquímicas (alcalinidad total, cloruro, conductividad, dióxido de carbono, dureza cálcica, dureza magnésica, dureza total, pH, sólidos disueltos totales, y nitrógeno amoniacal). Los muestreos fueron sistemáticos una vez por mes; para el muestreo se empleó una red tipo Surber con un área de muestreo de 1200 cm². Las determinaciones fisicoquímicas (conductividad, SDT, pH, alcalinidad, dureza cálcica, dureza magnésica, dureza total, cloruros, nitrógeno amoniacal) se realizaron en los laboratorios de la E.F.P. de Biología de la UNSCH. Se registró organismos pertenecientes a 3 phylums, 4 clases, 15 familias y 21 géneros para los tres ríos, siendo muchos de las taxas exclusivos para algunas zonas. Los mayores valores fisicoquímicos se registraron en los ríos Cachi (dureza total y cloruros), siendo una característica propia del lecho del río, mientras que el río Pongora registro valores altos para el nitrógeno amoniacal debido contaminantes agregados por la ciudad de Ayacucho y los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas "Totora", por otra parte el río Cachimayo registro valores similares, ya que es un río que resulta de la unión del Cachi con el Cachimayo. El Índice biótico IBF, EPT y BMWP, han permitido clasificar en cuatro clases de calidad de agua, comprendido desde regular hasta muy contaminado, así mismo los índices de diversidad de Shannon-Weaner, Simpson y Pielou son similares para los ríos Cachi, Cachimayo y Pongora, lo que nos indica la presencia de la comunidad bentónica con similares características,

Palabras clave: Macroinvertebrados bentónicos, índices bióticos y de diversidad

I. INTRODUCCIÓN

La determinación de la calidad de las aguas de los ecosistemas acuáticos para determinar su aptitud de uso por parte del hombre (agua potable, riego, agua para bebida de animales, etc), está basada fundamentalmente en el análisis fisicoquímico, siendo relegado a un segundo plano, como medio que permita la supervivencia de otros organismos. Más aún, cuando se observa el gran incremento de nuevos productos contaminantes que el hombre incorpora al agua de los ríos, que alteran sus características ambientales y consecuentemente su aptitud para soportar la presencia de comunidades biológicas. El hombre con la finalidad de monitorear posibles cambios de sus características ambientales, por lo general ha hecho uso de técnicas fisicoquímicas, las mismas que han demostrado ser limitadas, ya que solo tienen la capacidad de detectar cambios puntuales en el tiempo, es decir, si no se realiza el monitoreo en el instante que ocurra la contaminación en un río, es imposible que pueda detectar cambios en sus características; en tal sentido las técnicas que utilizan comunidades biológicas como indicadores han demostrado mayor sensibilidad en la detección de eventos que han

alterado un ecosistema, mediante el análisis de su composición y estructura. Obviamente el empleo de estas metodologías no representa la eliminación de los métodos analíticos utilizados comúnmente, sino que el uso de comunidades biológicas serviría como apoyo y sobre todo contribuiría a la reducción de los costos de vigilancia periódica, además de poder tener mayores criterios para poder identificar hechos disturbantes que han sido introducidos al río.

Basándose en lo señalado, se han creado métodos para la evaluación de la calidad biológica de los ríos, teniendo como indicadores ambientales a la composición y estructura de comunidades, cuyas características están en función de la calidad fisicoquímica de las aguas donde habitan, permitiendo identificar taxones de organismos que pueden servir como bioindicadores, por un lado, de aguas poco o nada alteradas y por otro de aguas contaminadas, tal como sucede en las aguas de los ríos Cachi, Pongora y Cachimayo. Por las razones señaladas el presente trabajo de investigación se ha desarrollado teniendo los siguientes objetivos:

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad de los ríos Cachi, Pongora y Cachimayo, utilizando índices bióticos y de diversidad basados en la comunidad macroinvertebrada bentónica, durante los meses Abril a Agosto del 2010.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Determinar la composición y estructura de la comunidad macroinvertebrada bentónica presente en los ríos Pongora, Cachi y Cachimayo.
- b. Determinar la calidad de las aguas de los ríos Pongora, Cachi y Cachimayo, mediante el empleo de los índices bióticos BMWP (Biological Monitoring Working

Party), IBF (Índice Biótico de Familia) y EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera).

- c. Determinar la calidad de las aguas los ríos Pongora, Cachi y Cachimayo, mediante el empleo de los índices de diversidad Shannon-Weaner, Pielou y Simpson.
- d. Determinar las características fisicoquímicas (alcalinidad total, cloruro, conductividad, dióxido de carbono, dureza cálcica, dureza magnésica, dureza total, pH, sólidos disueltos totales, y nitrógeno amoniacal) de las aguas de los ríos Pongora, Cachi y Cachimayo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Avalos y col. (1983), determinaron que la calidad de las aguas del río Yucaes es buena para los peces, teniendo características fisicoquímicas de dureza ligera, alcalinidad elevada, pH neutro o ligeramente alcalino y la presencia de nutrientes especialmente silicatos. Así mismo determinaron los componentes bióticos reportando larvas de insectos acuáticos con predominancia del orden Ephemeroptera y Diptera, además de la fauna íctica representados por cuatro especies de las cuales tres son siluriformes (*Rhamdiasp*, *Pygidiumsp*, *Astroblepus sp* y un Characidae *Creagrutus cochi*).

Carrasco (2001), determinó la composición y estructura de la comunidad macroinvertebrada bentónica en los ríos Huatatas y Alameda, así como sus características físicoquímicas; señala que dichas características son muy variables en los ecosistemas lóticos, habiendo hallado para las aguas de los ríos en estudio las siguientes características:

- Oxígeno disuelto de 8.0 a 6.0mg/l

- Dióxido de carbono total de 1.5 a 4.0mg/l
- Dureza total de 38.0 a 71.8mg/l
- Alcalinidad total de 85.5 a 102.6mg/l
- Amonio de 0.55 a 3.5mg/l
- Fosfatos (ortofosfato) de 0.75 a 8.5mg/l
- pH de 8.0 a 9.25, sulfato de 0 a 150mg/l
- Turbidez (FTU) de 27.5 a 186

En cuanto a las características de la comunidad macroinvertebrada bentónica halló que estaba compuesta por una gran diversidad de organismos, con predominancia del Orden Diptera, Ephemeroptera, Plecoptera, Trycoptera y Megaloptera. Asimismo determinó que el índice de diversidad de Shannon-Weaner, estuvo comprendido entre los valores de 3.9 a 0.36.

Carrasco (2004), (Comunidad macroinvertebrada bentónica y su relación con la calidad de agua en cinco ríos de la provincia de Huamanga), determinó que "la comunidad macroinvertebrada bentónica estuvo compuesta por 3 phylums, 4 clases, 25 familias y 34 géneros (especies) para los cinco ríos, siendo muchos de los taxas en las zonas catalogadas como "aguas arriba" ya que estas zonas se hallan poco perturbadas en comparación con las zonas "aguas abajo" que se hallan muy perturbadas como consecuencias de los desechos que se agrega a los ríos generados en la ciudad de Ayacucho". Con respecto al IBF hallado, catalogó las zonas de muestreo ubicadas en los ríos estudiados, desde regulares, (río arriba) hasta muy malos (los que reciben impactos directo de la ciudad).

Guardia (2002), en la investigación titulada "Calidad físico-química, microbiológica y macroinvertebrados bentónicos del río Yucaes. Ayacucho 2001-2002", determinó que "la comunidad macroinvertebrada bentónica hallada en 4 puntos de muestreo a lo largo del río Yucaes estuvo compuesta por 2 phylums, 2 clases, 13 familias y 16 especies, siendo el phylum mas representativo la Artropoda y dentro de esta la clase insecta, con el orden Trychoptera la de mayor número de familia seguida por la Diptera y Ephemeroptera". Por otro lado el phylum Annelida presentó una sola clase, con un solo orden y una sola familia, así mismo los índices de diversidad que mostraron diferencias significativas fueron el de Shannon-Weaner y el de Pielou, con una diversidad media en la zona de río arriba. Así mismo determinó que las características físico-químicas y microbiológicas varían en el tramo evaluado, observándose una tendencia de incremento aguas abajo, con la excepción del oxígeno disuelto que decrece, lo que determina que la similitud sea mayor en las zonas de río arriba y menos río abajo.

2.2. CALIDAD DEL AGUA

El término "calidad", se refiere a la propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa que permiten apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de su especie (RALE, 2005).

La "calidad de agua" es relativa, cobra sentido en función del uso que se va dar al agua. Para decidir si un agua es apta para un propósito particular, debe cumplir los requisitos de calidad relacionados con su uso. El agua esta

contaminada cuando sufre cambios que modifican su uso real o potencial (CEPIS, 1995)

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, mientras que las aguas fecales en ningún caso podríamos considerarlas de calidad apropiada para la bebida, por los problemas sanitarios que conllevarían su uso, por su alto contenido en materia orgánica, podría resultar excelente para el riego de plantas ornamentales, o de plantaciones forestales (Alba, 1987)

2.3. MACROINVERTEBRADOS:

Son aquellos organismos que pueden observarse a simple vista, que habitan en el fondo de los lagos y ríos adheridos a sustratos tales como rocas, piedras, plantas acuáticas o enterradas en el sustrato (Roldan 1992); es decir aquellos que tienen un tamaño mayor a 0.5 mm, dentro de esta categoría tenemos representantes de varias taxas: poríferos, hidrozoo, turbelarios, oligoquetos, hirudíneas, insectos, crustáceos, gasterópodos y bivalvos. Debido a que estos organismos ocupan hábitat con las características ambientales a las que están adaptadas, las comunidades que conforman, tienen una composición y estructura característica, pero si varía esas condiciones, se refleja en el cambio de la composición y estructura. Por lo que muchos de sus integrantes se comportan como indicadores ecológicos (Roldan, 1992).

2.4. MACROINVERTEBRADOS COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DE AGUA.

En cualquier cuerpo de agua que haya sufrido procesos de contaminación, se observa una simplificación en las estructuras de las comunidades, las cuales cambian de complejas y diversas a comunidades bastante simples y poco diversas. En ese proceso se altera la cantidad de oxígeno disuelto, el pH, cantidad de iones disueltos y estos afectan gravemente a estos organismos. Es necesario conocer detalladamente la ecología de los diversos taxones de organismos acuáticos para poder determinar cuáles son los más afectados por los cambios o cuáles son los más tolerantes. La variación de las condiciones naturales del medio ambiente en sus aspectos físicos, químicos, causan variaciones en la estructura cuantitativa y cualitativa de las comunidades que habitan dichos lugares, siendo erradicadas las especies sensibles, manteniéndose las especies resistentes a los cambios ambientales, los que son denominados como indicadores, los que ocupan los nichos inalterados o los nichos creados por la contaminación. Sin embargo se puede afirmar que los efemerópteros, plecópteros y tricópteros son indicadores de aguas limpias y que los anélidos y ciertos dípteros son indicadores de aguas contaminadas (Nevel y, 1999).

2.5. LOS SISTEMAS DE BIOINDICACIÓN

Margalef (1951), se refiere a los "índices bióticos", siendo los más conocidos el BMWP y el índice de saprobiedad; 10 índices conocidos como "mediciones funcionales", donde se considera el tipo de función que desempeñan los

organismos de la comunidad, como por ejemplo: colectores, filtradores, trituradores, depredadores, etc. Por último se considera tres medidas denominadas "índices combinados" dentro de los cuales se mencionan el índice de la comunidad de macroinvertebrados, el promedio de puntaje biométrico y puntaje de la condición biológica.

De acuerdo con la literatura existente a partir de los años 50 la tendencia de la evaluación biológica ha sido la de producir índices. Como resultado se conocen actualmente cerca de 100 índices. Metcalf (1989) distingue tres enfoques principales para evaluar la respuesta a las comunidades de los macroinvertebrados a la contaminación. Estos son: El sapróbico, diversidad y biótico

a. ENFOQUE SAPRÓBICO

Se basa en la tolerancia a la contaminación de las especies indicadores presentes (Cairns, 1993). Basaron inicialmente su sistema en los microorganismos del plancton y del perifiton presentes en las corrientes de Europa Central. Posteriormente comenzaron a usarse los macroinvertebrados, los micrófitos y los peces.

El uso del Sistema Sapróbico, ha logrado mantenerse vigente desde su formulación, aunque ha sido objeto de constantes revisiones y modificaciones. Actualmente es muy utilizado en algunos países de la Europa central y oriental, hasta el punto que en países como Dinamarca (Cairns, 1993).

b. ENFOQUE DE LA DIVERSIDAD

Usa tres componentes de la estructura de la comunidad a saber; riqueza, uniformidad y abundancia para describir la respuesta de la comunidad a la calidad ambiental (Metcalf, 1989)

c. ENFOQUE BIÓTICO

Incluye los aspectos esenciales de la saprobiedad y de la diversidad, combinando una medida cuantitativa de diversidad de especies con la información cuantitativa sobre la sensibilidad ecológica de taxones individuales en una expresión numérica simple (Metcalf, 1989)

2.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIFERENTES GRUPOS DE ORGANISMOS ACUÁTICOS COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DE AGUA

Prat (1998), compara las ventajas y desventajas de las bacterias, los protozoos, las algas, los macroinvertebrados, las macrófitas (en términos de biomasa) y los peces. Debido a que los macroinvertebrados acuáticos por su tamaño son observables a simple vista, por ser de amplia distribución, poseer ciclos de vida relativamente largos y adaptarse la mayor parte de los grupos a características muy definidas de agua, han sido seleccionados por la mayor parte de los investigadores como los mejores indicadores de calidad de agua.

CUADRO Nº 1. Ventajas y desventajas de los diferentes métodos de bioindicación (Prat, 1998)

| | Organismos usados | Usos | Contaminación indicada | Ventajas | Desventajas |
|---------------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------|---|--|
| Especies Indicadoras macrofitas | Invertebrados tendencias algas | Impact. Puntuales Eutroficación básicos | M.O baratos acidificación | Simples uso local no equipos | Taxonomía Cambio nat. |
| Estudios comparativos | Invertebrados | Evaluación tendencias impactos | M.O eutroficación Tóxicos | Idem | Uso local cambio nat. |
| Método Microbiológico. | Bacterias | Impactos vigilancia | Salud M.O | Simples baratos salud | Resultados falsos (transporte) |
| Fisiología. Bioquímica | Invertebrados algas peces | Impactos advertencia | M.O eutroficación Tóxicos | Sensitivos medidas en continuo | Técnicas y conocimientos complejos |
| Bioensayo Test toxicidad | Invertebrados peces | Vigilanciaadvertenciaimpacto | M.O Pesticidas tóxicos | Rapidos simples continuo | Laboratorio diferente campo |
| Análisis Químico Organismos | Peces moluscos plantas | Impactos tendencias | Tóxicos pesticidas salud | Salud | Caros equipos complejos |
| Histología Morfología | Invertebrados peces | Impactos advertenciabasicos | Tóxicos pesticidas M.O | sensibles | complejidad |

CUADRO Nº 2. Apreciación de los diversos taxones como indicadores de la calidad del agua (Prat, 1998)

| Grupo | Porcentaje | | | |
|------------|--|-----|-----|-----|
| | 0% | 10% | 20% | 30% |
| Virus | xx | | | |
| Bacterias | xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx | | | |
| Hongos | xxxx | | | |
| Algas | xx | | | |
| Macrófitas | xxxxx | | | |
| Protozoos | xx | | | |
| Macroinv. | xx | | | |
| Peces | xxxxxx | | | |

CUADRO N° 3. Ventajas y desventajas de los diferentes grupos de organismos acuáticos como indicadores de la calidad de agua (Prat, 1998)

| Organismos | Ventajas | Desventajas |
|-------------------------|---|---|
| Bacterias | Crecimiento rápido Fácil cultivo | Incertidumbre viabilidad Tiempo de vida cortos |
| Protozoos | Fácil muestreo Sistema saprobios | Problemas de taxonomía Problemas deriva |
| Algas | Problemas de muestreo Cuantitativo. Eutrofia | No indica metales pesticida. Probl. |
| Taxonom. | Bien. | |
| Macroinvertebrados | Tiempo de vida largo Indicadores sencillos | Muestreo cuantitativo Grupos heterogéneos |
| Micrófitos (biomasa) | Visibles fácilmente Fácil muestreo | Cambios naturales Poca variedad |
| Peces | Mucha información Arriba red trófica | Movilidad Muestreo difícil |

2.7. CARÁCTERÍSTICAS DE UN BIOINDICADOR

Cuando se habla de características ideales de un bioindicador, se observa que solo unos pocos organismos podrían estrictamente llenar estos requerimientos. Para definir un bioindicador de calidad de agua, primero debe conocerse la flora y fauna acuática de una región motivo de estudio. Los macroinvertebrados son los de más amplia aceptación dadas las siguientes ventajas.

- Son abundantes, de amplia distribución y fáciles de recolectar
- Relativamente fáciles de identificar, si se comparan con otros grupos menores
- Son sedentarios en su mayoría y reflejan las condiciones locales
- Poseen ciclos de vida largo

- Varían poco genéticamente
- Son apreciables a simple vista
- Responden rápidamente a los tensores ambientales

Aceptación de los diversos taxas como indicadores de la calidad de agua (Metcalf, 1989).

2.8. ÍNDICES PARA ESTIMAR LA CALIDAD BIOLÓGICA DEL AGUA

La aplicación de índices bióticos a través de la utilización de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores, se ha desarrollado a nivel mundial, dentro de los índices más ampliamente aplicados se puede mencionar los siguientes: BMWP (Biomonitoring Working Party) adaptado y modificado a la fauna del sur occidente Colombiano por la Universidad del Valle (Zuñiga de Cardoso, 1997 en Dominguez&Fernandez 1998 citado por Leiva 2004), el índice EPT (Ephemeroptera, Plecóptera y Tricóptera) de Carrera y Fierro (2001), citado por Leiva 2004, aplicado en el río Angosturita en Argentina y el Índice Biótico de Familia (Hiinsenhoff, 1988)

Según Alba (1986), el procedimiento de la determinación de la calidad biológica del agua mediante el análisis de las comunidades biológicas que lo habitan, es llamada también como "monitoreo biológico", en la que los conocimientos de autoecología, sinecología e información taxonómica de especies o supraespecíficos se traduce en un índice, o valor que refleja la calidad biológica del agua. En la actualidad una de las más empleadas es el BMWP (Biomonitoring Working Party), siendo implementado en la mayoría de países de la comunidad Europea y en algunos Estados de Norteamérica, en la que no considera especies indicadoras, sino comunidades indicadoras.

A. ÍNDICE BIOLOGICAL MONITORING WORKING PARTY (BMWP):

EL índices BMWP (Biological Monitoring WorkingParty) modificado por Zuñiga de Cardoso (1997) en Domínguez y Fernández (1998), estableció en Inglaterra un método simple de puntaje para todos los grupos de macroinvertebrados identificados hasta nivel de familia y que requiere solo datos cualitativos (presencia / ausencia). El puntaje va de uno a diez de acuerdo a su tolerancia a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles (por ejemplo: Perlidae, Oligoneuridae) reciben una puntuación de 8; en cambio las más tolerantes a la contaminación (Oligochaeta) reciben una puntuación de 1. Familias intolerantes a la contaminación tienen puntajes altos y los tolerantes puntajes bajos. La suma de puntajes de todas las familias en un sitio dado da el puntaje BMWP total. El puntaje promedio por taxón ASPT (Average Score Per Taxon), el puntaje total BMWP dividido por el número de taxa, es un índice particularmente valioso para la evaluación del sitio. Los valores de puntaje para las familias individuales reflejan su tolerancia a la contaminación basadas en el conocimiento de la distribución y la abundancia.

Los macroinvertebrados a diferencia de otras comunidades, según Alba (1986), son buenos indicadores de contaminación debido a las siguientes consideraciones:

- Tienen patrones de movilidad muy limitado o son sésiles.
- Muchos de ellos tienen fases inmaduras con ciclos bastante largos, como el caso de los efemerópteros, plecópteros, etc.

CUADRO N° 4. Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del Biological Monitoring Working Party, modificado (BMWP) (Sánchez, 2005)

| Familias | Puntuación |
|--|------------|
| Ptilodactylidae, Calamoceratidae, Blephariceridae, Odontoceridae | 10 |
| Leptoceridae, Perlidae, Philopotamidae, Xiphocentromidae. | 8 |
| Coleoptera Sp ₁ , Isotomidae, Hebridae, Leptinidae, Limnephilidae, Hydrobiosidae, Oligoneuriidae, Glossosomatidae, Psephenidae, Helicopsychidae, Polycentropodidae, Cossidae. | 7 |
| Hyalellidae, Coleoptera Sp ₃ , Helolidae, Chordodidae, Hydroptilidae, Calopterygidae, Leptophlebiidae, Bibionidae. | 6 |
| Hydropsychidae, Simuliidae, Planariidae, Cicadellidae, Ostracoda, Gyrinidae, Belostomatidae, Dugesidae, Pyralidae, Libellulidae, Corydalidae, Dalyellidae, Aeshnidae, Sphaeriidae, Coenagrionidae, Ancyliidae, Leptohiphidae, Gomphidae. | 5 |
| Dixidae, Empididae, Dolichopodidae, Diptera Sp ₁ , Elmidae, Staphylinidae, Hydracarina, nematoda, Veliidae, Baetidae, Tipulidae, Gerridae, Caenidae, Haliplidae, Naucoridae, Pleidae, Decapoda, Noteridae, Palaemonidae, Curculionidae. | 4 |
| Ceratopogonidae, Psychodidae, Hydrophilidae, Glossiphoniidae, Physidae, Gelastocoridae, Planorbidae, Lymnaeidae, Hirudinae, Dytiscidae, | 3 |
| Chironomidae, Culicidae, Muscidae, Ephydriidae, Stratiomyidae. | 2 |
| Naididae, Tubificidae, Syrphidae, Aelosomatidae. | 1 |

CUADRO Nº 5. Clases de calidad, significado de los valores Biological Monitoring Working Party, modificado (BMWP) (Sanchez, 2005)

| Clase | Valor (BMWP') | Significado |
|-------|---------------|---|
| I | > 120 | Aguas muy limpias |
| | 101-120 | Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible |
| II | 61-100 | Son evidentes algunos efectos de contaminación |
| III | 36-60 | Aguas contaminadas |
| IV | 16-35 | Aguas muy contaminadas |
| V | < 15 | Aguas fuertemente contaminadas |

B. ÍNDICE EPT (EPHEMEROPTERA, PLECOPTERA, TRYCHOPTERA):

De la gran diversidad de organismos que podemos encontrar como fauna macroinvertebrada bentónica de un río, los artrópodos son los más importantes, su presencia es de aproximadamente un 80%. Dentro de estos, los tres grupos más utilizados como indicadores de aguas no contaminadas son Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (Plafkin, 1989).

El análisis EPT se realizará mediante la utilización de estos tres grupos de macroinvertebrados que son indicadores de la calidad de agua, debido a que son más sensibles a la contaminación (Plafkin, 1989).

Finalmente la calidad ambiental de las aguas determinada en base a éste índice se expresa en cuatro clases de aguas, tal como se muestra en la siguiente tabla:

CUADRO Nº 6. Calidad de agua para índices Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT) (Plafkin, 1989).

| | Índice EPT (%) | Calidad del Agua |
|---|----------------|------------------|
| 1 | 75 - 100 | Muy Buena |
| 2 | 50 - 74 | Buena |
| 3 | 25 - 49 | Regular |
| 4 | 0 - 24 | Mala |

C. ÍNDICE BIÓTICO DE FAMILIA (IBF)

Esta metodología fue desarrollada por Chutter (1972) para ríos de Sudáfrica y levemente modificada por Hilsenhoff (1988). Este índice es muy útil en el análisis de la calidad del agua y de fácil cálculo, debido a que necesita la identificación de la comunidad solo a nivel de familia. Para aplicar esta metodología se debe tener la siguiente información: taxonomía de los organismos a nivel de familia, sus respectivas abundancias y los puntajes de tolerancia, para luego aplicar la siguiente fórmula:

$$IBF = \frac{\sum n_i t_i}{N}$$

Donde:

N : Número total de organismos en la muestra

n_i : Número de individuos en una familia

t_i : Puntaje de tolerancia de cada familia

CUADRO N° 7. Puntajes de tolerancia de los macroinvertebrados según el Índice Biótico de Familia (IBF) (Hilsenhoff, 1988).

| ORDEN O CLASE | FAMILIA | VALOR TOLERANCIA |
|----------------|------------------------|------------------|
| DIPTERA | Athericidae | 2 |
| | Blephariceridae | 0 |
| | Ceratopogonidae | 6 |
| | Chironomidae (rojos) | 8 |
| | Chironomidae (rosados) | 6 |
| | Dolichopodidae | 4 |
| | Empididae | 6 |
| | Muscidae | 6 |
| | Psychodidae | 10 |
| | Simuliidae | 6 |
| | Tabanidae | 6 |
| PLECOPTERA | Tipulidae | 3 |
| | Gripopterygiidae | 1 |
| EPHEMEROPTERA | Perlidae | 1 |
| | Baetidae | 4 |
| | Leptophlebidae | 2 |
| COLEOPTERA | Trycorythidae | 4 |
| | Helmidae | 4 |
| MEGALOPTERA | Psephenidae | 4 |
| | Corydalidae | 3 |
| TRYCOPTERA | Sialidae | 4 |
| | Glossosomatidae | 0 |
| | Helicopsychidae | 3 |
| | Helicophidae | 6 |
| | Hydropsychidae | 4 |
| | Hidrobiosidae | 0 |
| | Hydroptilidae | 4 |
| Leptoceridae | 4 | |
| BASOMMATOPHORA | Amnicolidae | 6 |
| | Lymnaeidae | 6 |
| | Physidae | 8 |
| | Chiliniidae | 6 |
| HAPLOTAXIDA | | 10 |
| LUMBRICULIDA | | 8 |
| HIRUDINEA | | 10 |

Luego los valores del IBF se expresan en 7 clases de calidad.

CUADRO Nº 8. Valores del Índice Biótico de Familia expresados en 7 clases de calidad de agua (Hilsenhoff, 1988).

| CLASE | RANGOS DEL IBF | CALIDAD DEL AGUA | COLOR |
|-------|----------------|--------------------|----------|
| I | < 3.75 | Excelente | Celeste |
| II | 3.76 - 4.25 | Muy bueno | Azul |
| III | 4.26 - 5.0 | Buena | Verde |
| IV | 5.01 - 5.75 | Regular | Amarillo |
| V | 5.76 - 6.50 | Relativamente mala | Café |
| VI | 6.51 - 7.25 | Mala | Naranja |
| VII | > 7.26 | Muy mala | Rojo |

2.9 ÍNDICE DE DIVERSIDAD

Los índices de diversidad son expresiones matemáticas que usan tres componentes de la estructura de la comunidad: riqueza, equitatividad y abundancia para describir la respuesta de una comunidad a la calidad de su ambiente. La suposición del uso de los índices diversidad para el diagnóstico de ecosistemas es que los ambientes no alterados se caracterizan por tener una alta diversidad o riqueza, una distribución uniforme de individuos entre las especies y una moderada o alta cantidad de individuos. En ambientes contaminados con desechos orgánicos degradables, la comunidad generalmente responde con un descenso de la diversidad con pérdida de organismos sensibles, aumento en la abundancia de los organismos tolerantes las cuales tienen una fuente enriquecida de alimentos y un descenso de la

equitatividad. En contraste la respuesta a tóxicos no degradables o polución ácida, se traduce en un descenso tanto de la diversidad como de la abundancia así como en la eliminación de organismos sensibles además que no hay fuentes adicionales de alimento para las formas tolerantes (Margalef, 1972).

a. ÍNDICE DE SIMPSON (λ): Es considerado como una medida de dominancia, ya que se pondera según la abundancia de las especies más comunes, a partir de una medida de riqueza de especies (Magurran, 1988).

Expresa la probabilidad de que dos individuos tomados al azar sean de la misma especie (Moreno, 2001).

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Siendo $P_i = n_i / N$, donde n_i es el número de individuos de la especie "i" y N es la abundancia total de las especies.

Este índice está fuertemente influido por la importancia de la especie más abundante y es menos sensible a la riqueza de especies (Magurran, 1988).

Tiene la característica de que a medida que se incrementa, la diversidad decrece, sin embargo como su valor es inverso a la equidad la diversidad puede calcularse como $1 - \lambda$

b. ÍNDICE DE SHANNON-WEANER (H): Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección, procede de la teoría de la información y se expresa como:

$$H' = -\sum p_i \ln_2 p_i$$

Siendo p_i la proporción de individuos de la especie i, es decir $p = n_i / N$.

Para el cálculo de este índice, se considera que los individuos deben ser muestreados al azar a partir de una población infinitamente grande, así como que todas las especies estén representadas en la muestra. Adquiere valor de cero cuando hay una sola especie y el logaritmo de S cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos. Los valores que presentan suelen hallarse entre 1.5 y 3.5 y raramente sobrepasa 4.5 (Margalef, 1972 citado por Magurran, 1988)

El valor máximo que adquiere en los ríos para las comunidades de invertebrados bénticos es de 4,5. Valores inferiores a 2,4-2,5 indican que el sistema está sometido a tensión (vertidos, dragados, canalizaciones, regulación por embalses, etc). Es un índice que disminuye mucho en aguas muy contaminadas. Por tanto, cuanto mayor valor tome el índice de Shannon-Wiener, mayor calidad tendrá el agua objeto de estudio (Zamora, 1999).

c. ÍNDICE DE PIELOU (J): Mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad y esta representada mediante la ecuación:

$$J = \frac{H'}{H'_{max}}$$

Donde H' es el índice de diversidad de Shannon-Wiener y H'_{max} es la diversidad en la que toda la especie fueran igualmente abundantes, su valor va de 0 a 1.0 donde 1.0 representa una situación en la que todas las especies presentes son igualmente abundantes (Margalef, 1972).

2.10. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL AGUA

a. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

Las corrientes transportan materiales, principalmente sólidos disueltos o sólidos suspendidos. Los primeros se refieren a la materia orgánica en forma iónica y los segundos, a la materia orgánica como detritus y de origen aluvial como restos de rocas, arcilla, arena y similares. Los sólidos suspendidos pueden verse a simple vista como pequeñas partículas y son los que dan turbiedad al agua. Desde el punto de vista ecológico, aguas con elevadas cantidades de sólidos disueltos indican alta conductividad que puede ser un factor limitante para la vida de muchas especies por estar sometidas a una presión osmótica. Por su parte un alto contenido de sólidos en suspensión o alta turbiedad, también es limitante para el ecosistema acuático ya que impide el paso de los rayos solares, daña y tapona el sistema de intercambio gaseoso en los animales acuáticos y destruye su hábitat natural (Roldán, 1992).

b. ALCALINIDAD

La alcalinidad indica la cantidad de cambio que ocurrirá en el pH con la adición de cantidades moderadas de ácido. Debido a que la alcalinidad de la mayoría de las aguas naturales está compuesta casi íntegramente de iones de bicarbonato y de carbonato, las determinaciones de alcalinidad pueden dar estimaciones exactas de las concentraciones de estos iones. Los iones de bicarbonato y de carbonato son algunos de los iones dominantes presentes en las aguas naturales; por lo tanto, las mediciones de alcalinidad proporcionan información sobre las relaciones de los iones principales y la evolución de la química del

agua. Este parámetro está íntimamente ligado con las formas en la cual se encuentran el dióxido de carbono. Cuando el CO_2 penetra en el agua, rápidamente se hidrata formando el ácido carbónico (Miller, 1994).

c. CLORUROS

Los cloruros ocupan un tercer lugar del porcentaje de los aniones en el agua, estos por lo general expresan la salinidad, por lo mismo es un factor importante en la distribución geográfica de los organismos. La determinación de los cloruros es una prueba relativamente sencilla: se utiliza el cromato de potasio como indicador (amarilla) y se titula con nitrato de plata hasta la obtención de un color anaranjado o rojo ladrillo (Roldán, 1992).

d. DUREZA TOTAL

En las aguas continentales está determinada por la concentración de metales alcalinotérreos originados por depósitos calcáreos de la superficie terrestre. Los iones de calcio y magnesio se combinan fácilmente con los bicarbonatos y carbonatos, dando origen a la dureza temporal y con los sulfatos, cloruros, nitratos lo que se conoce como dureza permanente. Debido a que en las aguas naturales los iones más comunes son los de Ca^{2+} y Mg^{2+} la dureza se define como la concentración de estos iones expresados como carbonato de calcio (Cole, 1988).

e. pH

El agua pura se disocia débilmente en los iones H^+ y OH^- , sin embargo la constante de disociación es muy pequeña (10^{-14}) y las cantidades de H^+ y OH^- son de 10^{-7} iones-g/L. Las aguas naturales no son puras por lo que las sales,

bases y ácidos que en ella se encuentran, influyen en forma diversa sobre la concentración de H^+ y OH^- (Cole, 1988).

El pH es una expresión del carácter ácido o básico de un sistema acuoso, en un sentido estricto, es una medida de la concentración molar del ion hidrogenión en un medio acuoso. Los conceptos de pH, alcalinidad y acidez se relacionan mutuamente debido a que el pH de la muestra, se utiliza como criterio para determinar si la capacidad amortiguadora de la muestra se mide en función de su acidez o en función de su alcalinidad; en este sentido los conceptos de pH, acidez y alcalinidad, se asemejan mucho a los de temperatura y calor (Margalef, 1983). El pH de las aguas naturales es regido en gran medida por la interacción de los iones H^+ , de la disociación de H_2CO_3 y los iones OH^- proveniente de la hidrólisis de los bicarbonatos. Sus valores oscilan entre 2 y 12, donde las aguas con valores inferiores a 4 provienen de regiones volcánicas que reciben ácidos minerales fuertes, así como debido a la oxidación de la piritita y arcillas. Las aguas naturales ricas en materia orgánica disuelta, presentan valores bajos de pH, especialmente en aquellas zonas donde predominan las turberas (Roldán, 1992).

f. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Es la expresión numérica de la capacidad del agua de transportar corriente eléctrica, que depende de la presencia de iones en el agua, de su concentración total, de su movilidad, de su carga o valencia y de las concentraciones relativas, así como de la temperatura de medición. Dentro de los factores que afectan el comportamiento de los iones en la solución, las atracciones y repulsiones eléctricas entre iones y la agitación térmica, son quizá los más importantes. Estos efectos se expresan a través de un

parámetro conocido como Fuerza iónica de la solución(μ). Las soluciones de la mayoría de los ácidos, bases y sales inorgánicas, son relativamente buenos conductores de la corriente eléctrica. Inversamente, las soluciones acuosas de solutos orgánicos, que no se disocian o se disocian muy poco en el agua, presentan conductividades eléctricas muy bajas o similares a las del agua pura. En la mayoría de las soluciones acuosas, cuanto mayor es la concentración de las sales disueltas, mayor es su conductividad eléctrica. La temperatura también influye en los valores de conductividad, puede variar de unión a otro, en general se acepta que ésta aumenta en promedio 3%, por cada grado centígrado que aumenta la temperatura (Millar, 1994).

2.11. ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA EL AGUA

El ministerio del ambiente dentro de las normas que le confiere la ley aprobó los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el agua en el Perú DS N° 002-2008-MINAM, (Cuadro N° 9), con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no presentan riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Cuadro N° 9. Estándares nacionales de calidad ambiental para el agua categoría 4, conservación del ambiente acuatico

| PARÁMETROS | UNIDADES | LAGUNAS Y LAGOS | RIOS | | ECOSISTEMAS MARINO COSTEROS | |
|--|-------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------|
| | | | COSTA Y SIERRA | SELVA | ESTUARIOS | MARINOS |
| FRÍSCOS Y QUÍMICOS | | | | | | |
| Aceites y grasas | mg/L | Ausencia de película visible | Ausencia de película visible | Ausencia de película visible | 1 | 1 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | mg/L | <5 | <10 | <10 | 15 | 10 |
| Nitrógeno Amoniacoal | mg/L | <0,02 | 0,02 | 0,05 | 0,05 | 0,08 |
| Temperatura | Celsius | | | | | de la 3 °C |
| Oxígeno Disuelto | mg/L | ≥5 | ≥5 | ≥5 | ≥4 | ≥4 |
| pH | unidad | 6,5-8,5 | 6,5-8,5 | | 6,8-8,5 | 6,8-8,5 |
| Sólidos Disueltos Totales | mg/L | 500 | 500 | 500 | 500 | |
| Sólidos Suspensivos Totales | mg/L | ≤25 | ≤25-100 | ≤25-400 | ≤25-100 | 30,00 |
| INORGÁNICOS | | | | | | |
| Arsénico | mg/L | 0,01 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Bario | mg/L | 0,7 | 0,7 | 1 | 1 | — |
| Cadmio | mg/L | 0,001 | 0,004 | 0,004 | 0,005 | 0,005 |
| Cianuro Libre | mg/L | 0,022 | 0,022 | 0,022 | 0,022 | — |
| Clorofila A | mg/L | 10 | — | — | — | — |
| Cobre | mg/L | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,05 | 0,05 |
| Cromo VI | mg/L | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Fenoles | mg/L | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | |
| Fosfatos Total | mg/L | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,031-0,053 |
| Hidrocarburos de Petróleo Aromáticos Totales | Ausente | | | | Ausente | Ausente |
| Mercurio | mg/L | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,001 | 0,0001 |
| Nitritos (N-NO2) | mg/L | 5 | 10 | 10 | 10 | 0,07-0,28 |
| INORGÁNICOS | | | | | | |
| Nitrógeno Total | mg/L | 1,6 | 1,6 | | — | — |
| Níquel | mg/L | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,002 | 0,0082 |
| Plomo | mg/L | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,008 | 0,0081 |
| Silicatos | mg/L | — | — | — | — | 0,14-0,7 |
| Sulfuro de Hidrógeno (H2S inoxidizable) | mg/L | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,06 |
| Zinc | mg/L | 0,03 | 0,03 | 0,3 | 0,03 | 0,081 |
| MICROBIOLÓGICOS | | | | | | |
| Coliformes Termotolerantes | (NMP/100mL) | 1000 | 2000 | | 1000 | ≤30 |
| Coliformes Totales | (NMP/100mL) | 2000 | 3000 | | 2000 | |

NOTA : Aquellos parámetros que no tienen valor asignado se debe reportar cuando se dispone de análisis.

Dureza: Medir "dureza" del agua muestreada para contribuir en la interpretación de los datos (metodología recomendada: APHA-AWWA-WPCF 2380C)

Nitrógeno total: Equivalente a la suma del nitrógeno Kjeldahl total (Nitrógeno orgánico y amoniacoal), nitrógeno en forma de nitrato y nitrógeno en forma de nitrato (NO3)

Amonio: Como NH4 no ionizado

NMP/100 mL: Número más probable de 100 ml.

Ausente: No deben estar presentes a concentraciones que sean detectables por olor, que afecten a los organismos acuáticos comestibles, que puedan formar depósitos de sedimentos en la superficie o en el fondo, que puedan ser detectados como película visible en la superficie o que sean nocivos a los organismos acuáticos presentes.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio estuvo comprendida en el distrito de Pacaycasa, en las zonas aledañas a la unión de los ríos Pongora y Cachi, así como la resultante de dicha unión (Cachimayo), posteriormente se une al río Mantaro (anexo 13), formando la cuenca del mismo nombre, el cual forma parte de la vertiente del Atlántico. A lo largo de los tres ríos mencionados se ubicaron seis zonas de muestreo. La ubicación de las coordenadas geográficas y la altitud de las zonas de muestreo fueron determinadas con un equipo de posicionamiento global (GPS, eTrex Vista Cx con margen de error+- 3m)

Cuadro N° 10. Ubicación geográfica de los seis puntos de muestreo en los ríos Pongora, Cachi y Cachimayo.

| Zonas de Muestreo | Puntos | Ubicación Geográfica (UTM) | Altitud (msnm) |
|-------------------|--------|----------------------------|----------------|
| Río Pongora | 1 | 0579566E | 2429 |
| | | 8554649N | |
| | 2 | 0579132 E | 2416 |
| | | 8554814 N | |
| Río Cachi | 1 | 0578516 E | 2459 |
| | | 8554641 N | |
| | 2 | 0578792 E | 2427 |
| | | 8554852 N | |
| Río Cachimayo | 1 | 0578948 E | 2460 |
| | | 8555331 N | |
| | 2 | 0578840 E | 2422 |
| | | 8555518 N | |

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN:

Comunidad macroinvertebrada de tres sistemas lóticos que fueron ubicados en zonas aledañas a la confluencia de los ríos Cachi y Pongora, de cuya unión nace el río Cachimayo

3.2.2. MUESTRA:

30 muestras de comunidad macroinvertebrada bentónica, las que fueron colectados en dos zonas de cada río con una frecuencia mensual desde abril a agosto del 2010 y 15 muestras de agua de los ríos distribuidos de la siguiente forma: Pongora (5), Cachi (5) y Cachimayo (5).

3.3. SISTEMA DE MUESTREO Y TOMA DE DATOS

3.3.1. MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS BENTÓNICOS

Para la toma de estas muestras, se buscó en cada uno de los puntos de muestreo, homogeneidad según el tipo de sustrato, velocidad de la corriente y profundidad, en cuanto al tamaño de los componentes del sustrato, en una profundidad de (20 a 40 cm.). Los muestreos se realizaron utilizando una red tipo Surber, con un área de muestreo de 0,12 m² (30 x 40 cm) y con una luz de malla de 0,5 mm., considerando tres submuestras por cada zona procurando ser ubicadas en puntos representativos (orillas y parte central), los cuales fueron posteriormente homogenizadas

El proceso de toma de muestras se realizó colocando la boca de la red en contra de la corriente de agua y con la ayuda de las manos se removió los componentes del lecho con la finalidad de que los organismos adheridos o bajo ellos, sean arrastrados por la corriente hacia el fondo de la red. Una vez colectados fueron colocados en bolsas de plástico rotulado para su identificación, a los cuales se les agregó alcohol al 90%, para posteriormente ser trasladados al laboratorio donde fueron seleccionados del resto de material indeseable.

Los organismos seleccionados fueron colocados en frascos viales considerando las semejanzas morfológicas y conservadas con alcohol 90%.

Con ayuda de microscopios y estereoscopios, para la visualización de características de importancia taxonómica, se procedió a su identificación llegando hasta la categoría de género empleándose las claves taxonómicas de Fernández y Domínguez (2001) y Roldan (1996), los que permitieron los cálculos. En este proceso también se determinaron las abundancias por cada taxón identificado.

3.3.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS MUESTRAS DE AGUA

Las muestras de agua se colectaron en frascos de polietileno, de aproximadamente de 0,7 litros para las determinaciones fisicoquímicas. El procedimiento de colección fue sumergiendo los frascos en la parte media del curso del agua, haciendo que ingrese cuidadosamente el agua sin producir mucha turbulencia. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio dentro de las dos horas posteriores a la toma de muestra. Con la finalidad de reducir al mínimo las posibles variaciones de las características del agua, desde la toma de muestra hasta su análisis, los frascos colectores fueron completamente llenados con la muestra de agua y cerrados herméticamente.

CUADRO Nº 11. Parámetros fisicoquímicos analizados:

| Párametro | Unidad | Método | Comentario |
|---------------------------|------------------------|----------------|---|
| Alcalinidad total | mg/L CaCO ₃ | Volumétrico | Titulación H ₂ SO ₄ |
| Cloruros | mg Cl/L | Volumétrico | Titulación AgNO ₃ |
| Conductividad eléctrica | μS/cm | Electrométrico | |
| Dureza Total | mg/L CaCO ₃ | Volumétrico | Titulación EDTA |
| Dureza Magnésica | mg/L Mg | Volumétrico | Titulación EDTA |
| Dureza Cálcica | mg/L Ca | Volumétrico | Titulación EDTA |
| pH | | Peachímetro | |
| Sólidos Disueltos Totales | mg/L | Conductímetro | |
| Nitrógeno amoniacal | mg/L | Comparativo | |

3.4. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Con las medidas de las variables consideradas, se construyó una base de datos en el software SPSS 12, para posteriormente ser procesados y analizados; así mismo se empleó el MÍNITAB 10. Obteniéndose estadísticos descriptivos de tendencia central y dispersión. Dentro de los análisis estadísticos más especializados fueron:

- a. Prueba de comparación de medias de Kruskal- Wallis: Con la finalidad de detectar posibles diferencias entre las zonas de muestreo, para las características fisicoquímicas del agua, abundancia, e índices bióticos y de diversidad.
- b. Análisis de conglomerados: Con la finalidad de agrupar las zonas de muestreo en base a las características de la comunidad macroinvertebrada bentónica y de las características del agua que presentaron; para la obtención de información de los patrones de distribución de las zonas y de los taxones hallados. Para el análisis entre zonas se empleó una matriz Q (directa) y para el análisis de los taxones una matriz R (inversa), tal como lo señala Margalef (1977) y Ramírez (1999). La medida de similitud empleada fue la Distancia Eucladiana cuya fórmula matemática está representada por:

$$\sqrt{\sum (X_{ij} - X_{ik})^2}$$

Así mismo el algoritmo de clasificación fue el jerárquico acumulativo empleando el método de distancia mínima eucladiana. Previo a éste análisis los datos de las abundancias de los taxones fueron transformados empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Ln}(X + 1)$$

Donde X representa la abundancia, esto se hizo con la finalidad de reducir la incidencia de los valores más grandes (especies dominantes), Gree, 1979 citado por Ramírez (1999).

También se empleó el software PAST, para que a partir de la composición y abundancia de los taxones en la comunidad macroinvertebrada bentónica, se

calculó los valores de la diversidad Alfa, Shannon-Wiener, Equidad de Pielou y Simpson para cada zona de muestreo, los que finalmente fueron promediados

IV. RESULTADOS

Cuadro N° 12. Composición y estructura de la comunidad macroinvertebrada bentónica presentes en los ríos Pongora, Cachi y Cachimayo. Ayacucho, 2010.

| Phylum | Clase | Orden | Familia | Genero | RÍOS MUESTREADOS | | |
|-----------|-------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|---------------|-------------|
| | | | | | Río Cachi | Río Cachimayo | Río Pongora |
| Artrópoda | Insecta | Diptera | Simuliidae | Sp1 | 517 | 530 | 934 |
| | | | Chironomidae | Sp1 | 418 | 299 | 376 |
| | | | | Sp2 (rosado) | 0 | 18 | 30 |
| | | | Muscidae | Sp1 | 0 | 3 | 18 |
| | | Ephemeroptera | Baetidae | Baetodes | 193 | 256 | 68 |
| | | | | Americabaetis | 2383 | 1559 | 71 |
| | | | | Andeslops | 34 | 12 | 47 |
| | | | | Camelobaetidius | 15 | 32 | 0 |
| | | | Leptohyphidae | Leptohyphes | 409 | 157 | 4 |
| | | | | Leptohyphodes | 7 | 3 | 1 |
| | | Leptophlebiidae | Meridialaris | 1 | 0 | 0 | |
| | | Coleoptera | Elmidae | Macrelmis | 5 | 8 | 73 |
| | | | | Pagelmis | 1 | 0 | 15 |
| | | | Spercheidae | Sp1 | 3 | 0 | 3 |
| | | Megaloptera | Corydalidae | Corydalus | 51 | 26 | 20 |
| | | Trichoptera | Glossomatidae | Mortoniella | 38 | 52 | 174 |
| | | | Hidropsichidae | Smycridea | 222 | 99 | 4 |
| Mollusca | Gastropoda | Basommatophora | Physidae | Physa | 32 | 28 | 96 |
| | | | Lymnaeidae | Lymnaea | 0 | 1 | 0 |
| Annelida | Oligochaeta | Haplotaxida | Tubificidae | Tubifex | 0 | 0 | 13 |
| | Hirudinea | Glossiphoniidae | Hirudinea | Sp1 | 0 | 0 | 1 |

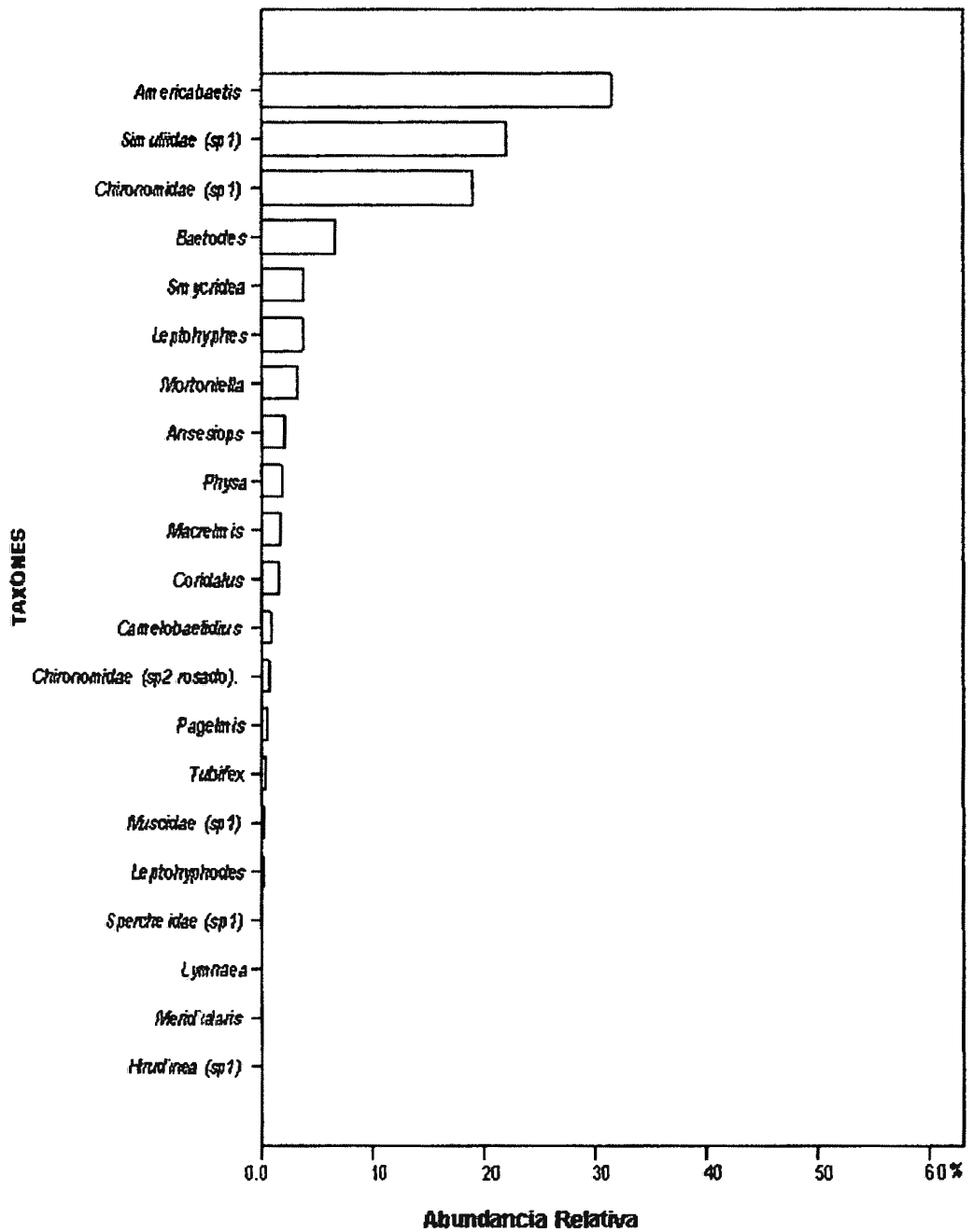


Gráfico Nº 01. Abundancia relativa de taxones de la comunidad macroinvertebrada bentónica presentes en los tres ríos Pongora, Cachi y Cachimayo. Ayacucho, 2010.

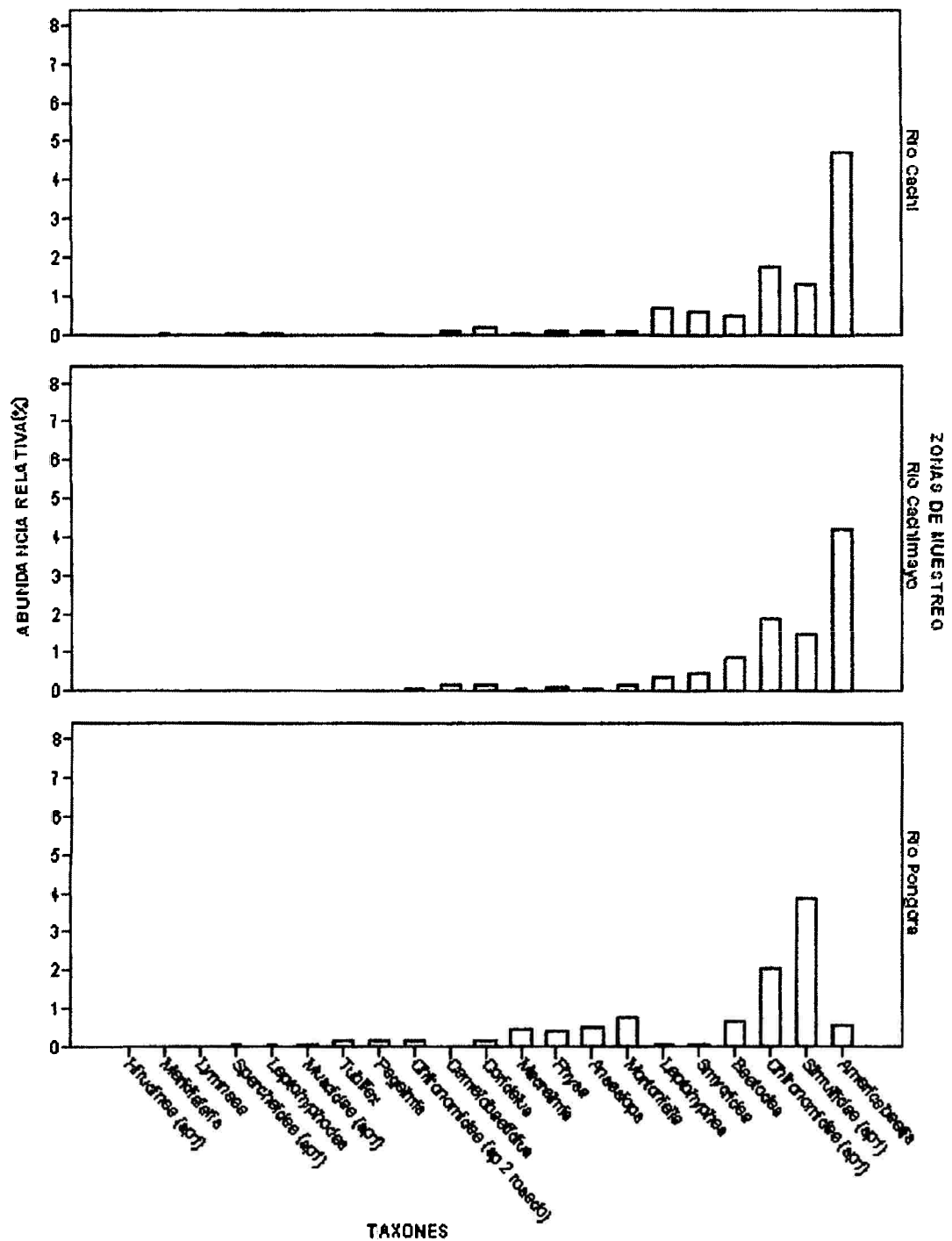


Gráfico Nº 02. Abundancia relativa de taxones de la comunidad macroinvertebrada presentes en los ríos Cachi, Cachimayo y Pongora. Ayacucho, 2010.

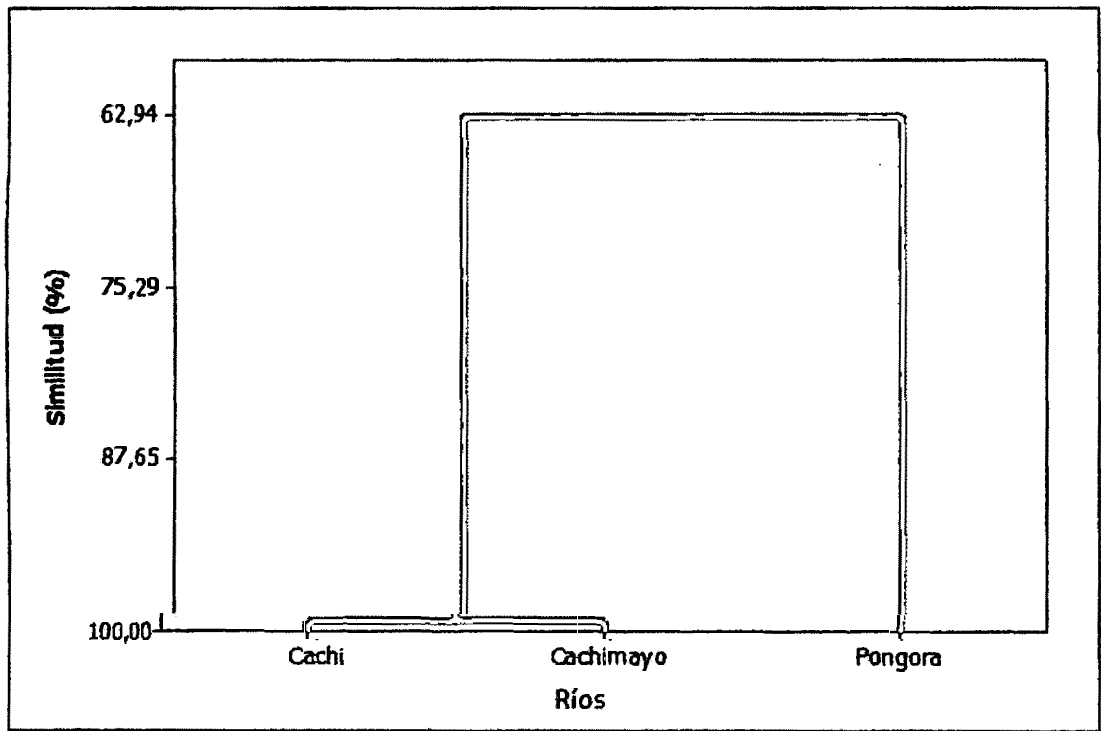


Gráfico Nº 04. Dendrograma de similitud en función de la composición y estructura de la comunidad macroinvertebrada bentónica, para los ríos Pongora, Cachi y Cachimayo. Ayacucho, 2010.

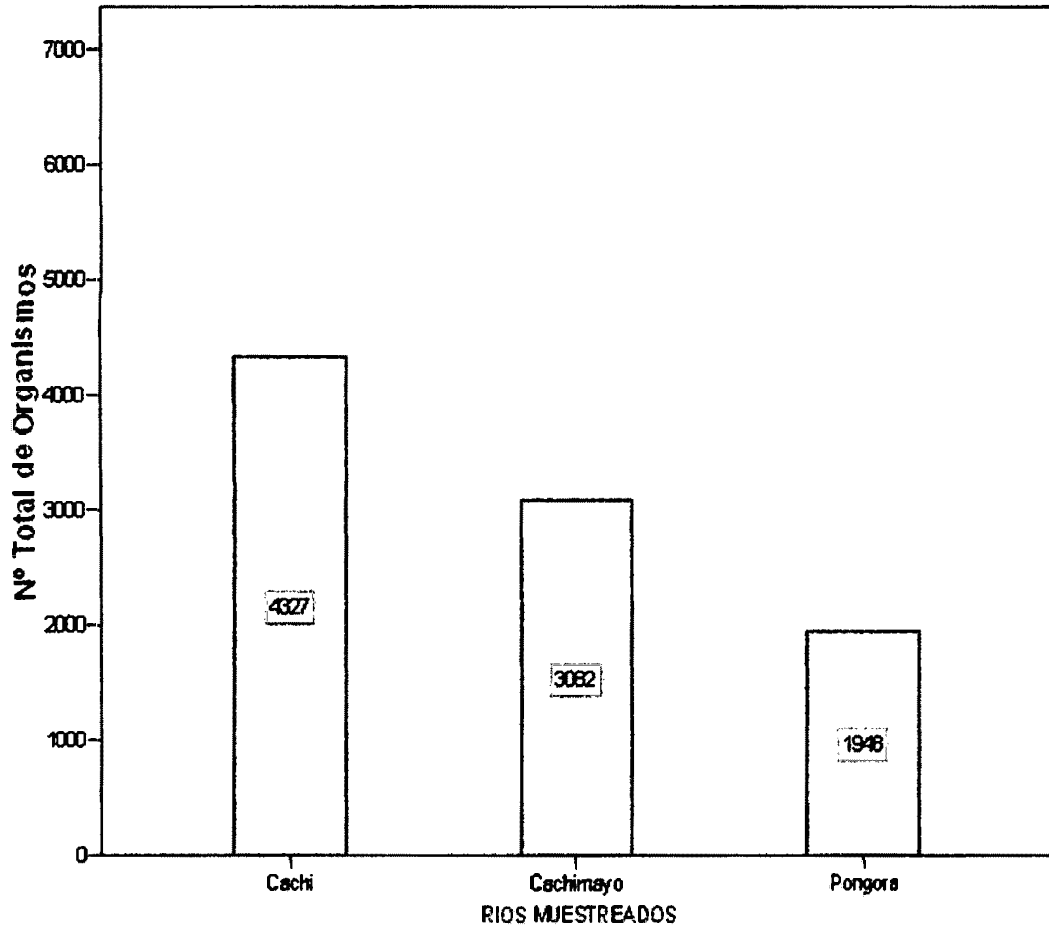


Gráfico N° 05. Número total de macroinvertebrados bentónicos colectados en los ríos Pongora, Cachi y Cachimayo. Ayacucho, 2010.

Cuadro N° 13. Clases de calidad de agua para los índices bióticos (IBF, Índice Biótico de Familia; EPT, Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera; BMWP, Biological Monitoring Working Party), determinados para los ríos Pongora, Cachi y Cachimayo. Ayacucho, 2010.

| Ríos | CALIDAD DE AGUA | | |
|-----------|-----------------|-----------------|------------|
| | Índice IBF | Índice BMWP | Índice EPT |
| Pongora | Muy mala | Muy contaminada | Mala |
| Cachi | Muy mala | Muy contaminada | Regular |
| Cachimayo | Muy mala | Muy contaminada | Regular |

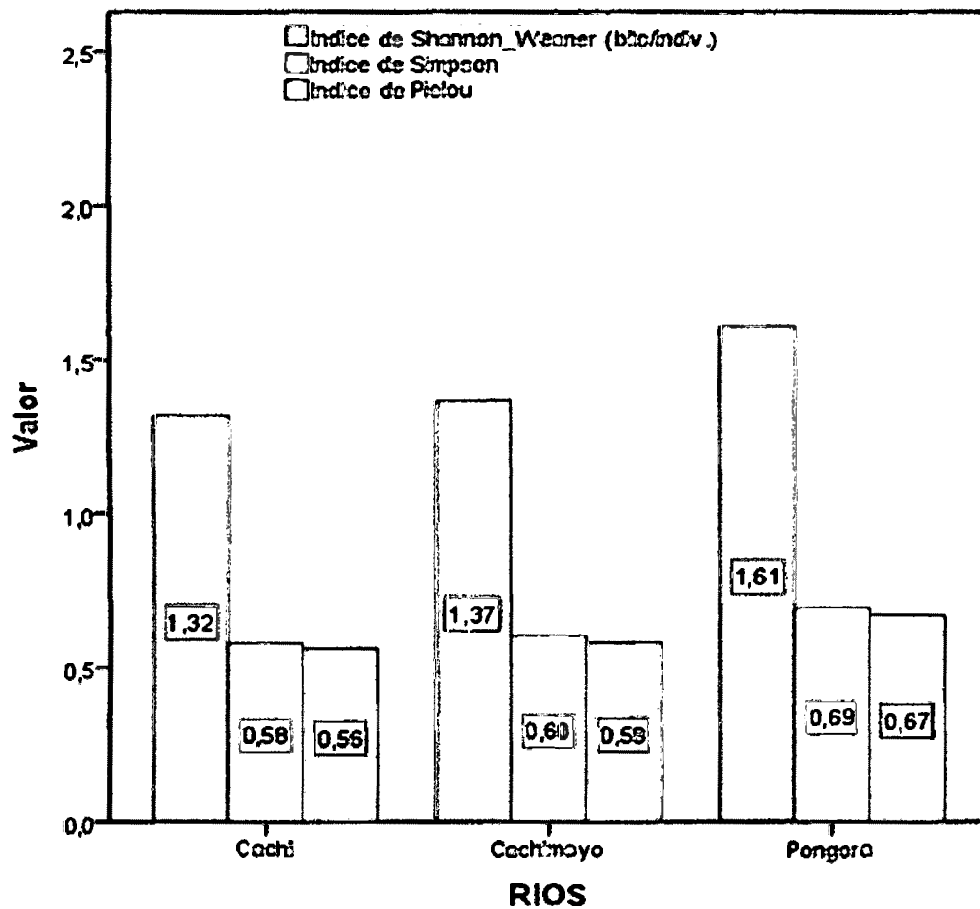


Gráfico Nº 07. Valores promedios de los índices de diversidad (Shannon-Weaner, Simpson y Pielou), determinados en la comunidad macroinvertebrada bentónica presentes en los ríos Pongora, Cachi y Cachimayo. Ayacucho, 2010.

Cuadro N° 14. Indicadores de calidad de agua para el índice Shannon-Weaner modificado (Zamora, 1999), determinados para los ríos Pongora, Cachi y Cachimayo. Ayacucho, 2010.

| Ríos | Indicador |
|-----------|--------------------|
| Cachi | Sometido a Tensión |
| Cachimayo | Sometido a Tensión |
| Pongora | Sometido a Tensión |

Cuadro N° 15. Características fisicoquímicas promedios, determinado en las aguas de los ríos Cachi, Cachimayo y Pongora. Ayacucho, 2010.

| CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS | RÍOS MUESTREADOS | | |
|---|------------------|-------|---------|
| | Cachimayo | Cachi | Pongora |
| pH | 8,5 | 8,4 | 8,1 |
| Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L) | 64,4 | 68,0 | 88,8 |
| Dureza Total (mg CaCO ₃ /L) | 150,0 | 172,4 | 126,8 |
| Dureza Cálcica (mg Ca/L) | 101,6 | 107,2 | 91,6 |
| Dureza Magnésica (mg Mg/L) | 48,4 | 65,2 | 35,2 |
| Cloruros (mg Cl/L) | 32,9 | 35,1 | 24,7 |
| Nitrógeno Amoniacal (mg NO ₃ /L) | 0,5 | 0,7 | 2,1 |
| Conductividad Eléctrica (µS/cm) | 469,8 | 514,6 | 460,0 |
| Sólidos disueltos totales (mg/L) | 233,6 | 257,2 | 227,6 |

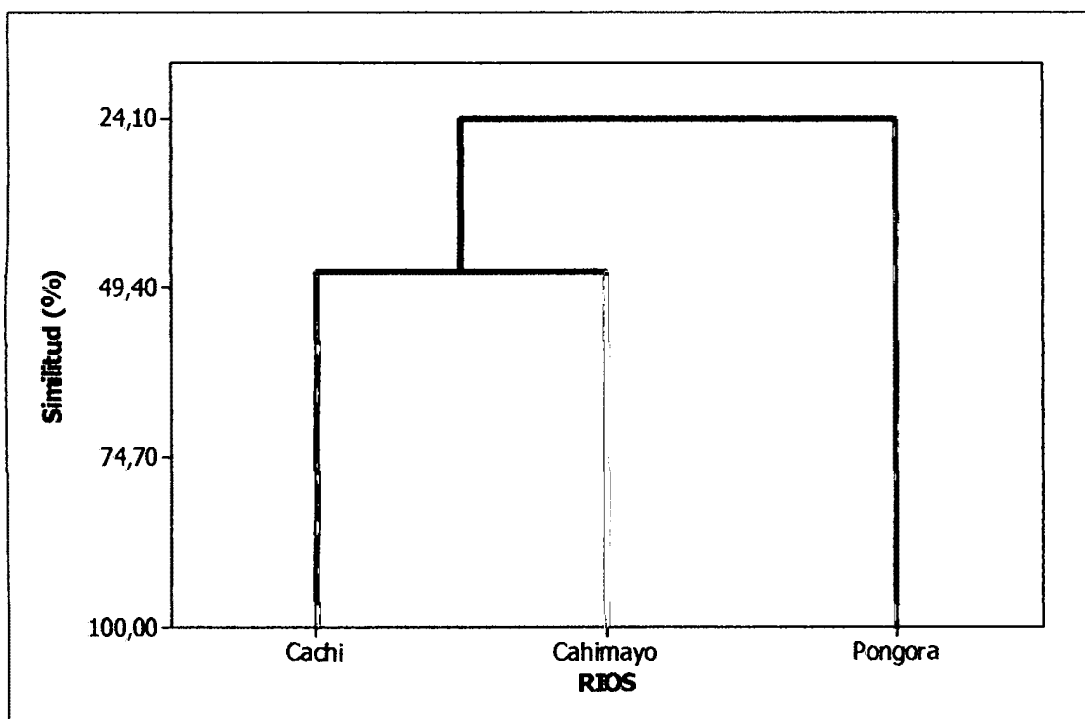


Gráfico Nº 08. Dendrograma de similitud en función de las características fisicoquímicas del agua, para los ríos Pongora, Cachi y Cachimayo. Ayacucho, 2010.

V. DISCUSIÓN

5.1 COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD MACROINVERTEBRADA BENTÓNICA

La composición y estructura promedio de la comunidad macroinvertebrada bentónica de los tres ríos muestreados se muestra en el Cuadro N° 12, destacando la presencia de los organismos pertenecientes a 3 phylum, 4 clases, 15 familias y 21 géneros. Cabe resaltar que en muchos de ellos no se confirmó fehacientemente las especies al cual pertenecen, debido a la falta de bibliografía especializada, por lo que se consideró los géneros (morfotipos), con la finalidad de facilitar los cálculos posteriores.

El phylum más representativo hallado fue la Arthropoda y dentro de ésta la clase Insecta, que reúne dentro de sí la gran mayoría de los taxones hallados, siendo el orden Ephemeroptera seguida de la Diptera, Coleptera, Trichoptera y Megaloptera, los que muestran el mayor número de familias y géneros. Por otro lado, el phylum Mollusca presentó una sola clase con una orden y dos familias, mientras que el phylum Annelida, presentó dos clases con dos órdenes y dos familias.

En el mismo cuadro se presenta el número medio de individuos para cada género, donde en forma general se observa diferentes valores según sea el río estudiado, donde al realizar la prueba de Kruskal-Wallis comparando la abundancia de los taxones según los ríos, en muchos casos se halló significancia estadística ($P < 0.05$), lo que quiere decir que su abundancia es diferente según el río, tal es el caso de Sp1 Simuliidae, Sp1 Chironomidae (rosado), Macrelmis, Pagelmis, Physa y Tubifex que se halló en mayor número en el río Pongora; mientras que Americabaetis, Leptohyphes y Smycridea se halló en mayor número en el río Cachi, estas preferencias por uno u otro hábitat se debe a que el río Pongora exista en su medio materia orgánica en suspensión, producto de la incorporación de las aguas de la planta de tratamiento "Totorá", permitiendo el desarrollo de los organismos, por otra parte en el río Cachi se observa también el mayor desarrollo de dichos organismos debido a sus características propias del río.

En cuanto a la abundancia relativa por género, el Gráfico N° 01 muestra que los más abundantes y por lo tanto los dominantes en la comunidad macroinvertebrada bentónica para los tres ríos fueron Americabaetis, Simulidae Sp1 y Chironomidae Sp1, que en su conjunto representan más del 72% del total, esto en razón que las tres primeras especies mencionadas, se encontraron en todas las zonas de muestreo y durante todo el tiempo de muestreo, además de que mostró diferencia significativa al realizar la prueba de Kruskal-Wallis (anexo 3), en cuanto a la abundancia de organismos para los géneros Americabaetis y Simulidae Sp1. Por otra parte, destaca el hecho de que la especie perteneciente al orden Ephemeroptera y Díptera de la clase Insecta, son dominantes, reafirmando la importancia que tienen estos organismos en la comunidad macroinvertebrada bentónica. Del mismo modo, logran mayoría de las especies presentan densidades

(2001), afirmando que las especies están adaptados a determinados rangos de condiciones ambientales.

En el Gráfico N° 05 se presenta el número total de macroinvertebrados bentónicos colectados en los tres ríos, en la cual se puede observar que existe un mayor número de organismos en el río Cachi, seguido del río Cachimayo y finalmente el río Pongora, debido a que en río Cachi notó un mayor número de organismos pertenecientes a los generos Americabaetis, Leptohyphes y Smicrydea en comparación con el río Cachimayo y Pongora, empero al realizar la prueba de Kruskal-Wallis (Anexo 3), demostró que no existe diferencia estadística ($P < 0.05$), resultado que refleja posiblemente a que los tres ríos comparten características ambientales muy similares para su adaptación y distribución de los organismos a excepción de los géneros Hirudinea y Tubifex que solo se presentó en el río Pongora. Fernández y Domínguez (2001). Margalef (1983), sostiene que todo organismo está adaptado a sobrevivir en determinadas condiciones ambientales, presentando un rango de tolerancia donde si esta son óptimos los organismos serán abundantes, mientras que si estas se alejan acercándose a sobrepasar los límites, éstos organismos disminuyen o desaparecen.

5.2 ÍNDICES BIÓTICOS Y DE DIVERSIDAD

En el Gráfico N° 6 se observa los valores promedios de los índices bióticos y en el cuadro N° 13 muestra las clases de calidad de agua, resultado de los valores promedios de los índices bióticos, determinados para los ríos Cachi, Cachimayo y Pongora, en donde los ríos Cachi y Cachimayo muestran la misma tendencia de calidad de agua para los tres índices (muy mala para el índice IBF, muy contaminada para el índice BMWP y regular para el índice EPT), en comparación

con el río Pongora que presenta calidad de agua muy mala para el índice IBF, muy contaminada para el índice BMWP y mala para el índice EPT, resultados que reflejan posiblemente a que el río Pongora se encuentra afectado por la actividad antrópica de la ciudad de Ayacucho y los afluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales "Totorá", además de que el río Cachi presenta valores de dureza y cloruros muy elevados, reflejando las características propias del lecho del río. Por otra parte en los ríos mencionados no se hallaron organismos pertenecientes a la familia Leptophebiidae del orden Ephemeroptera y Plecoptera ya que son organismos sensibles a la contaminación, posiblemente debido a que las características ambientales en los tres ríos no se adecuan a sus requerimientos.

En el Gráfico N° 7, se puede observar los valores promedios de los índices de diversidad de Shannon-Weaner, Pielou y Simpson para los tres ríos muestreados, en donde los valores de Shannon-Weaner (menor a 2.4) indican que los ríos están sometidos a tensión (contaminación), según (Zamora, 1999), contrastando con el cuadro N° 14, resultado que no se le puede considerar definitiva, ya que hay dominancia de dos taxones lo que hace que el índice de Shannon-Weaner disminuya e incremente el índice de Pielou, resaltando que el índice de Shannon-Weaner es sensible al número de especies y al número de individuos por especies (Moreno, 2001). Con respecto al índice de equidad los valores mostrados en el gráfico en referencia muestra máximos en el río Pongora, notándose también la misma tendencia para el índice Shannon-Weaner, pudiendo ser por la presencia de mayor número de organismos y la equidad, Margalef (1983), Magurran (1988) y Moreno (2001), sostiene que el índice de equidad presenta la misma tendencia que el índice de Shannon-Weaner, la que se muestra en el gráfico. Los resultados obtenidos para los índices de diversidad se puede notar que se hallan valores

bastante similares, corroborando con la prueba de Kruskal-Wallis (Anexo 7), donde se observó que no existe diferencia estadística para los índices determinados.

5.3 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS

En el Cuadro N° 15, se aprecia los promedios de las características fisicoquímicas determinados en los tres ríos, en donde se registra valores promedios de pH de 8.5 para el río Cachimayo, 8.4 para el río Cachi y 8.1 para el río Pongora, en donde al realizar la prueba de Kruskal-Wallis, mostró significancia estadística ($P < 0,05$), resaltando que el pH determinado para los ríos son diferentes. Buffaloe (1974) manifiesta que la variación del pH puede implicar cambios en la integridad estructural de los seres vivos. Los valores promedios hallados para la alcalinidad, muestra un valor alto para el río Pongora con 88.8 mg CaCO_3/L , seguido del río Cachi con 68 mg CaCO_3/L y el río Cachimayo, estos valores altos puede deberse a que la alcalinidad está íntimamente asociada a las formas en que se encuentre el dióxido de carbono producto de la descomposición de la materia orgánica y de la naturaleza del lecho del río. Este parámetro es importante ya que la estabilidad de las aguas está relacionada con las concentraciones de carbonatos y bicarbonatos. Roldán (1996), señala que la alcalinidad representa un principal sistema amortiguador del agua dulce, además representa un papel relevante en la productividad de los cuerpos de agua naturales y sirven como fuente de reserva para la fotosíntesis y que el exceso de estas sustancias no produce efectos nocivos en la salud del hombre, pero si imparte sabor desagradable. Para la dureza total se registra valores de 172.4 mg CaCO_3/L para el río cachi, seguidó del río Cachimayo con 150 mg CaCO_3/L , y 126.8 mg CaCO_3/L para el río Pongora, en éstos valores determinados el río Cachi registra el valor más alto, probablemente por el incremento de iones de cloruros y fosfatos.

El nitrógeno amoniacal presenta un valor alto para el río Pongora 2.1 mgNo₃/L, en comparación con los dos ríos, este incremento puede deberse a la presencia de materia orgánica en descomposición, incorporada por la acción antropogénica, ya que el río Pongora recibe agua de la planta de tratamiento de Totorá. Margalef (1983), señala que la presencia de éste nutriente es la mineralización de la materia orgánica y actualmente la contaminación como una de las fuentes más importantes. Al realizar la prueba de Kruskal-Wallis, mostró significancia estadística ($P < 0,05$), corroborando los resultados obtenidos para el nitrógeno amoniacal. Cabe señalar que el río Cachi presenta mayores valores debido a las características del lecho por donde circula.

Al realizar las comparaciones con la normativa ambiental vigente (estándares nacionales de calidad ambiental para el agua categoría 4, conservación del ambiente acuático DS N° 002-2008-MINAM, Cuadro N° 9), se puede observar que no sobrepasan los valores establecidos para las características de pH y sólidos disueltos totales a excepción del nitrógeno amoniacal que sobrepasa los límites establecidos.

En el Gráfico N° 8, se muestra el dendrograma de similitud para los tres ríos muestreados (Cachi, Cachimayo y Pongora) en función de las características fisicoquímicas del agua, en los cuales se observa que los tres ríos son diferentes a nivel del 60%, sin embargo los ríos Cachi y Cachimayo presentan mayor similitud debido a que se observa valores relativamente similares en cuanto a los cloruros. Roldán (1992) manifiesta que el cloruro está representado por lo regular en forma de cloruro de sodio, debido a que el anión se presenta en forma abundante en la orina (5 gr/L), así como también se encuentra en lagunas costeras y algunos ríos, para el caso del río Cachi el cloruro está influenciado principalmente por la

naturaleza de su lecho. En cuanto a los parámetros de dureza total, conductividad y sólidos disueltos totales, se nota que la tendencia no es la excepción a los valores de los ríos mencionados, en donde Roldán (1992) y Cole (1988) sostienen que la conductividad esta en relación directa con la concentración de minerales (iones disueltos en el agua) y también referente a la concentración de los sólidos disueltos totales está estrechamente relacionado con la conductividad. En cuanto a la disimilitud del río Pongora con referencia a los dos ríos, se deba principalmente a los altos valores de nitrógeno amoniacal (2.1mg/L). Roldán (1992), señala que las altas concentraciones de amonio pueden tener grandes implicaciones ecológicas, ya que la oxidación demanda mucho oxígeno lo que va en detrimento de las comunidades acuáticas.

VI. CONCLUSIONES

1. La comunidad macroinvertebrada bentónica hallada en los tres ríos muestreados desde los meses de Abril a Agosto del 2010, estuvo compuesto por 3 phylums, 4 clases, 8 órdenes, 15 familias y 21 géneros, siendo el phylum más representativo y abundante la Arthrópoda; y dentro de ésta la clase Insecta con sus ordenes Díptera, Ephemeroptera y Coleoptera, respectivamente; seguida por la clase Oligochaeta con el orden Haplatoxida, mientras que a nivel de género el Americabaetis fue considerado como el más abundante y dominante.
2. El empleo del Índice IBF (Índice Biótico de Familia), BMWP (Biological Monitoring Working Party), y EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trychoptera), ha permitido clasificar los ríos estudiados por su calidad, en cuatro clases, comprendidas desde regular hasta muy contaminado, para el caso del río Pongora los tres índices lo califican de mala a muy mala, mientras que para los dos ríos restantes como regular a muy mala, registrando la presencia de tensesores que afectan la biota bentónica principalmente a nivel del río Pongora.

3. Los índices de diversidad de Shannon-Weaner, Simpson y Pielou son similares para los ríos Cachi, Cachimayo y Pongora, lo que nos indica la presencia de la comunidad bentónica con similares características, para el caso del índice de Shannon-Weaner los valores no son mayores a 1.61 bits/indiv, indicando una comunidad pobre en diversidad con la presencia de uno o dos taxones dominantes.

4. Los ríos estudiados muestran características fisicoquímicas elevados principalmente en cuanto a cloruros y conductividad eléctrica; para el caso del río Pongora por efecto de la influencia que ejerce sobre ella la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y la ciudad de Ayacucho, el río Cachi presenta cloruro alto por las características del lecho por donde circula además del tiempo de circulación de sus aguas y para el río Cachimayo como consecuencia de ser producto de la unión de los dos anteriores ríos.

VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar investigaciones concernientes a los organismos integrantes de la comunidad macroinvertebrada bentónica de los ríos de nuestra región, resaltando en la identificación más específica posible, ya que es un campo poco explorado.
2. Validar con investigaciones similares los índices bióticos los que permiten determinar la calidad de las aguas, que son comúnmente empleadas en otros países como Colombia, Argentina, Chile entre otros.
3. Realizar inventarios de la comunidad macroinvertebrada bentónica para nuestra zona, como una manera de evitar la pérdida de información, ya que es posible que las especies halladas pueden ser exclusivas de esta región.
4. Realizar mayores estudios de característica fisicoquímica de los ríos con mayor frecuencia, realizando comparaciones con la normativa ambiental vigente (ECA)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Alba, J.** 1986. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA).
2. **Avalos, E., Castro, T., Garcia, J.** 1983. Estudio de los aspectos limnológicos – pesqueros del río Yucaes – Ayacucho. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Departamento de Ciencias Biológicas.
3. **Buffaloe.** 1974. Fundamentos de Biología. Editorial Aguijar. Madrid.
4. **Cairns, J.** 1993. A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. Chapman y Hall, New York.
5. **Carrasco, C.** 2001. Estructura de la comunidad béntica de macroinvertebrados en el río Huatatas y su relación con su calidad de agua, Ayacucho, UNSCH. Ayacucho-Perú.
6. **Carrasco, C.** 2003. Comunidad macroinvertebrada bentónica y su relación con la calidad de agua en cinco ríos de la provincia de Huamanga. Ayacucho 2003 – 2004. Tesis para optar el grado académico de Maestro en Ciencias. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho Perú.
7. **CEPIS,** 1995. Tratamiento del agua para el consumo humano, calidad fisicoquímica del agua y su influencia en el tratamiento. Tecsup-Virtual
8. **Cole, G.** 1988. Manual de limnología. Hemisferio Sur. Buenos Aires-Argentina.
9. **Fernández, H. y Domínguez, E.** 2001. Guía para determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina.
10. **Guardia, D.** 2002. Calidad físico-química, microbiológica y macroinvertebrados bentónicos del río Yucaes. Ayacucho 2001-2002. Tesis para optar el título de Bióloga, Ayacucho.
11. **Hilsenhoff, W.** 1988. Evaluación rápida sobre el terreno de la contaminación orgánica con el nivel de índice biótico de familia. oficial de la América del Norte. Sociedad Entomológica.
12. **Margalef, R.** 1972. Ecología. Editorial Omega S.A. Barcelona España.
13. **Margalef, R.** 1983. Limnología. Ediciones Omega, S.A. Barcelona-España.

14. **Martín, F.** 1999. Apuntes sobre biodiversidad y conservación de insectos: Dilemas, ficciones y ¿soluciones? Boletín electrónico de Entomología N° 2. Sociedad entomológica Aragonesa. Zaragoza, España.
15. **Magurran, A.** 1988. Diversidad ecológica y su medición. Ediciones Vedral. España.
16. **Mcnaughton, S. y Wolf, L.** 1984. Ecología general. Ediciones Omega S.A. Universidad de Siracusa. Barcelona, España.
17. **Metcalf, J.** 1989. Biological water quality of running waters base on macroinvertebrate communities. Europe. EnvironmPollut.
18. **Miller, T.** 1994. Ecología y medio ambiente. Grupo Editorial Iberoamericana, S.A. México.
19. **Moreno, C.** 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y Caribe, UNESCO.
20. **Nevel, B.** 1999. Ciencias ambientales, ecología y desarrollo sostenible. Sexta Edición. Editorial Prentice May, S.A. México.
21. **Plafkin, P.** 1989. Protocolo para la evaluación en ríos y arroyos utilizando macroinvertebrados bentónicos y peces. Agencia Ambiental de EE. UU.
22. **Prat, N.** 1998. Bioindicadores de calidad de aguas. Manuscritos Curso bioindicadores de calidad de agua. Universidad de Antioquia, Medellin.
23. **Ramírez, A.** 1999. Ecología aplicada: Diseño y análisis estadístico. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Colombia
24. **RALE,** 2005. Real Academia de la Lengua Española. Diccionario Español. España.
25. **Roldán, G.** 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia.
26. **Roldan, G.** 1996. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia.
27. **Rupert, E. y Ruano, B.** 1996. Zoología de los invertebrados. 6ta. Edición. Editorial McGraw – Hill. México.
28. **Sánchez, H.** 2005. El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party, modificado y adaptado al cause principal del río Pamplonita Norte de

Santander. Revista de la Facultad de Ciencias Basicas, Universidad de Pamplona. Bucaramanga, Colombia.

29. **Wetzel, R.** 1981. Limnología. Ediciones Omega, S.A. Barcelona – España.
30. **Zamora, H.** 1999. Índices bióticos y de diversidad en la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia. Revista.

ANEXOS

ANEXO 1

Cuadro Nº 16. Abundancia relativa de los taxones presentes en los en los tres ríos muestreados (Cachi, Cachimayo y Pongora) Ayacucho 2010.

| Media | | | | |
|--------------------------|-------------------|---------------|-------------|----------|
| Géneros | ZONAS DE MUESTREO | | | |
| | Río Cachi | Río Cachimayo | Río Pongora | Total |
| Simuliidae (Sp1) | 0,127608 | 0,147927 | 0,387068 | 0,220867 |
| Chironomidae (Sp1) | 0,172954 | 0,188234 | 0,209016 | 0,190068 |
| Chironomidaerosado (Sp1) | 0,000000 | 0,004105 | 0,015282 | 0,006462 |
| Muscidae (Sp1) | 0,000000 | 0,001070 | 0,005744 | 0,002271 |
| Baetodes | 0,048469 | 0,084980 | 0,065088 | 0,066179 |
| Americabaetis | 0,470607 | 0,421018 | 0,053601 | 0,315075 |
| Ansesiops | 0,008635 | 0,004347 | 0,050458 | 0,021147 |
| Camelobaetidius | 0,006747 | 0,016841 | 0,000000 | 0,007863 |
| Leptohyphes | 0,068842 | 0,037732 | 0,003213 | 0,036595 |
| Leptohyphodes | 0,001286 | 0,001334 | 0,000746 | 0,001122 |
| Meridialaris | 0,000364 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000121 |
| Macrelmis | 0,001133 | 0,002822 | 0,046914 | 0,016956 |
| Pagelmis | 0,000361 | 0,000000 | 0,014511 | 0,004957 |
| Spercheidae (Sp1) | 0,000648 | 0,000000 | 0,001839 | 0,000829 |
| Corydalis | 0,018170 | 0,014593 | 0,014193 | 0,015652 |
| Mortoniella | 0,007579 | 0,017346 | 0,074351 | 0,033092 |
| Smycridea | 0,060854 | 0,047890 | 0,004609 | 0,037784 |
| Physa | 0,005744 | 0,009085 | 0,040262 | 0,018364 |
| Lymnaea | 0,000000 | 0,000676 | 0,000000 | 0,000225 |
| Tubifex | 0,000000 | 0,000000 | 0,012843 | 0,004281 |
| Hirudinea (Sp1) | 0,000000 | 0,000000 | 0,000262 | 0,000087 |
| Total de Organismos | 4326,66 | 3081,67 | 1948,33 | 3118,89 |

ANEXO 2

Cuadro Nº 17. Prueba de Kruskal-Wallis para la abundancia relativa de los taxones hallados comparando los tres ríos muestreados

Rangos

| Géneros | ZONAS DE MUESTREO | | | | | | |
|---------------------------|-------------------|----------------|---------------|----------------|-------------|----------------|-------|
| | Río Cachi | | Río Cachimayo | | Río Pongora | | Total |
| | Nº | Rango promedio | N | Rango promedio | N | Rango promedio | N |
| Simuliidae (Sp1) | 10 | 10,80 | 10 | 12,70 | 10 | 23,00 | 30 |
| Chironomidae (Sp1) | 10 | 11,80 | 10 | 14,50 | 10 | 20,20 | 30 |
| Chironomidae rosado (Sp2) | 10 | 11,00 | 10 | 15,20 | 10 | 20,30 | 30 |
| Muscidae (Sp1) | 10 | 12,50 | 10 | 15,10 | 10 | 18,90 | 30 |
| Baetodes | 10 | 15,10 | 10 | 16,00 | 10 | 15,40 | 30 |
| Americabaetis | 10 | 20,90 | 10 | 17,80 | 10 | 7,80 | 30 |
| Ansesiops | 10 | 14,90 | 10 | 11,00 | 10 | 20,60 | 30 |
| Cameliobaetis | 10 | 17,15 | 10 | 21,85 | 10 | 7,50 | 30 |
| Leptohyphes | 10 | 20,80 | 10 | 17,60 | 10 | 8,10 | 30 |
| Leptohyphodes | 10 | 16,15 | 10 | 17,10 | 10 | 13,25 | 30 |
| Meridiataris | 10 | 16,50 | 10 | 15,00 | 10 | 15,00 | 30 |
| Macrelmis | 10 | 9,90 | 10 | 12,60 | 10 | 24,00 | 30 |
| Pagelmis | 10 | 12,85 | 10 | 11,50 | 10 | 22,15 | 30 |
| Spercheidae (Sps1) | 10 | 15,05 | 10 | 13,50 | 10 | 17,95 | 30 |
| Coridalus | 10 | 17,80 | 10 | 16,20 | 10 | 12,50 | 30 |
| Mortoniella | 10 | 10,80 | 10 | 15,90 | 10 | 19,80 | 30 |
| Smycridea | 10 | 22,20 | 10 | 18,30 | 10 | 6,00 | 30 |
| Physa | 10 | 11,90 | 10 | 13,40 | 10 | 21,20 | 30 |
| Lymnaea | 10 | 15,00 | 10 | 16,50 | 10 | 15,00 | 30 |
| Tubifex | 10 | 13,00 | 10 | 13,00 | 10 | 20,50 | 30 |
| Hirudinea (Sp1) | 10 | 15,00 | 10 | 15,00 | 10 | 16,50 | 30 |

Continuacion ANEXO 2

Cuadro N°18. Estadísticos de contraste (a, b)

| | Chi-cuadrado | gl | Sig. asintót. |
|---------------------------|--------------|----|---------------|
| Simulidae (Sp1) | 11,120 | 2 | 0,004 |
| Chironomidae (Sp1) | 4,746 | 2 | 0,093 |
| Chironomidaerosado (Sp2). | 8,515 | 2 | 0,014 |
| Muscidae (Sp1) | 5,475 | 2 | 0,065 |
| Baetodes | 0,054 | 2 | 0,973 |
| Americabaetis | 12,106 | 2 | 0,002 |
| Andesiops | 6,042 | 2 | 0,049 |
| Cameliobaetidius | 15,368 | 2 | 0,000 |
| Leptohyphes | 11,568 | 2 | 0,003 |
| Leptohyphodes | 1,713 | 2 | 0,425 |
| Meridialaris | 2,000 | 2 | 0,368 |
| Macrelmis | 15,198 | 2 | 0,001 |
| Pagelmis | 14,318 | 2 | 0,001 |
| Spercheidae | 3,770 | 2 | 0,152 |
| Coridalus | 1,943 | 2 | 0,378 |
| Mortoniella | 5,323 | 2 | 0,070 |
| Smycridea | 18,594 | 2 | 0,000 |
| Physa | 6,765 | 2 | 0,034 |
| Lymnaea | 2,000 | 2 | 0,368 |
| Tubifex | 11,478 | 2 | 0,003 |
| Hirudinea | 2,000 | 2 | 0,368 |

a Prueba de Kruskal-Wallis

b Variable de agrupación: ZONAS DE MUESTREO

Todo lo valores menores a 0.05 son resultados significativos (la abundancia relativa es diferente en los ríos)

ANEXO 3

Cuadro 19. Prueba de Kruskal-Wallis para el número total de macroinvertebrados por ríos

Rangos

| | RÍOS MUESTREADOS | N | Rango promedio |
|------------------------|------------------|----|----------------|
| Nº Total de Organismos | Río Cachi | 10 | 19,90 |
| | Río cachimayo | 10 | 15,45 |
| | Río Pongora | 10 | 11,15 |
| | Total | 30 | |

Estadísticos de contraste(a,b)

| Prueba | Nº Total de Organismos |
|---------------|------------------------|
| Chi-cuadrado | 4,941 |
| gl | 2 |
| Sig. asintót. | 0,085 |

a Prueba de Kruskal-Wallis

b Variable de agrupación: RÍOS MUESTREADOS

ANEXO4

Cuadro N° 20. Prueba de Kruskal Wallis para el índice IBF comparando los tres ríos muestreados (Cachi, Pongora, Cachimayo)

Rangos

| | RÍOS MUESTREADOS | Nº | Rango promedio |
|------------|------------------|----|----------------|
| Índice IBF | Río Cachi | 10 | 14,10 |
| | Río Cachimayo | 10 | 14,70 |
| | Río Pongora | 10 | 17,70 |
| | Total | 30 | |

Estadísticos de contraste(a,b)

| | Índice IBF |
|---------------|------------|
| Chi-cuadrado | 0,960 |
| gl | 2 |
| Sig. asintót. | 0,619 |

a Prueba de Kruskal-Wallis

b Variable de agrupación: RÍOS MUESTREADOS

ANEXO5

Cuadro N° 21. Prueba de Kruskal Wallis para el índice EPT comparando tres ríos muestreados (Cachi, Cachimayo y Pongora)

Rangos

| RÍOS MUESTREADOS | | N° | Rango promedio |
|------------------|---------------|----|----------------|
| Índice EPT | Río Cachi | 10 | 20,50 |
| | Río Cachimayo | 10 | 18,00 |
| | Río Pongora | 10 | 8,00 |
| | Total | 30 | |

Estadísticos de contraste(a,b)

| | Índice EPT |
|---------------|------------|
| Chi-cuadrado | 11,290 |
| gl | 2 |
| Sig. asintót. | 0,004 |

a Prueba de Kruskal-Wallis

b Variable de agrupación: RÍOS MUESTREADOS

ANEXO 6

Cuadro N° 22. Prueba de Kruskal Wallis para el índice BMWP comparando tres ríos muestreados (Cachi, Cachimayo y Pongora)

Rangos

| RÍOS MUESTREADOS | | N | Rango promedio |
|------------------|---------------|----|----------------|
| Índice BMWP | Río cachi | 10 | 15,10 |
| | Río cachimayo | 10 | 18,65 |
| | Río Pongora | 10 | 12,75 |
| | Total | 30 | |

Estadísticos de contraste(a,b)

| | Índice BMWP |
|---------------|-------------|
| Chi-cuadrado | 2,296 |
| gl | 2 |
| Sig. asintót. | 0,317 |

a Prueba de Kruskal-Wallis

b Variable de agrupación: RÍOS MUESTREADOS

ANEXO 7

Cuadro Nº 23. Prueba de Kruskal Wallis para los índices de diversidad comparando tres ríos (Cachi, Pongora y Cahimayo)

| Rangos | | | |
|--|-------------------------|----------|-----------------------|
| | RÍOS MUESTREADOS | N | Rango promedio |
| Índice de Shannon_Weaner (bits/individ.) | Río Cachi | 10 | 12,20 |
| | Río Cachimayo | 10 | 14,80 |
| | Río Pongora | 10 | 19,50 |
| | Total | 30 | |
| Índice de Simpson (1-D) | Río Cachi | 10 | 12,00 |
| | Río Cachimayo | 10 | 14,90 |
| | Río Pongora | 10 | 19,60 |
| | Total | 30 | |
| Índice de Simpson | Río Cachi | 10 | 19,00 |
| | Río Cachimayo | 10 | 16,10 |
| | Río Pongora | 10 | 11,40 |
| | Total | 30 | |
| Índice de Pielou | Río Cachi | 10 | 13,40 |
| | Río Cachimayo | 10 | 14,20 |
| | Río Pongora | 10 | 18,90 |
| | Total | 30 | |

Estadísticos de contraste(a,b)

| | Chi-cuadrado | gl | Sig. asintót. |
|--|--------------|----|---------------|
| Índice de Shannon_Weaner (bits/individ.) | 3,533 | 2 | 0,171 |
| Índice de Simpson (1-D) | 3,797 | 2 | 0,150 |
| Índice de Simpson | 3,797 | 2 | 0,150 |
| Índice de Pielou | 2,279 | 2 | 0,320 |

a Prueba de Kruskal-Wallis

b Variable de agrupación: RÍOS MUESTREADOS

ANEXO 8

Cuadro Nº 24. Prueba de Kruskal Wallis para las características fisicoquímicas comparando tres ríos (Cachi, Cachimayo y Pongora).

| Rangos | | | |
|---|------------------|----|----------------|
| | RÍOS MUESTREADOS | Nº | Rango promedio |
| pH | Río Cachi | 5 | 11,20 |
| | Río Cachimayo | 5 | 9,00 |
| | Río Pongora | 5 | 3,80 |
| | Total | 15 | |
| Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L) | Río Cachi | 5 | 6,70 |
| | Río Cachimayo | 5 | 7,90 |
| | Río Pongora | 5 | 9,40 |
| | Total | 15 | |
| Dureza Total (mg CaCO ₃ /L) | Río Cachi | 5 | 8,40 |
| | Río Cachimayo | 5 | 10,80 |
| | Río Pongora | 5 | 4,80 |
| | Total | 15 | |
| Dureza Cálcica (mg CaCO ₃ /L) | Río Cachi | 5 | 9,20 |
| | Río Cachimayo | 5 | 9,00 |
| | Río Pongora | 5 | 5,80 |
| | Total | 15 | |
| Dureza Magnésica (mg MgCO ₃ /L) | Río Cachi | 5 | 7,00 |
| | Río Cachimayo | 5 | 10,90 |
| | Río Pongora | 5 | 6,10 |
| | Total | 15 | |
| Cloruros (mg Cl/L) | Río Cachi | 5 | 9,40 |
| | Río Cachimayo | 5 | 10,20 |
| | Río Pongora | 5 | 4,40 |
| | Total | 15 | |
| Nitrogeno Amoniacal (mg NO ₃ /L) | Río Cachi | 5 | 4,40 |
| | Río Cachimayo | 5 | 7,60 |
| | Río Pongora | 5 | 12,00 |
| | Total | 15 | |
| Conductividad Eléctrica (µS/cm) | Río Cachi | 5 | 7,60 |
| | Río Cachimayo | 5 | 9,40 |
| | Río Pongora | 5 | 7,00 |
| | Total | 15 | |
| Sólidos disueltos totales (mg/L) | Río Cachi | 5 | 7,80 |
| | Río Cachimayo | 5 | 9,50 |
| | Río Pongora | 5 | 6,70 |
| | Total | 15 | |

Continuacion ANEXO 9

Cuadro N° 25. Estadísticos de contraste(a, b)

| Parametros | Chi-cuadrado | gl | Sig. asintót. |
|----------------------------------|--------------|----|---------------|
| pH | 7,246 | 2 | 0,027 |
| Alcalinidad (mg CaCO3/L) | ,918 | 2 | 0,632 |
| Dureza Total (mg CaCO3/L) | 4,560 | 2 | 0,102 |
| Dureza Cálcica (mg CaCO3/L) | 1,820 | 2 | 0,403 |
| Dureza Magnésica (mg MgCO3/L) | 3,296 | 2 | 0,192 |
| Cloruros (mg Cl/L) | 4,940 | 2 | 0,085 |
| Nitrogeno Amoniacal (mg NO3/L) | 7,578 | 2 | 0,023 |
| Conductividad Eléctrica (µS/cm) | ,780 | 2 | 0,677 |
| Sólidos disueltos totales (mg/L) | ,999 | 2 | 0,607 |

a Prueba de Kruskal-Wallis

b Variable de agrupación: ríos muestreados.

Todos los valores de Sig menores a 0.05, son estadísticamente diferentes

Fotografía N° 1. Vista panorámica del río Cachi



Fotografía N° 2. Vista panorámica del río Pongora



Fotografía N° 3. Vista panorámica del río Cachimayo



Fotografía N° 4. Vista panorámica de los puntos muestreados en los ríos Cachi, Cachimayo y Pongora

