

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
CRISTÓBAL DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**Calidad ambiental de las aguas del río Apacheta y
sus principales tributarios. Ayacucho
Julio - Noviembre 2013.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
BIÓLOGO EN LA ESPECIALIDAD DE ECOLOGÍA Y
RECURSOS NATURALES**

**PRESENTADO POR:
Bach. PALOMINO RAFAEL, Luis Danilo**

**AYACUCHO – PERÚ
2015**

Con mucho amor y cariño a mi esposa e hijo, a mis padres, principales artífices de la culminación de mi carrera profesional.

AGRADECIMIENTO

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

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

A la Especialidad de Ecología y Recursos Naturales, por plasmar en mí las competencias profesionales del biólogo dedicado al campo ambiental.

A los maestros de la Escuela de Formación Profesional de Biología que en el transcurrir de mi carrera universitaria, vertieron sus conocimientos invaluable, que enriquecieron mis conocimientos y contribuyeron en mi formación.

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

A mis compañeros de estudio y a todas las personas que de una u otra manera fueron involucradas en este proceso y que con su apoyo hicieron posible la conclusión de la misma

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Marco conceptual	9
2.2.1. Calidad fisicoquímica	9
2.2.2. Calidad biológica	9
2.2.3. Macroinvertebrados	9
2.2.4. Índices de calidad ambiental	9
2.2.5. Índices Bióticos	9
2.2.6. Índice Biótico de Familia (IBF)	10
2.2.7. Índice Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT)	10
2.2.8. Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP)	10
2.3. Bases teóricas	10
2.3.1. Contaminación y Calidad de agua	10
2.3.2. Macroinvertebrados bentónicos	11
2.3.3. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua	11
2.3.4. Principales órdenes y familias de macroinvertebrados	12
2.3.5. Índices para estimar la calidad ecológica de las aguas	16
2.3.6. Calidad fisicoquímica del agua	20
2.4. Marco legal.	23
2.4.1. Ley General del Ambiente (Ley N° 28611)	23
2.4.2. Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338)	24
2.4.3. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (Decreto Supremo 002-2008-MINAM)	24

III.	MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1.	Ubicación de la zona de estudio	27
3.1.1.	Ubicación política	27
3.1.2.	Ubicación geográfica	28
3.2.	Descripción del área de estudio	30
3.3.	Población y muestra	31
3.3.1.	Población	31
3.3.2.	Sistema de muestreo	31
3.4.	Metodología y recolección de datos	31
3.4.1.	Colección del material biológico	31
3.4.2.	Colección de muestras de agua.	32
3.5.	Tipo de investigación	33
3.5.1.	Diseño de investigación	33
3.5.2.	Análisis de datos	33
IV.	RESULTADOS	35
V.	DISCUSIÓN	45
VI.	CONCLUSIONES	53
VII.	RECOMENDACIONES	55
VIII.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	57
	ANEXOS	61

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Calidad del agua según los índices Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera (EPT).	17
Tabla 2. Valores de tolerancia de los macroinvertebrados bentónicos según el Índice Biótico de Familia (IBF).	17
Tabla 3. Rangos del Índice Biótico de Familia (IBF), expresados en siete clases de calidad de agua.	18
Tabla 4. Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del Biological Monitoring Working Party (BMWP).	19
Tabla 5. Clases de calidad, significado de los valores Biological Monitoring Working Party (BMWP) y colores a utilizar en representaciones cartográficas	20
Tabla 6. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo. Río Apacheta y tributarios. Ayacucho 2013.	28
Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos considerados en el estudio	32
Tabla 8. Valores promedios de las características fisicoquímicas del agua del río Apacheta y tres de sus principales tributarios, Ayacucho, 2013.	35
Tabla 9. Composición y presencia de familias de macroinvertebrados en las siete zonas de muestreo del río Apacheta y tres de sus principales tributarios, Ayacucho, 2013.	36
Tabla 10. Clasificación de las siete zonas de muestreo del río Apacheta y tres de sus principales tributarios, según los índices bióticos. Ayacucho, 2013.	41
Tabla 11. Correlación de Pearson para los índices de calidad ambiental del agua y las principales características fisicoquímicas del agua del río Apacheta y sus principales tributarios, Ayacucho, 2013.	42
Tabla 12. Correlación de Pearson para los índices de calidad ambiental del agua del río Apacheta y tres de sus principales tributarios, Ayacucho, 2013.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Mapa de ubicación geopolítica de la zona en estudio	27
Figura 2. Mapa de ubicación de los 10 puntos de muestreo a lo largo del río Apacheta y sus tributarios. Ayacucho 2013	29
Figura 3. Abundancia relativa (porcentaje) de familias de la comunidad macroinvertebrada bentónica más abundantes por zonas de muestreo en el río Apacheta y tres de sus principales tributarios, Ayacucho, 2013.	37
Figura 4. Índice Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera - EPT (promedio + desviación típica) por zonas de muestreo en el río Apacheta y sus tres de sus principales tributarios, Ayacucho, 2013.	38
Figura 5. Índice Biótico de Familia - IBF (promedio + desviación típica) por zonas de muestreo en el río Apacheta y tres de sus principales tributarios. Ayacucho, 2013.	39
Figura 6. Promedios del índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) por zonas de muestreo en el río Apacheta y tres de sus principales tributarios, Ayacucho, 2013	40

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág
Anexo 1. Valores encontrados del índice Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera (EPT) encontrados en el río Apacheta y tres de sus principales tributarios, Ayacucho, 2013.	62
Anexo 2. Análisis de varianza y test de Duncan del índice Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera (EPT) comparando las zonas de muestreo, Ayacucho, 2013	63
Anexo 3. Valores encontrados del índice Biótico de Familias (IBF) encontrados en el río Apacheta y tres de sus principales tributarios, Ayacucho, 2013.	64
Anexo 4. Análisis de varianza y test de Duncan del índice Biótico de Familia (IBF) comparando las zonas de muestreo, Ayacucho 2013.	65
Anexo 5. Valores encontrados del índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) encontrados en el río Apacheta y tres de sus principales tributarios, Ayacucho, 2013.	66
Anexo 6. Análisis de varianza y test de Duncan del índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) comparando las zonas de muestreo, Ayacucho 2013.	67
Anexo 7. Promedios de los índices IBF, EPT y BMWP en base a la comunidad macroinvertebrada bentónica por zonas de muestreo en el río Apacheta y sus principales tributarios, Ayacucho, 2013.	68
Anexo 8. Estándares de Calidad Ambiental: Grupo N°4 – Conservación del Ambiente Acuático.	69
Anexo 9. Mapa de áreas de Zona de Vida – región Ayacucho.	70
Anexo 10. Mapa temático con los valores de los índices de calidad ambiental	71
Anexo 11. Toma de muestra de la comunidad macroinvertebrada bentónica en la zona I (San Lucas).	72
Anexo 12. Realizando los lavados necesarios para la selección de los macroinvertebrados bentónicos	73
Anexo 13. Características taxonómicas del orden Diptera, en el río Apacheta y sus tres principales tributarios, Ayacucho, 2013.	74
Anexo 14. Características taxonómicas del orden Ephemeroptera de la familia Baetidae y Andesiops en el río Apacheta y sus tres principales tributarios, Ayacucho, 2013.	75

- Anexo 15. Características taxonómicas del orden Ephemeroptera de la 76 familia Leptohyphodes y Leptophlebiidae en el río Apacheta y sus tres principales tributarios, Ayacucho, 2013.
- Anexo 16. Características taxonómicas del orden Trichoptera (Familia 77 Glososomatida, Familia Hydropsychidae y Familia Limnephilidae), en el río Apacheta y sus tres principales tributarios, Ayacucho, 2013.
- Anexo 17. Características taxonómicas del orden Trichoptera (Familia 78 Hydrobiosidae y Familia Leptoceridae), en el río Apacheta y sus tres principales tributarios, Ayacucho, 2013.
- Anexo 18. Características taxonómicas del orden Plecoptera, Coleoptera, 79 Prostognata, Amphipoda, Basomatophora, Lumbriculida y Seriata en el río Apacheta y sus tres principales tributarios, Ayacucho, 2013
- Anexo 19. Matriz de Consistencia. 80

RESUMEN

En la actualidad los ríos, en general, están siendo empleados como destino final de los desechos, contaminándolos gravemente, a esta realidad no se escapa los ríos de la región de Ayacucho. La presente investigación se realizó, en un tramo del Río Apacheta y tres de sus principales tributarios, estableciendo diez zonas de muestreo, de las cuales se tomaron muestras desde el mes de Julio hasta el mes de Noviembre del 2013. Teniendo como objetivos: determinar las principales características fisicoquímicas de las aguas del río Apacheta y sus principales tributarios, determinar la calidad ambiental de las aguas del río Apacheta en varios puntos de su recorrido y de sus principales tributarios mediante los índices EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera), IBF (Índice Biótico de Familia) y BMWP (Biological Monitoring Working Party), determinar la sensibilidad de los índices a estudiar mediante el análisis de correlación con las características fisicoquímicas del agua y comparar los valores de los índices EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera), IBF (Índice Biótico de Familia) y BMWP (Biological Monitoring Working Party) hallados en los diferentes puntos de muestreo. Los muestreos fueron sistemáticos ya que se evaluó dos veces por cada mes, para la comunidad macroinvertebrada bentónica se empleó una red tipo Surber con un área de 1200 m² y las determinaciones fisicoquímicas del agua se realizaron en el Laboratorio de Biodiversidad y Sistema de información Geográfica, en el cual se tuvo como resultado que las diez zonas de muestreo son muy variables, tal es el caso para la alcalinidad, dureza total, dureza cálcica, dureza magnésica, cloruros, pH, conductividad y sólidos disueltos totales. Por otro, lado se registró la presencia de organismos pertenecientes a seis clases, once órdenes y veinticinco familias, siendo diferentes en composición y abundancia, esto debido a las condiciones ambientales y a la amplitud en el rango de tolerancia a contaminantes, de algunas familias. De acuerdo al índice EPT se registran valores que van desde 86% hasta 23% en la zona X y IX respectivamente, que catalogan como aguas de buena calidad, hasta aguas de mala calidad, mientras que de acuerdo al índice IBF se registran valores que van desde 4.79 a 3.33 en las zonas III y X respectivamente catalogándolas como aguas de excelente calidad y aguas de buena calidad, y finalmente para el índice BMWP se registran valores máximos de 54.4 en la zona V y valores mínimos de 22.5 en la zona IX catalogando a las aguas como contaminadas y aguas muy contaminadas. Al realizar la prueba de análisis de varianza para los tres índices se halló significancia estadística ($p < 0,05$); lo que nos permite afirmar que cada zona es diferente en cuanto a su calidad ambiental y al realizar la correlación con las características fisicoquímicas del agua (Pearson) obtuvimos que el índice IBF correlaciona con pH y cloruros, EPT no correlaciona con ninguna característica y BMWP correlaciona solo con pH, lo que nos indicaría que el índice IBF seguido del índice BMWP son los más sensibles a las gradientes (cambios) ambientales. Pero al correlacionar entre los índices Bióticos se observa que existe correlación altamente significativa entre el índice IBF y el índice EPT, lo que confirma que ambos índices son los más adecuados para la evaluación de la calidad de las aguas del río muestreado, además de que ambos índices son de carácter cuantitativo.

Palabras clave: Macroinvertebrados bentónicos, índices bióticos, calidad ambiental, río.

I. INTRODUCCIÓN

El agua en nuestro planeta es un recurso natural valioso renovable, pero vulnerable, que se regenera constantemente de forma natural, con el ciclo hidrológico. El exceso de contaminantes puede mermar este ciclo natural, trayendo como consecuencia la escasa disponibilidad del agua.

La calidad de las aguas superficiales se ven determinadas por la evaluación de bioindicadores como la comunidad macroinvertebrada bentónica ya que su aplicación sólo requiere de la identificación y cuantificación de los organismos basándose en índices bióticos e índices de diversidad ajustados a intervalos que califican la calidad del agua. Adicionalmente a ello se utiliza la evaluación de los parámetros fisicoquímicos del agua, complementando el monitoreo biológico.

Los organismos bioindicadores, son atributos de los sistemas biológicos, que presentan requerimientos específicos, por lo que se emplean para descifrar cualquier fenómeno o acontecimiento relacionado con el ambiente. Así mismo estos bioindicadores tienen requerimientos de los parámetros fisicoquímicos conocidos, tal que la presencia o ausencia, número, morfología, fisiología o comportamiento de una especie en particular indique que las variables fisicoquímicas consideradas se encuentren cerca de sus límites de tolerancia permitiendo identificar taxones de organismos que pueden servir como indicadores de aguas de buena calidad o de aguas de mala calidad.

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 ampliamente identificados se pueden mencionar al índice BMWP (Biological Monitoring Working Party), el índice EPT (Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera) y el índice IBF (Índice Biótico de Familia). Este último es un índice muy útil en el análisis de calidad ambiental.

Esta problemática no es ajena a nuestra región donde los ríos, desde tiempos pasados, han sufrido un alto nivel de contaminación afectando la calidad del agua por actividades antropogénicas específicamente, tal es el caso del río Apacheta que a lo largo de su cauce presenta centros poblados, cuyas actividades económicas, piscigranjas principalmente, utilizan como vertedero a las aguas de éste río. Por lo antes señalado se desarrolló el presente trabajo de investigación teniendo en cuenta los siguientes objetivos:

Objetivo General

Determinar la calidad ambiental de las aguas del río Apacheta y sus principales tributarios medida con los índices EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera), IBF (Índice Biótico de Familia) y BMWP (Biological Monitoring Working Party), la sensibilidad frente a las principales características fisicoquímicas del agua, determinadas entre los meses de julio a noviembre del 2013.

Objetivos Específicos:

1. Determinar las principales características fisicoquímicas de las aguas del río Apacheta y sus principales tributarios.
2. Determinar la calidad ambiental de las aguas del río Apacheta en varios puntos de su recorrido y de sus principales tributarios mediante los índices EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera), IBF (Índice Biótico de Familia) y BMWP (Biological Monitoring Working Party).
3. Determinar la sensibilidad de los índices a estudiar mediante el análisis de correlación con las características fisicoquímicas del agua.
4. Comparar los valores de los índices EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera), IBF (Índice Biótico de Familia) y BMWP (Biological Monitoring Working Party) hallados en los diferentes puntos de muestreo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Paredes *et. Al.*,¹ indica que las comunidades de macroinvertebrados bentónicos pueden ser utilizados como indicadores biológicos eficientes de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos, por lo que entre octubre de 2002 y septiembre de 2003, desarrollaron evaluaciones en el río Rímac aguas abajo, Lima - Callao. Perú. Con el objetivo fue analizar su composición faunística, la riqueza de las familias y la calidad del agua, basado en el índice de monitoreo biológico del grupo de trabajo (BMWP). La evaluación se realizó en seis estaciones de muestreo ubicadas a lo largo del curso del río Rímac que cruza Lima y Callao. Treinta y cinco taxones se informaron: Hexapoda (27), Annelida (2), Mollusca (2), Arachnidae (2), Platyhelminthes (1) y Chilopoda (1). A partir de 2.166 especímenes recolectados. Oligoquetos (n = 597) tenía IHE mayor abundancia, seguido por Psychodidae (n = 521), Physidae (n = 442), Chironomidae (n = 300), y Dixidae (n = 168). El índice BMWP calificó al agua del río Rímac aguas abajo, como crítico o aguas muy contaminadas (29 puntos). De todo el análisis fisicoquímico evaluado y la demanda bioquímica de oxígeno indicó perturbación en este ecosistema de agua dulce.

En la investigación titulada comunidad macroinvertebrada bentónica y su relación con la calidad de agua en cinco ríos de la provincia de Huamanga, Ayacucho, Carrasco,² determinó que la comunidad macroinvertebrada bentónica estuvo compuesta por tres Phylums: Arthrópoda, Mollusca, Annélida; cuatro Clases: Insecta, Gastropoda, Oligochaeta, Hirudinea; diez Ordenes: Diptera, Plecoptera, Ephemeroptera, Coleoptera, Megaloptera, Trichoptera, Basomatophora, Lumbriculida, Haplotaxida e Hirudiniformes; 25 Familias y 34 géneros (especies) para los cinco ríos, ubicándose muchos de los géneros en

las zonas catalogadas como río arriba, ya que estas zonas se hallan poco perturbadas, en comparación con las zonas catalogadas como río abajo, que se hallan muy perturbadas a consecuencias de las actividades antrópicas y la planta de tratamiento de aguas servidas “La Totorá”, 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 (río abajo). Cabe señalar que no se pudo encontrar estudios de la comunidad macroinvertebrada bentónica en la región de la selva del Perú.

En un estudio realizado en el río Chillán de la VIII Región de Chile en cuyo curso ubicaron ocho estaciones de muestreo, Figueroa, *et. Al.*,³ hallaron que la riqueza macroinvertebrada encontrada en el área de estudio estuvo compuesta por 83 taxas, la mayoría de los cuales eran estados inmaduros de insectos que representan un 79,5 por ciento del total, donde los órdenes más diversos fueron: Ephemeroptera con 16 taxas (19,3 por ciento), Plecoptera con 13 taxas (15,7 por ciento), Díptera con 12 taxas (14,5 por ciento) y Trichoptera también con 12 taxas (14,5 por ciento) que en conjunto alcanzan una representatividad del 64 por ciento del total de las taxas, siendo Chironomidae y Naididae, los grupos más abundantes. Con respecto a los índices de diversidad hallados, indican que las estaciones de muestreo de río arriba tenían mayores valores en los índices de Shannon Weaner y de Pielou (índices de diversidad y equidad), la misma que disminuyen río abajo debido al efecto negativo que ejerce las aglomeraciones humanas; la tendencia es inversa con respecto al índice de Simpson, siendo menor río arriba y mayor río abajo, debido que este índice es sensible a la dominancia. Los índices bióticos que probaron, en este caso IBF, IBE (Índice Biótico Extendido), BMWP y SIGNAL (Stream Invertebrates Grade Number – Average Level), todos adecuados para su uso en Chile; muestran en general una tendencia a la disminución de la calidad del agua a medida que se sigue el curso del río, destacando el hecho de que los índices BMWP y el SIGNAL muestran prácticamente las mismas clases de calidad, con un paso gradual de una muy buena o buena calidad en la parte alta de la cuenca, a una calidad regular en la parte media de la cuenca y el empeoramiento aguas abajo y que se acentúa después de la aglomeración urbana de la ciudad de Chillán, así mismo el IBF mostró peores clases de calidad que los índices anteriores e incluso, en la parte alta de la cuenca, donde prácticamente no reconoce aguas de buena calidad biológica, de modo que el IBF, en términos medios muestra un sistema

de calidad regular a mala. Los análisis de correlación realizados entre los índices muestran que existe una alta correlación entre el IBE y el BMWP ($r = 0,83$) y la riqueza específica ($r = 0,81$ y $0,89$ respectivamente) y secundariamente estos tres con el SIGNAL ($r = 0,79$; $0,78$ y $0,61$ respectivamente). Estos mismos índices bióticos no se correlacionan bien con Shannon Weaner (H') y Pielou, para los cuales sí lo hace el IBF ($-0,82$ y $-0,61$ respectivamente) con valores de r negativos puesto que mayores valores del IBF indican una peor condición biológica. Por otro lado, aunque en menor grado, también se aprecia una buena correlación entre el SIGNAL con el IBE y H' ($-0,66$ y $0,57$ respectivamente). Los resultados son consistentes puesto que en todos los casos son altamente significativos ($p < 0,001$; $n = 74$).

Rivera *et. Al.*,⁴ realizaron un estudio de la entomofauna acuática de ocho quebradas del departamento del Quindío, Colombia en La Tebaida y Calarcá. Entre agosto y diciembre de 2004 se colectaron 1917 especímenes distribuidos así: Trichoptera con 524 (la familia más abundante fue Hydropsychidae con 425), Coleoptera 421 (Elmidae con 396 individuos), Heteroptera 391, Odonata 216, seguido por Ephemeroptera, Diptera y Neuroptera. Los índices ecológicos empleados fueron la diversidad de Shannon-Wiener, la riqueza total y la equidad de Pielou, los cuales arrojaron valores altos; la similitud de Jaccard para las quebradas La Tebaida y Calarcá fue de 0,66 evidenciando pocas variaciones en la entomofauna acuática. Mediante el análisis de las variables físicas y químicas se determinó que estas quebradas presentan un buen nivel de conservación

Hahn *et. Al.*,⁵ determinó la calidad del agua mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos en la estación piscícola, Granja Montelindo (Universidad de Caldas). Los puntos de muestreo seleccionados corresponden a la entrada y a la salida de agua de la Estación y al recorrido dentro de la misma, áreas donde se tomaron muestras puntuales sujetas a los parámetros fisicoquímicos para analizar la calidad. En el estudio se encontraron 55 familias, de las cuales sobresalen: Chironomidae con un 32,5%, seguida de Thiariidae con un 26,7% y Palaemonidae con una presencia del 6,7% de la población total; las demás se encuentran por debajo del 5% de representatividad. Según el BMWP el agua que circula en la Estación Piscícola es de clase tres contaminada, medianamente contaminada y no contaminada, por lo que presenta una disminución en la calidad al circular por la estación y al ser devuelta al caño El Berrión.

Walteros y Daza,⁶ realizaron un estudio en Diciembre de 2007, sobre seis estaciones distribuidas a lo largo del río Guarinó. Para la comunidad perifítica fueron identificados 42 géneros, de los cuales Navicula, Gomphonema, Mellosira y Fragillaria son los más representativos en todas las estaciones. En cuanto a la comunidad de macroinvertebrados predominaron los órdenes Diptera y Trichoptera; se identificaron en un total 41 familias de la cuales Batidae, Simuliidae y Chironomidae fueron abundantes y representativas a lo largo del río. Los resultados del índice BMWP reflejan una calidad de agua de buena a aceptable. Las estaciones de la cuenca alta y media se identificaron como clase I, mientras que las estaciones de la cuenca baja como clase II. Se capturaron ocho especies de peces para la cuenca baja, destacándose la presencia de *Prochilodus magdalenae*, *Pimelodus grolkopfii* y *Leporinus muyscorum*, organismos que reflejan el inicio de la temporada migratoria, procedentes de la cuenca del río Magdalena, hacia aguas arriba del Río Guarinó, y que comúnmente se conoce como “subienda”. Los resultados revelaron el grado de vulnerabilidad ambiental de la cuenca como consecuencia de la interrelación entre los eventos naturales y la acción antrópica, en especial para la zona baja del río.

En la investigación titulado “Índices bióticos y de diversidad de la comunidad macroinvertebrada bentónica para determinar la calidad de los ríos Cachi, Pongora y Cachimayo, Ayacucho”, presentado por Jaico,⁷ determinó que la comunidad macroinvertebrada bentónica estuvo compuesta por tres Phylums: Arthropoda, Mollusca, Annelida; cuatro Clases: Insecta, Gastropoda, Oligochaeta, Hirudinea; ocho Ordenes: Diptera, Ephemeroptera, Coleoptera, Megaloptera, Trichoptera, Basomatophora, Haplotaxida y Glossiphoniidae; 15 familias y 21 géneros (especies) para los tres ríos, presentando elevados valores de abundancia los ríos Cachi y Cachimayo en cuanto al género *Americabaetis* que sobrepasa el 40 por ciento en comparación con el río Pongora que llega al nueve por ciento, mientras que la familia Simuliidae muestra la misma abundancia del 15 por ciento para los ríos Cachi y Cachimayo en comparación con el río Pongora que sobrepasa el 40 por ciento. Con respecto al IBF se catalogó de muy mala calidad a los tres ríos; BMWP muy contaminada a los tres ríos y EPT de regular para los ríos Cachi y Cachimayo y mala para Pongora. Las características fisicoquímicas promedios reportados, muestran valores relativamente similares para los tres ríos, es así por ejemplo para el caso del pH

reporta 8,5 para Cachimayo; alcalinidad de 88,8 mg/l de CaCO_3 para Pongora y dureza total de 172,4 mg/l de CaCO_3 para Cachi, estos valores están influenciados por la naturaleza del lecho del río, las actividades antrópicas de la ciudad de Ayacucho y la planta de tratamiento de aguas servidas “La Totorá”.

Rivera *et. Al.*,⁸ realizó una investigación entre abril de 2009 y enero de 2010, sobre la composición y la estructura de los ensamblajes de macroinvertebrados asociados a la vegetación flotante y los sedimentos del humedal Jaboque (Bogotá, Colombia) se caracterizaron y también se midieron las variables físicas y químicas del agua. Los macroinvertebrados en la vegetación acuática componen 36 géneros (27 confirmados y nueve sin confirmar), 27 familias, diez órdenes y cinco clases. Las familias más abundantes en los macrófitos eran Glossiphoniidae, Hyallelidae y Asellidae. La abundancia promedio fue de 908 ind/m². La densidad más alta se observó en enero del 2010 (1099 ind/m²) y la más baja en octubre del 2009 (805 ind/m²). Se registraron los valores de riqueza y abundancia más altas precipitaciones durante las estaciones. Macroinvertebrados bentónicos incluyeron seis géneros y cinco familias; Tubificidae, Physidae y Glossiphoniidae fueron las más abundantes; abundancia promedio fue de 21,5 ind/m². Variables como el amoníaco, oxígeno disuelto, DBO5 y la temperatura mostraron diferencias significativas entre los períodos climáticos. De acuerdo con el análisis de componentes principales (PCA), los sólidos en suspensión explican la mayor parte de la variación en los datos (80,1%), seguido por el oxígeno disuelto (65%), junto con amonio (68,9%), estas variables mostraron una mayor influencia en la diversidad de macroinvertebrados acuáticos. El análisis de correlación canónica reveló que la abundancia de la familia Glossiphoniidae se relaciona positivamente con la concentración de nitratos y conductividad, mientras que la familia Tipulidae fue con el oxígeno disuelto, evidenciando que las condiciones eutróficas y saprofíticas influyen en la abundancia de estas familias, probablemente debido a su adaptación a estas características. En general, los resultados están relacionados con la alta concentración de materia orgánica y altos niveles de eutrofización de este humedal.

En la investigación titulada Aplicación del ICA-NSF (Índice de Calidad de Agua de la National Sanitation Foundation de Estados Unidos) para determinar la calidad del agua de los Ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho - Parque Nacional Sangay-Ecuador, Coello, *et. Al.*,⁹ tuvo como objetivo establecer la

calidad de agua utilizando el Índice ICA-NSF en los ríos alto andinos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho (3100 a 3950 msnm) que forman parte del Parque Nacional Sangay en Ecuador, para analizar a futuro el cambio generado por cambios medioambientales y actividades antrópicas. Para el análisis físico-químico y microbiológico se establecieron 6 puntos de monitoreo en el río Ozogoché, 8 en el Río Pichahuiña y 4 en el Pomacocho durante un año (Febrero 2011 a Febrero 2012) cubriendo las épocas seca y de lluvia. Los resultados promedio de nueve parámetros analizados, se utilizaron para determinar el ICA de cada río, determinando que, las tres microcuencas presentan buena calidad. Existen parámetros que muestran mayor variación como sólidos totales, sulfatos y conductividad cuyos picos máximos se alcanzaron en los meses de menor precipitación (de febrero a mayo).

Cavalcanti,¹⁰ realizó una investigación que responde al problema de la determinación de la calidad de las aguas superficiales de la selva, a través de la composición y estructura de la comunidad macroinvertebrada bentónica, para ello el objetivo principal del trabajo de investigación fue evaluar la calidad biológica, mediante el uso de los índices bióticos y de diversidad basados en la comunidad macroinvertebrada bentónica, presente en tres ríos de Kimbiri, se realizó durante los meses de setiembre a diciembre del 2011, comprendida en los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luís, distrito de Kimbiri, provincia de La Convención, departamento de Cusco. El tipo de investigación se adecuó a un diseño descriptivo. Las muestras de macroinvertebrados bentónicos se colectaron empleando una red tipo Surber con un área de muestreo de 1200 cm², las determinaciones fisicoquímicas se realizaron mediante un equipo portátil de análisis de agua para acuicultura marca HACH modelo FF-1, para el caso de conductividad y sólidos disueltos totales se empleó un equipo multiparámetro Waterproof Tester Combo marca HANNA. Las muestras de macroinvertebrados bentónicos se tomaron cada 15 días, al igual que las muestras de agua de los ríos mencionados. Se registraron organismos pertenecientes a la clase Insecta; nueve órdenes, Efemeroptera, Coleoptera, Plecoptera, Lepidoptera, Neuroptera, Trichoptera, Odonata, Hemiptera y Diptera; 29 familias y 39 géneros para los tres ríos. De acuerdo a los índices bióticos el río Kaschiroveni es catalogado de regular (EPT), buena (BMWP) y excelente (IBF); el río Kimbiri es catalogado de buena (EPT y BMWP) y muy buena (IBF); mientras que el río San Luis de buena (EPT y BMWP) y excelente (IBF) calidad. Los índices de diversidad de Simpson,

Shannon Weaner y Pielou calculados como promedio de cada muestreo ($n = 8$) son similares para los tres ríos estudiados ($p > 0,05$). Con respecto a las características fisicoquímicas de las aguas de los ríos estudiados presenta valores similares, tal es el caso de pH, temperatura y oxígeno disuelto.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Calidad Fisicoquímica

Está dada por los parámetros físicos (olor, sabor, color, temperatura, etc.) y químicos (alcalinidad, dureza total, dureza cálcica, dureza magnésica, cloruros, alcalinidad, etc.) del agua.

2.2.2. Calidad Biológica

Capacidad de los ecosistemas acuáticos para mantener comunidades biológicas en dichos ecosistemas. Este parámetro, puede estimarse al estudiar la estructura de las comunidades.

2.2.3. Macroinvertebrados

Los macroinvertebrados son los invertebrados de un tamaño relativamente grande (visibles al ojo humano), mayores a 0,5 mm y comprenden principalmente artrópodos (insectos, arácnidos y crustáceos).

2.2.4. Índices de Calidad Ambiental

Mediante los índices se obtiene un valor numérico que expresa el efecto de la contaminación sobre una comunidad biológica y se basan en la capacidad de los organismos de reflejar las características o condiciones ambientales del medio en el que se encuentran. La presencia o ausencia de una especie o familia, así como su densidad o abundancia es lo que se va a usar como indicador de la calidad.

2.2.5. Índices Bióticos

Suelen ser específicos para un tipo de contaminación, región geográfica, y se basan en el concepto de organismo indicador. Permiten la valoración del estado ecológico de un ecosistema acuático afectado por un proceso de contaminación. Para ello a los grupos de macroinvertebrados de una muestra se les asigna un valor numérico en función de su tolerancia a un tipo de contaminación, los más tolerantes reciben un valor numérico menor y los más sensibles un valor numérico mayor, la suma de todos estos valores nos indica la calidad de ese ecosistema.

2.2.6. Índice Biótico de Familia (IBF)

Este índice es muy útil en el análisis de la calidad del agua y de fácil cálculo, debido a que necesita la identificación solo a nivel de familia.

2.2.7. Índice Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT)

El índice EPT se realiza mediante la utilización de tres grupos de macroinvertebrados (Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera), debido a que son más sensibles a la contaminación.

2.2.8. Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP)

Se basa en la asignación a las familias de macroinvertebrados acuáticos de valores de tolerancia a la contaminación comprendidos entre 1 (familias muy tolerantes) y 10 (familias intolerantes). La suma de los valores obtenidos para cada familia detectada en un punto nos dará el grado de contaminación del punto estudiado.

2.3. Bases Teóricas.

2.3.1. Contaminación y Calidad de Agua.

La contaminación es la adición de cualquier sustancia al medio ambiente, en cantidades tales, que causen efectos adversos a los seres humanos, animales, vegetales o materiales que se encuentren dispuestos a dosis (concentración por tiempo) que sobrepasen los niveles que se encuentran regularmente en la naturaleza. La contaminación del agua es un problema global, que seguramente generará en el futuro conflictos graves, por un lado por la tenencia de aquella que aún no ha perdido su calidad y por la preservación de otras.¹¹

Según Alba,¹² 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 supra específicos 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 (Biological Monitoring Working Party), siendo implementado en la mayoría de países de la comunidad Europea y en algunos Estados de Norte América, en la que no considera especies indicadoras, sino comunidades indicadoras.

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 está contaminada cuando sufre cambios que modifican su uso real o potencial.¹³

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 otro lado, su alto contenido en materia orgánica, podría resultar excelente para el riego de plantas ornamentales, o de plantaciones forestales.¹⁴

2.3.2. Macroinvertebrados Bentónicos.

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, 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.¹⁵

2.3.3. Los macroinvertebrados acuáticos 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. La contaminación altera las características naturales del agua, como ejemplo el oxígeno disuelto, el pH, cantidad de iones disueltos y estos afectan gravemente a estos organismos, es por ello que 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 cuales 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. Pero

sin embargo se puede afirmar que los Ephemeropteros, Plecopteros y Tricópteros son indicadores de aguas limpias y que los Anélidos y ciertos Dípteros son indicadores de aguas contaminadas.¹⁶

2.3.4. Principales Órdenes y Familias de Macroinvertebrados

a. Orden Ephemeroptera.

El Orden Ephemeroptera es un grupo relativamente pequeño de insectos, conocidos vulgarmente como “moscas de mayo” por el mes en que se producen los vuelos nupciales en el hemisferio norte, también se les conoce como “éfimeras” debido a la brevedad de su vida adulta. Todos los estadíos ninfales son acuáticos, mientras que los adultos solo viven unas cuantas horas hasta unos pocos días. Como característica única entre los insectos, mudan después de haber llegado a un primer estadío alado (subimago), para llegar al adulto final o imago, que es el encargado de la reproducción.¹⁷

Respecto a la ecología de este orden, menciona que durante su estadío acuático viven mayormente en aguas corrientes y limpias con alta oxigenación, por lo que son consideradas indicadoras de buena calidad de agua. Existen pocas especies que toleran ciertos niveles de contaminación. La mayor parte de las ninfas están adheridas a rocas, vegetación sumergida o troncos, pocas especies se encuentran enterradas en fondos arenosos. Son herbívoras y se alimentan de algas y tejidos de plantas acuáticas. Representan una parte importante en la dieta alimenticia de ciertos peces.¹⁷

b. Orden Trichoptera

Con más de 1350 especies citadas para América del Sur, puede considerarse que Trichoptera es uno de los insectos de agua dulce más diversificados. Las larvas son acuáticas y viven en refugios fijos o transportables elaborados con seda; los adultos son aéreos y tienen aspecto de polillas de antenas largas. De pequeño a mediano tamaño y pocos llamativos, son muy abundantes, las larvas en los cuerpos de agua y los adultos en las proximidades de ellos. Las larvas han invadido distintos tipos de ambientes lóticos y lénticos aunque con preferencia viven en los primeros, tienen la característica de ser herbívoras, detritívoras o predadoras; todas poseen glándulas labiales secretoras de seda con las que construyen redes fijas o hábitáculos transportables recubiertos con material exógeno. Es importante porque constituye un eslabón en la cadena alimentaria de ríos y arroyos; desoves, larvas y adultos son parte de la dieta de

peces de agua dulce o intervienen en algunos de los pasos que culminan en ello.¹⁷

Son potenciales indicadores de contaminación, distintas especies toleran diferencialmente cambios de concentración de sustancias de desecho.¹⁸

Este orden, es por lo general, poco resistente a las condiciones de contaminación, exceptuando la especie *Hydropsyche angustipennisy* algunas especies del género *Ryacophila*.¹⁹

c. Orden Díptera

Los dípteros son insectos holometábolos, que se reconocen por sus colores en general poco vistosos y por la presencia de un solo par de alas membranosas, el par anterior está reducido a balancines o halterios en forma de clava.¹⁷

Se pueden citar a dípteros como como indicadores ecológicos de interés a Blephariceridae, Ceratopogonidae, Chironomidae, Empididae, Psychodidae, Simuliidae, Tipulidae, etc.¹⁷

El hábitat de esta orden es muy variado debido al desarrollo de sistemas adaptativos que les permiten habitar una amplia gama de biotopos acuáticos y tienen que ver mucho con el régimen alimentario y también con su mecanismo de respiración. Hay especies muy bien adaptadas a altas concentraciones salinas tanto continentales como del litoral marino (Ephydriidae y Ceratopogonidae) o también a aguas termales sulfurosas (Simuliidae, Ephydriidae, Culicidae), esto hace que tengan pocos competidores en su ambiente.¹⁷

d. Orden Coleóptera.

El Orden Coleóptera es el grupo más numeroso de organismos que se conoce, incluyendo más de 35 000 especies en 170 familias que se distribuyen en 04 subórdenes.¹⁷

Si bien la mayor parte de los coleópteros son terrestres, hay cerca de 10,000 especies que son acuáticas en alguno de sus estadios de desarrollo, se encuentran en todo tipo de aguas continentales, con excepción de ciertos ambientes particulares, como partes muy profundas de lagos o aguas muy contaminadas.¹⁷

Si bien la riqueza de coleópteros acuáticos es más en ambientes lénticos y entre la vegetación litoral, hay familias que habitan casi exclusivamente ambientes lóticos y viven asociados a aguas bien oxigenadas. (Psephenidae y Elmidae)

Pese a que generalmente no alcanzan grandes densidades los coleópteros acuáticos son importantes en las cadenas y redes tróficas. Muchas especies son fuente de alimento para peces y anfibios. Otras son importantes como predadores, y otras especies se alimentan de algas o de detritus orgánicos. La importancia de otras especies radica en su utilidad como bioindicadores de calidad de aguas; si bien grupos como los efemerópteros, plecópteros y tricópteros suelen ser los más utilizados, los coleópteros están ganando reconocimiento para evaluar ambientes acuáticos.²⁰

e. Orden Plecóptera

El Orden Plecóptera es un grupo relativamente pequeño de insectos. Tiene cerca de 3000 especies descritas en el mundo en 16 familias y 286 géneros. Las ninfas son animales acuáticos y viven en la zona más profunda de lagos y arroyos. Las ninfas de los plecópteros son cazadores de otros artrópodos acuáticos o comedores de vegetales. Algunos buscan alimento incluso las algas bénticas. Antes de alcanzar el estadio de imago pasan por sucesivas transformaciones antes de emerger del agua para hacer una vida adulta terrestre. Hay pocas especies sin alas como *Capnia lacustra* y es el único conocido que es siempre acuático.¹⁷

Todas las especies de Plecóptera son intolerantes a la contaminación y su presencia en corrientes o en aguas es suficiente indicador de buena a excelente calidad del agua.²¹

Otra característica importante que poseen los plecópteros es su respuesta a cambios en el ambiente, ya que su sensibilidad generalmente los convierte en indicadores de excelente calidad del agua. Esta situación hace que se les incorpore en índices biológicos de calidad de aguas superficiales. En la mayoría de los índices, los plecópteros están dentro de los organismos más sensibles a los impactos negativos en el ambiente.²¹

En condiciones de bajo oxígeno disuelto se ha observado que las ninfas de las familias Perlidae y Perlodidae muestran un comportamiento conocido como “push up.” Aparentemente, estos movimientos ayudan a aumentar el intercambio de gases. Los “push up” consisten en que las ninfas flexionan sus patas en un movimiento similar al ejercicio de “lagartijas”. Mediante este movimiento las ninfas pasan más agua por sus branquias lo que ofrece mayor disposición de oxígeno. La frecuencia de los “push-up” puede variar, por ejemplo entre invierno y verano, en los mismos especímenes.²¹

f. Orden Prostigmata

Dentro de parasitengona el grupo hydrachnidia, reúne a los “verdaderos ácaros acuáticos” con un rango intermedio entre su pre familia y suborden.¹⁷

Generalmente se utiliza este término para diferenciarlos de otros grupos que incluyen unas pocas especies de hábitos acuáticos o semiacuáticos.¹⁷

Como el resto de los ácaros parasitengónidos, los hidrácaros tienen un ciclo de vida complejo. Se conocen como parásitos protelios porque la larva es parásita, en tanto que ninfas (deutoninfa) y adultos son predadores. La mayoría de los hidrácaros parasitan artrópodos pero también han sido encontrados en vertebrados, moluscos y poríferos. Los estados pupales llamados calyptostasis (protoninfas y tritoninfas) son inactivas.¹⁷

En cuanto a los hábitos alimenticios, hasta el presente se acepta que los adultos son predadores de larvas de insectos especialmente quironómidos así como los huevos de los mismos.¹⁷

g. Orden Amphípoda.

La diversidad, actualmente conocida de crustáceos dulceacuícolas se incrementa permanentemente con hallazgos de taxones de alta jerarquía, sobre todo si consideramos los estudios del medio acuático subterráneo.¹⁷

Los estudios de la diversidad del biotopo hiporreico son recientes y aislados en América del sur, por lo que espera que los aportes futuros enriquezcan el alto grado de diversidad conocido actualmente. Esta afirmación también es válida para otros ambientes de agua dulce aún inexplorados, como es el caso de la mayoría de los cuerpos de agua de las cavernas, cuevas subterráneas construidas por otros crustáceos y ambientes mixohalinos.¹⁷

h. Orden Basommatophora.

Estos organismos pertenecen a la clase gasterópoda, son uno de los grupos con mayor diversidad en el planeta. Dentro de esta clase de animales encontramos a los que se conocen comúnmente como caracoles y babosas. Existen especies marinas dulceacuícolas y terrestres. Se han registrado alrededor de 7,000 especies de agua dulce.¹⁷

La gran mayoría de las especies dulceacuícolas se caracterizan por tener una concha en forma de espiral o de cono. El color de su concha puede variar según su especie, pero por lo general presentan tonalidades cafés o negras. También poseen una cabeza y un pie ventral con el cual se deslizan.¹⁷

Viven en el agua desde 10 cm hasta 2 m de profundidad en el sustrato. La gran mayoría de estos animales son herbívoros, siempre las algas su alimento principal y se encuentran en zonas poco contaminadas.¹⁷

i. Clase Oligochaeta.

Grupo muy heterogéneo que comprende de varias familias. Adaptados a muy diferentes ambientes, son un grupo eminentemente detritívoro. Pueden ser muy abundantes en aguas ricas en materia orgánica, pero son muy sensibles a la contaminación química. Algunas familias pueden vivir en condiciones de anoxia, lo que hace no se les considere útiles como indicadores de alta calidad.¹⁷

j. Clase Turbellaria.

Conocidos como gusanos planos, estos organismos son de vida libre, aunque existen algunas especies que son parásitas. Se les encuentra en agua dulce, en el mar, y existen algunas especies que son terrestres.¹⁷

Son organismos bastante aplanados o también pueden ser cilíndricos. Tienen una especie de cabeza en la parte anterior en donde se encuentran los ojos y la boca. Miden de 5.30 mm, pero existen especies microscópicas.¹⁷

La mayoría de estas especies son hermafroditas y su reproducción es sexual. Estos organismos no son capaces de nadar, sino que se mueven a través del sustrato. La mayoría de especies se alimenta de otros pequeños invertebrados, aunque si existen especies que son herbívoras. Algunas especies son tolerantes a la contaminación de origen orgánico.¹⁷

2.3.5. Índices para estimar la Calidad Ecológica de las Aguas.

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, adaptado y modificado a la fauna del Sur Occidente Colombiano por la Universidad del Valle; EPT, aplicado en el río Angosturita en Argentina, Leiva,²² y IBF, Hilsenhoff.²³

a. Índice Ephemeroptera, Plecóptera, Trichoptera (EPT)

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. En primer lugar se coloca en una columna la clasificación de organismos, en una segunda columna la abundancia y una última columna con los EPT presentes, posteriormente los EPT presentes se dividen por la abundancia total, obteniendo un valor, el cual se lleva a una tabla de calificaciones de calidad de agua que va de muy buena a mala calidad.²⁴

Tabla 1. Calidad del agua según los índices Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera (EPT).

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

Fuente: Plafkin.³⁰

b. Índice Biótico de Familia (IBF).

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 (Tabla 2); para luego aplicar la siguiente fórmula.²³

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

Dónde:

N : Número total de organismos en la muestra

n_i : Número de Individuos en una familia

t_i : Puntaje de tolerancia de cada familia

Tabla 2. Valores de tolerancia de los macroinvertebrados bentónicos según el Índice Biótico de Familia (IBF).

Orden o clase	Familia	Valor de 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
	Tipulidae	3
Plecoptera	Gripopterygiidae	1
	Perlidae	1
Ephemeroptera	Baetidae	4
	Leptophlebiidae	2
	Tricorythidae	4
Coleoptera	Helmidae	4
	Psephenidae	4

Megaloptera	Corydalidae	3
	Sialidae	4
Trichoptera	Glossosomatidae	0*
	Helicopsychidae	3
	Helicophidae	6
	Hydropsychidae	4
	Hidrobiosidae	0
	Hydroptilidae	4
	Leptoceridae	4
Basommatophora	Amnicolidae	6
	Lymnaeidae	6
	Physidae	8
	Chiliniidae	6
Haplotaenidia		10
Lumbriculida		8
Hirudinea		10

*: No toleran a la contaminación orgánica. Fuente: Hilsenhoff.²³

El valor 0 corresponde al menos tolerante a la contaminación orgánica, mientras que el valor 10 corresponde a la mayor tolerancia a la contaminación orgánica.

Luego los valores del IBF se expresan en siete clases de calidad (Tabla 3), correspondiente a una escala de condición biológica que fue desarrollada para determinar el grado de contaminación orgánica.

Tabla 3. Rangos del Índice Biótico de Familia (IBF), expresados en siete clases de calidad de agua.

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

Fuente: Hilsenhoff.²³

c. Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP)

EL índice BMWP, establecido en Inglaterra, es 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 (Tabla 4). Las familias más sensibles (por ejemplo: Perlidae, Oligoneuridae) reciben una puntuación de diez; en cambio las más tolerantes a la contaminación (Oligochaeta) reciben una puntuación de uno. 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 (Tabla 5), el cual muestra el significado de la calidad del agua, además de su representación cartográfica mediante colores. El puntaje promedio por taxón conocido como ASPT (Average Score Per Taxon) esto es, el puntaje total BMWP dividido por el número de los taxones, 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.²⁵

Alba,¹² menciona que los macroinvertebrados a diferencia de otras comunidades, son buenos indicadores de contaminación debido a las siguientes consideraciones:

- La naturaleza sedentaria de muchas especies facilitan la evaluación espacial de efectos adversos a largo plazo en la comunidad.
- Muchos de ellos tienen fases inmaduras con ciclos bastante largos, como el caso de los Ephemeropteros, Plecopteros, etc.
- Viven y se alimentan en o sobre los sedimentos donde tienden a acumularse las toxinas, las cuales se incorporan a la cadena trófica a través de ellos.

Tabla 4. Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del Biological Monitoring Working Party (BMWP).

Familias	Puntuación
Siphonuridae, Heptageniidae, Leptophebiidae, Potamanthidae, Ephemeridae, Taeniopterygidae, Leuctridae, Capniidae, Perlodidae, Perlidae, Chloroperlidae, Aphelocheiridae, Phryganeidae, Molannidae, Beraeidae, Odontoceridae, Leptoceridae, Goeridae, Lepidostomatidae, Brachycentridae, Sericostomatidae, Athericidae, Blephariceridae	10
Astacidae, Lestidae, Calopterygidae, Gomphidae, Cordulegasteridae, Aeshnidae, Corduliidae, Libellulidae, Psychomyiidae, Philopotamidae, Glossosomatidae	8
Ephemerellidae, Nemouridae, Rhyacophilidae, Polycentropodidae, Limnephilidae	7
Neritidae, Viviparidae, Ancylidae, Hydroptilidae, Unionidae, Corophiidae, Gammaridae, Platycnemididae, Coenagriidae	6
Oligoneuriidae, Dryopidae, Elmidae, Helophoridae, Hydrochidae, Hydraenidae, Clambidae, Hydropsychidae, Tipulidae, Simuliidae, Planariidae, Dendrocoelidae, Dugesidae	5
Baetidae, Caenidae, Haliplidae, Curculionidae, Chrysomelidae, Tabanidae, Stratiomyidae, Empididae, Dolichopodidae, Dixidae, Ceratopogonidae, Anthomyidae, Limoniidae, Psychodidae, Sialidae, Piscicolidae, Hidracarina	4

Mesoveliidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Naucoridae, Pleidae, Notonectidae, Corixidae, Helodidae, Hydrophilidae, Hygrobiidae, Dysticidae, Gyrinidae, Valvatidae, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Bithyniidae, Sphaeridae, Glossiphoniidae, Hirudidae, Erpobdellidae, Asellidae, Ostracoda	3
Chironomidae, Culicidae, Muscidae, Thaumaleidae, Ephydriidae	2
Oligochaeta (todas las clases)	1

Fuente: Alba.¹²

Tabla 5. Clases de calidad, significado de los valores Biological Monitoring Working Party (BMWP) y colores a utilizar en representaciones cartográficas.

Clase	Valor	Significado	Color
I	> 150	Aguas muy limpias	Azul
	101-120	Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible	
II	61-100	Son evidentes algunos efectos de contaminación	Verde
III	36-60	Aguas contaminadas	Amarillo
IV	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	< 15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Fuente: Alba.¹²

2.3.6. Calidad Fisicoquímica del Agua

a. 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 CO₂ penetra en el agua, rápidamente se hidrata formando el ácido carbónico.²⁶

b. Dureza Total

En las aguas superficiales 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^{++} y Mg^{++} la dureza se define como la concentración de estos iones expresados como carbonato de calcio.²⁷

c. Calcio y Magnesio

El calcio es un elemento importante en las aguas continentales (quinto en abundancia) y es el resultado del poder solvente del agua sobre las rocas calcáreas con las que se pone en contacto. Se presenta principalmente bajo la forma de carbonato de calcio y está relacionada con la concentración del ión catión Ca^{++} , alcalinidad, pH, temperatura y concentración total de sólidos disueltos. El calcio está muy relacionado con la dureza del agua y es importante para los seres vivos: nutriente en el metabolismo de las plantas superiores, para las membranas celulares, para la formación de estructuras calcáreas. El magnesio es requerido por las plantas por ser parte estructural de la clorofila como integrante de enzimas. En aguas naturales se presentan en concentraciones que van de 5 a 50 mg/l. Los carbonatos en aguas duras están presentes por lo general como CaCO_3 en una proporción de más del 95%, con una presión parcial de CO_2 normal.²⁸

d. 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 (amarillo) y se titula con nitrato de plata hasta la obtención de un color anaranjado o rojo ladrillo.²⁶

e. pH

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, se utiliza como criterio para determinar si la capacidad amortiguadora de la muestra se ha de medir 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.²⁹

El pH de las aguas naturales es regido en gran medida por la interacción de los iones H^+ proveniente de la disociación de H_2CO_3 y los iones OH^- proveniente de la hidrólisis de los bicarbonatos. El pH de las aguas naturales oscila entre dos y 12, prácticamente las aguas con valores inferiores a cuatro están en 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.³⁰

f. Temperatura

Es un factor altamente variable, dado por la altitud, latitud, composición del sustrato, turbiedad, aportes freáticos o pluviales, viento y cubierta vegetal lo que se acentúa en aguas con menor profundidad. Los ríos por su turbulencia en general se mantienen bien mezclados pero se puede establecer una gradualidad de temperaturas entre el borde y el agua ubicada al centro en una misma zona. A lo largo del río se encuentran fluctuaciones de temperatura, que varía de acuerdo a la profundidad y porcentaje de exposición a la radiación solar. La cantidad de radiación retenida por la corriente depende del flujo de calor, del área comprendida y de las descargas que recibe el río.³¹

g. Conductividad eléctrica

Es la expresión numérica de la capacidad del agua de transportar corriente eléctrica, esta capacidad 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 afecta 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):

$$\mu = \frac{1}{2} \sum (C_i)(Z_i^2)$$

Dónde:

C_i : representan la concentración.

Z_i : Carga iónica del componente "i".

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 un

ion a otro, en general se acepta que ésta aumenta en promedio tres por ciento, por cada grado centígrado que aumente la temperatura.²

h. Sólidos Disueltos Totales

Las corrientes de agua transportan materiales, principalmente sólidos disueltos o sólidos suspendidos. El primero se refieren a la materia orgánica en forma iónica y el segundo, 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.³⁰

2.4. Marco Legal

En el Perú se ha legislado la protección del recurso agua en normas ambientales, en normas sectoriales de relevancia ambiental y en el código penal

2.4.1. Ley General del Ambiente (Ley N° 28611)

En el Artículo 98° menciona que la conservación de los ecosistemas se orienta a conservar los ciclos y procesos ecológicos, a prevenir procesos de su fragmentación por actividades antrópicas y a dictar medidas de recuperación y rehabilitación, dando prioridad a ecosistemas especiales o frágiles.

En el Artículo 114°, menciona que el acceso al agua para consumo humano es un derecho de la población. Corresponde al Estado asegurar la vigilancia y protección de aguas que se utilizan con fines de abastecimiento poblacional, sin perjuicio de las responsabilidades que corresponden a los particulares. En caso de escasez, el Estado asegura el uso preferente del agua para fines de abastecimiento de las necesidades poblacionales, frente a otros usos.

El artículo 120°, menciona que el Estado, a través de las entidades señaladas en la Ley, está a cargo de la protección de la calidad del recurso hídrico del país. Asimismo, el Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de su reutilización, considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria para su rehúso, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizarán.

En el Artículo 121°, menciona que el Estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales o de cualquier otra actividad desarrollada por personas naturales o jurídicas, siempre que dicho vertimiento no cause deterioro de la calidad de las aguas como cuerpo receptor, ni se afecte su reutilización para otros fines, de acuerdo a lo establecido en los ECA correspondientes y las normas legales vigentes.

2.4.2. Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338)

Regula el uso y gestión integrada de los recursos hídricos, que comprende agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a ésta. Según el ordenamiento legal peruano el agua es un recurso natural renovable que constituye patrimonio de la Nación y es un bien de uso público, cuya administración solo puede ser otorgada y ejercida en armonía con el bien común, la protección ambiental y el interés de la Nación. En consecuencia no hay propiedad privada sobre el agua, correspondiendo al Estado la asignación de derechos patrimoniales a particulares, condicionado a su disponibilidad.

2.4.3. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (Decreto Supremo 002-2008-MINAM)

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 (Tabla 7) con el objetivo de conservar y preservar las aguas continentales superficiales de manera que sean aptas para el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos y su entorno, maximizando los beneficios sociales, económicos, medioambientales y culturales.

Los estándares de calidad ambiental (ECAs) establecidos para la conservación del ambiente son de observancia obligatoria en todo el Territorio Nacional para aguas continentales superficiales y teniendo en cuenta el tipo de cuerpo de agua (Lagos, ríos y estuarios).

Las aguas superficiales continentales se encuentran físicamente en proporciones acotadas con dinámicas muy distintas. Son utilizadas para diferentes propósitos o usos, no siempre compatibles y por lo tanto se requieren mecanismos de gestión y control.

El recurso hídrico es el sustento de una gran variedad de ecosistemas acuáticos, es por ello la importancia de establecer Estándares de Calidad Ambiental para la conservación del ambiente acuático, lo cual pueda servir como un instrumento de gestión y control en aquellas áreas delimitadas administrativamente para la

conservación de ecosistemas frágiles y de aquellas áreas que albergan hábitats de importancia ecológica. Asimismo, garantizaría la supervivencia de los organismos acuáticos y las especies interdependientes, orientado a conservar el equilibrio ecológico.

Criterios.

- La calidad y cantidad del agua que regresa al sistema y el mantenimiento del caudal hidrológico, son factores relevantes para el sostenimiento de los ecosistemas.
- Para la determinación de los ECAs de agua para la conservación del ambiente natural se debe considerar el enfoque de manejo integral del recurso hídrico.
- Considerar que tanto la disponibilidad y como la distribución del recurso agua son afectadas por los eventos climáticos extremos y desastres naturales.
- Debe considerarse como criterio a la cuenca, como unidad hidrográfica del estudio y la planificación.
- Se debe considerar los ciclos naturales que se producen entre el aire, suelo y agua, las sustancias u organismos que albergan o reciben, el estilo de vida de los pobladores, entre otros.

La propuesta presenta una clasificación en función a los cuerpos de aguas:

- Lagunas oligotróficas y eutróficas.
- Ríos de la Costa, Sierra y Selva.
- Estuarios.

2.5. Zonas de Vida.

2.5.1. bosque húmedo - MONTANO SUBTROPICAL (bh-MS)

a. Ubicación y Extensión

Ubicado en la región latitudinal Subtropical con una superficie total de 756,295.650 Ha. Situado en las provincias de Cangallo, Huamanga, Huanca Sancos, Huanta, La Mar, Lucanas, Sucre, Víctor Fajardo y Vilcas Huamán.

b. Clima

Según el diagrama Bioclimático de Holdridge, la biotemperatura media anual mínima es de 6°C y la máxima es de 12°C el volumen de precipitación anual se encuentra entre los 500 y 1,000mm y el promedio de evapotranspiración potencial varía entre 0.5 y 1 vez el valor de precipitación, ubicándose en la provincia de humedad de: HÚMEDO.³⁵

2.5.2. páramo muy húmedo - SUBALPINO SUBTROPICAL (pmh-SaS)

a. Ubicación y Extensión

Ubicado en la región latitudinal Subtropical con una superficie total de 965,087.681Ha. Situado en provincias de Cangallo, Huamanga, Huanca Sancos, Huanta, La Mar, Lucanas, Parinacochas, Sucre, Víctor Fajardo y Vilcas Huamán.

b. Clima

Según el diagrama Bioclimático de Holdridge, la biotemperatura media anual mínima es de 3°C y la máxima es de 6°C el volumen de precipitación anual se encuentra entre los 500 y 1000mm y el promedio de evapotranspiración potencial varía entre 0.25 y 0.50 veces valor de precipitación, ubicándose en la provincia de humedad de: PERHÚMEDO.³⁵

2.6. VERTEDEROS.

Los vertederos en el tramo estudiado, son de aguas utilizadas utilizadas en labores económicas como la crianza de truchas, de manera artesanal o intensiva. Es así que podemos encontrar tres vertederos de aguas: El primero en la zona de muestreo N° II y III, se encuentra la piscigranja de Qatumpampa; el segundo por la zona de muestreo N° III, donde se encuentra la piscigranja de mediana capacidad denominada “El Bagrecito”; y el tercero en la zona de muestreo N° V, donde se encuentra una piscigranja artesanal de mediana producción, la que aprovecha las aguas de este afluente.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la Zona de Estudio

El presente trabajo de investigación se desarrolló en un tramo de recorrido del río Apacheta, tomando como punto inicial el poblado de San Lucas (Vinchos), y tomando como punto final el puente Suchuna (Santa Fé -Paras), comprendiendo tres riachuelo tributarios, Lirio, Río Niñobamba y Puente Suchuna.

3.1.1. Ubicación Política

Región : Ayacucho.

Provincia : Huamanga y Cangallo.

Distrito : Vinchos y Paras.

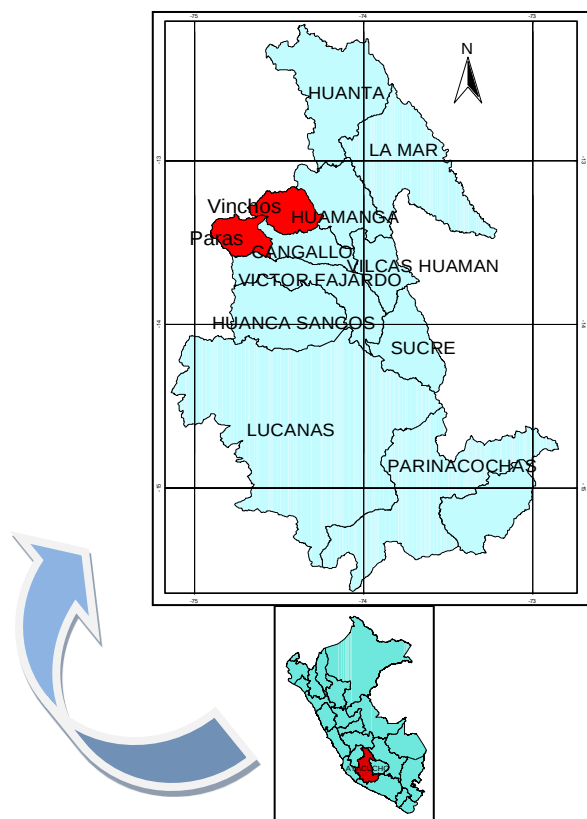


Figura 1. Mapa de ubicación geopolítica de la zona en estudio.

3.1.2. Ubicación Geográfica

El río Apacheta se une con el río Chicllarazo formando el río Cachi el cual, posteriormente se une al río Mantaro, formando la cuenca con el mismo nombre, integrando parte de la Vertiente del Atlántico. A lo largo del río estudiado se determinaron diez zonas de muestreo, de las cuales siete zonas son del mismo cauce del río y tres zonas son afluentes. (Figura 2).

La ubicación de las coordenadas geográficas y la altitud de las zonas de muestreo, se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Ubicación geográfica de las zonas de muestreo del río Apacheta y sus tributarios. Ayacucho 2013.

Zonas de muestreo	Símbolo	Altitud (msnm)	Norte (m)	Este (m)
San Lucas	I	3290	570179	8527030
Ccenuacucho	II	3472	562492	8524254
Qatumpampa	III	3537	559317	8524564
Totorabamba	IV	3693	554290	8526076
Lirio (Afluente)	V	3736	553495	8526221
Rumichaca - Occollo	VI	3835	550136	8524764
Río Niñobamba (Afluente)	VII	3920	546841	8524997
Apacheta-Niñobamba	VIII	3911	546840	8525099
Tunsulla	IX	3980	544291	8525856
Puente Suchuna (Afluente)	X	4096	541779	8525764

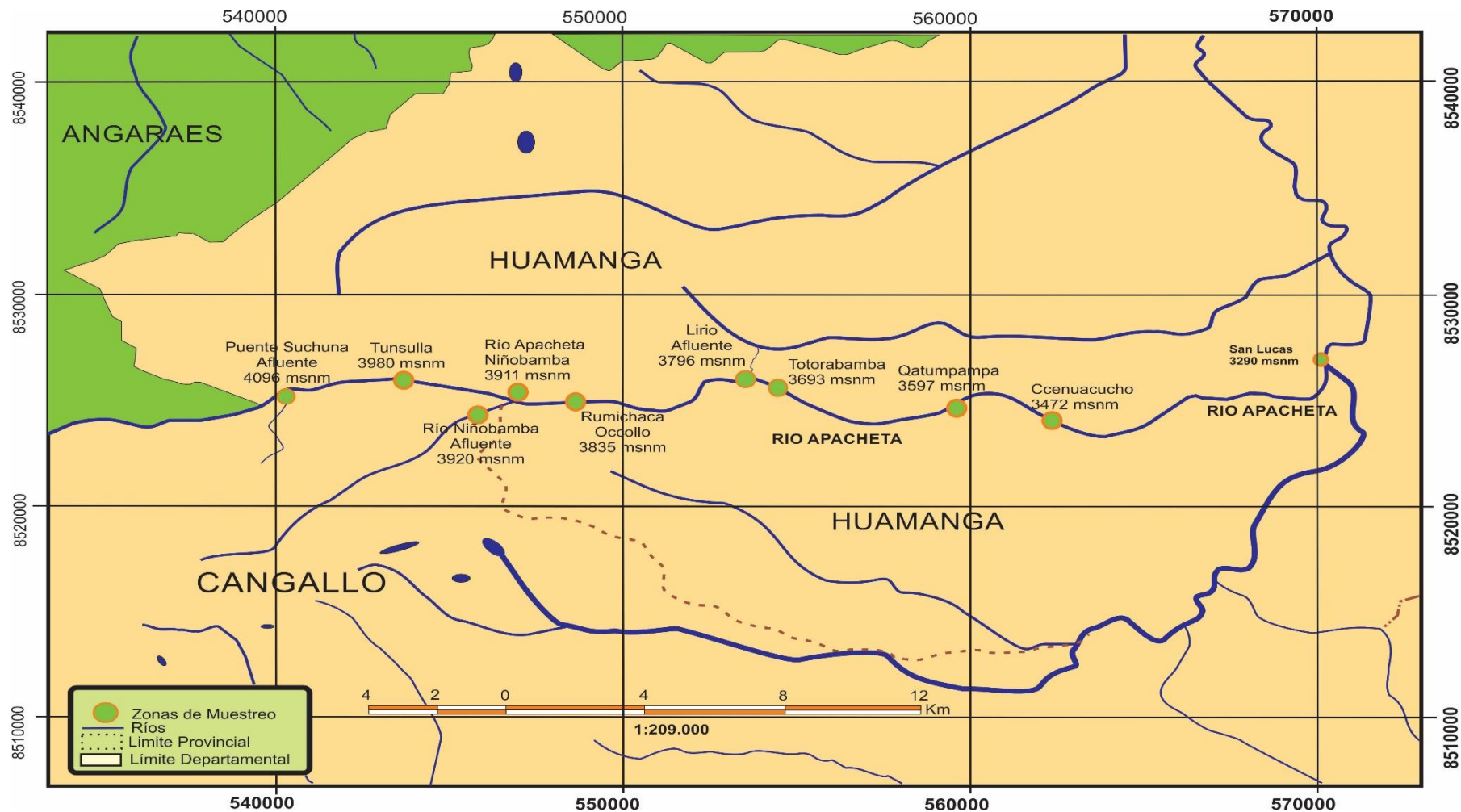


Figura 2: Mapa de ubicación de las 10 zonas de muestreo a lo largo del río Apacheta y sus tributarios. Ayacucho 2013.

3.2. Descripción del Área de Estudio

El río Apacheta en su mayor parte recorre un cauce que está limitado por elevaciones bastante pronunciadas en ambos lados, dejando muy poco espacio para ambas riberas, lo que determina que las áreas de cultivo en ambos márgenes sean mínimas, de subsistencia y estacional. Esta característica también determina que el recorrido sea por una pendiente bastante pronunciada determinando una alta velocidad de la correntada y como consecuencia elevada turbulencia. Así mismo, es muy atractivo la coloración del agua, que varía desde la parte más baja (San Lucas) donde el agua es relativamente cristalina hasta tornarse de color verde amarillenta a medida que vamos ascendiendo río arriba, (Totorabamba, Niñobamba, Tunsulla), seguramente debido a la presencia de algunas sales disueltas en el agua.

Las zonas de muestreo, según la vegetación ribereña predominante pueden ser divididas en dos grandes grupos:

Las zonas de muestreo denominadas San Lucas, Ccenuacucho, Qatumpampa, Totorabamba y Afluente Lirio, que abarca la parte más baja del río Apacheta donde la vegetación arbustiva y arbórea más representativa estuvo compuesta por: “quenua” *Polylepis sp.*, “colle” *Buddleja sp.*, “taya” *Baccharis tricuneata*, “tasta” *Escallonia sp.*, “eucalipto” *Eucaliptus globulus*, “cipres” *Cupressus sp.* entre los más importantes. La temperatura del ambiente fluctúa, entre 6 y 14 °C, durante las horas del día; sin embargo durante la época de invierno las temperaturas pueden disminuir por debajo de 0 °C durante las horas de la noche. La precipitación anual es de 500 a 2000 mm. El afluente Lirio es un riachuelo, cuyo caudal es bastante variable, durante la época de lluvias puede acarrear hasta 500 L/seg, mientras que durante la época de estiaje solamente, entre 40 a 60 L/seg. Asimismo según el mapa de las zonas de vida de la región Ayacucho, elaborado por la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente del Gobierno Regional de Ayacucho, catalogan a esta área como zona de vida: bosque húmedo - MONTANO SUBTROPICAL (bh-MS)

Las zonas de muestreo denominadas Rumichaca Occollo, afluente Niñobamba, río Apacheta-Niñobamba, Tunsulla y Puente Suchuna, que abarca la parte alta del río Apacheta, donde prácticamente la comunidad vegetal solo está representada por gramíneas (porte herbáceo), tales como los conocidos “ichu” *Stipa sp.* *Calamagrostis sp.*, *Festuca sp.* Especies notablemente adaptadas a condiciones ambientales bastante extremas, lo que caracteriza esta zona, donde

la temperatura ambiental durante las horas de la noche baja frecuentemente por debajo de 0 °C. El afluente Niñobamba, es un riachuelo que trae aguas con características muy particulares (elevada salinidad) este riachuelo, entre los tres estudiados es que contribuye con el mayor caudal al río Apacheta. El tributario Puente Suchuna, es un riachuelo que por lo general acarrea un bajo caudal, dependiendo de la época del año. Esta área de muestreo, está representada por la zona de vida paramo muy húmedo – SUBALPINO SUBTROPICAL (pmh - SAS, influenciado en algunas partes por la zona de vida bosque húmedo - MONTANO SUBTROPICAL (bh-MS).

3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

Comunidad macroinvertebrada bentónica y agua del río Apacheta y de sus principales tributarios, desde su unión con el río Chicllarasu hasta metros arriba del poblado de Tunsulla donde se encuentra un riachuelo de aguas cristalinas, encima del cual cruza el puente Suchuna.

3.3.2. Muestra

Se tomaron 80 muestras de las comunidades macroinvertebrados bentónicos y de agua, las que fueron colectados en 10 puntos de muestreo, 7 en el curso mismo del río Apacheta y 3 en los tributarios, con una frecuencia quincenal entre los meses de Julio a Noviembre del 2013, obteniéndose 8 muestras para cada uno de los puntos considerados en el estudio. El sistema de muestreo fue seleccionar determinativamente en función de los centros poblados, tomándose la muestra muchos metros antes de llegar a ellos con la finalidad de localizar la presencia posibles gradientes ambientales, así como buscando la homogeneidad en el lecho donde se realizó el muestreo (presencia de guijarros y profundidad entre 20 y 40 cm). A partir del cual las muestras fueron tomadas sistemáticamente siguiendo la dirección del curso del río.

3.4. Metodología y Recolección de Datos

3.4.1. Colección del Material Biológico

Los muestreos para la colecta de los macroinvertebrados se realizaron en los respectivos puntos principalmente en las orillas y parte central del río, con la finalidad de que los resultados sean comparables entre sí. 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 cinco submuestras por cada punto, los cuales fueron posteriormente homogenizados. La toma de muestra 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 guijarros

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, conjuntamente con otros organismos y otros materiales inertes, la muestra fue colocada en bolsas de polietileno los cuales estuvieron debidamente rotulados para su identificación, para luego agregarles alcohol al 90%. Posteriormente fueron trasladados al laboratorio de Biodiversidad y Sistema de Información Geográfica de la Facultad de Ciencias Biológicas donde fueron separados del resto de material indeseable. Los macroinvertebrados seleccionados fueron colocados en viales (frascos pequeños) al cual se le añadió alcohol al 70% para su conservación y posterior identificación.

Finalmente con la ayuda de microscopios y estereoscopios, para la visualización de características de importancia taxonómica, se procedió a su identificación procurando llegar hasta la categoría de especie empleándose las claves taxonómicas de Fernández y Domínguez,¹⁷ lo que permitió identificar el material biológico hasta el nivel de género.

3.4.2. Colección de Muestras de Agua.

Para la determinación de la calidad fisicoquímico del agua se tomó muestras en frascos de polietileno con una capacidad de 500 mL, el procedimiento para la toma de muestra fue sumergiendo los frascos en la parte media del curso del agua, haciendo que ingrese cuidadosamente el agua sin producir mucha turbulencia, logrando llenarlos completamente y cerrados herméticamente. Finalmente las muestras obtenidas fueron trasladadas al laboratorio de Biodiversidad y Sistema de Información Geográfica, para su respectivo análisis. Las características fisicoquímicas del agua determinadas fueron:

Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos determinados en las aguas del río Apacheta y tres de sus principales tributarios.

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	Electrométrica
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	Electrométrica
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	Conductímetro	Electrométrica
Temperatura	°C	Comparativo	Electrométrica

3.5. Tipo de Investigación

3.5.1. Diseño de Investigación

Se adecuó a un diseño de nivel descriptivo y correlacional, donde se recopiló información de las variables identificadas como características de la comunidad macroinvertebrada (composición y densidad), calidad ambiental del río según los índices de BMWP, IBF y EPT, y la calidad fisicoquímica de las aguas, para posteriormente buscar la relación existente entre ellas, por lo que fue de corte transversal.

3.5.2. Análisis de Datos

Con los datos obtenidos de los macroinvertebrados, la calidad ambiental de los ríos y las características fisicoquímicas del agua en las 10 puntos de muestreo, se construyó una base de datos en los software SPSS 20 y MINITAB 15, a partir del cual se obtuvo estadísticos descriptivos, los cuales fueron presentados en tablas y figuras; así mismo con la finalidad de determinar la existencia de una posible relación entre las variables biológicas (abundancia de los macroinvertebrados) con las variables ambientales, se realizó el análisis de regresión y correlación bivariada de Person. Por otro lado, para determinar posibles diferencias de las zonas de muestreo según las abundancias de los taxones hallados, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis, mientras que según los índices de calidad ambiental, se aplicó el análisis de varianza, el cual en caso de ser significativo, se realizó la prueba de Duncan. En todos las pruebas inferenciales el nivel de confianza asumido fue del 95% ($\alpha=0,05$).

IV. RESULTADOS

Tabla 8. Valores promedios de las características fisicoquímicas del agua del río Apacheta y tres de sus principales tributarios, Ayacucho, 2013.

CARACT. FISICOQUÍMICAS	ZONAS DE MUESTREO										Kruskal- Wallis (p)
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Temperatura (°C)	10,2	9,8	10,4	9,4	8,8	10,5	11	10,7	11,3	9,8	0,818
pH	8	8	8,1	8,1	8,1	8	8,2	7,7	6,8	7,5	0,000
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	12,5	12,5	12	14,3	6,6	14	19	6,8	5,4	6,7	0,008
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	192,5	214,3	229,5	335,3	44,5	316,8	406	231,5	221,3	77,4	0,000
Dureza Cálcica (mg CaCO ₃ /L)	164,5	175,3	190,8	188,8	27,3	189,8	253,3	171,3	181,5	57,1	0,000
Dureza Magnésica (mg MgCO ₃ /L)	28	39	38,7	146,5	17,3	127	152,8	60,3	39,8	20,3	0,000
Cloruros (mg Cl/L)	82,3	88,1	97,1	105,7	8,2	121,4	262,3	37,4	20,7	7,1	0,000
Conductividad (μS/cm)	943,4	843,7	1047	1130	96,1	1286	2529	684,8	546	156	0,000
S.T.D (mg/L)	472	488,6	523,3	564,5	48,6	643,4	1264	345,4	273,1	77,6	0,000

I: San Lucas (Río Apacheta)

II: Ccenuacucho (Río Apacheta)

III: Qatumpampa (Río Apacheta)

IV: Totorabamba (Río Apacheta)

V: Lirio.(Afluente)

VI: Rumichaca– Occollo (Río Apacheta)

VII: Río Niñobamba.(Afluente)

VIII: Río Apacheta-Niñobamba

IX: Tunsulla (Río Apacheta)

X: Puente Suchuna (Afluente)

Tabla 9. Composición de la comunidad macroinvertebrada bentónica en siete zonas de muestreo del río Apacheta y tres de sus principales tributarios, Ayacucho, 2013.

CLASE	ORDEN	FAMILIA	ZONAS DE MUESTREO									
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Insecta	Díptera	Simuliidae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Chironomidae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Muscidae	+	+	0	+	+	0	+	0	+	+
		Blephariceride	0	0	0	0	+	+	+	0	0	0
		Tabanidae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Ceratopoginadae	0	+	+	+	0	+	0	0	0	+
	Ephemeroptera	Baetidae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Leptohyphidae	+	+	+	0	0	0	0	0	0	0
		Leptophlebiidae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Coleóptera	Elmidae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Scirtidae	0	0	+	0	+	+	+	0	0	+
	Trichoptera	Hydropsychidae	+	+	+	0	0	0	0	+	0	0
		Glossosomatidae	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Hydroptilidae	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Helicopsychidae	+	0	0	0	0	0	0	0	0	+
		Limnephilidae	0	0	0	0	+	+	0	+	+	+
		Hydrobiosidae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Plecoptera	Gripopterygidae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Arachnida	Prostigmata	Hydrachnidae	+	+	+	+	+	+	0	+	0	0
Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	0	+	0	+	0	+	+	+	0	0
Gastropoda	Basomatophora	Lymnaeidae	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Physidae	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0
Oligochaeta	Lumbriculida	Lumbriculidae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Haplotaxida	Naididae	+	+	0	+	0	0	0	0	0	0
Turbelaria	Seriata	Planariidae	+	+	+	+	+	0	0	0	0	+

+: Presente; 0: Ausente

I: San Lucas (Río Apacheta)

IV: Totorabamba (Río Apacheta)

VII: Río Niñobamba.(Afluente)

X: Puente Suchuna (Afluente)

II: Ccenuacucho (Río Apacheta)

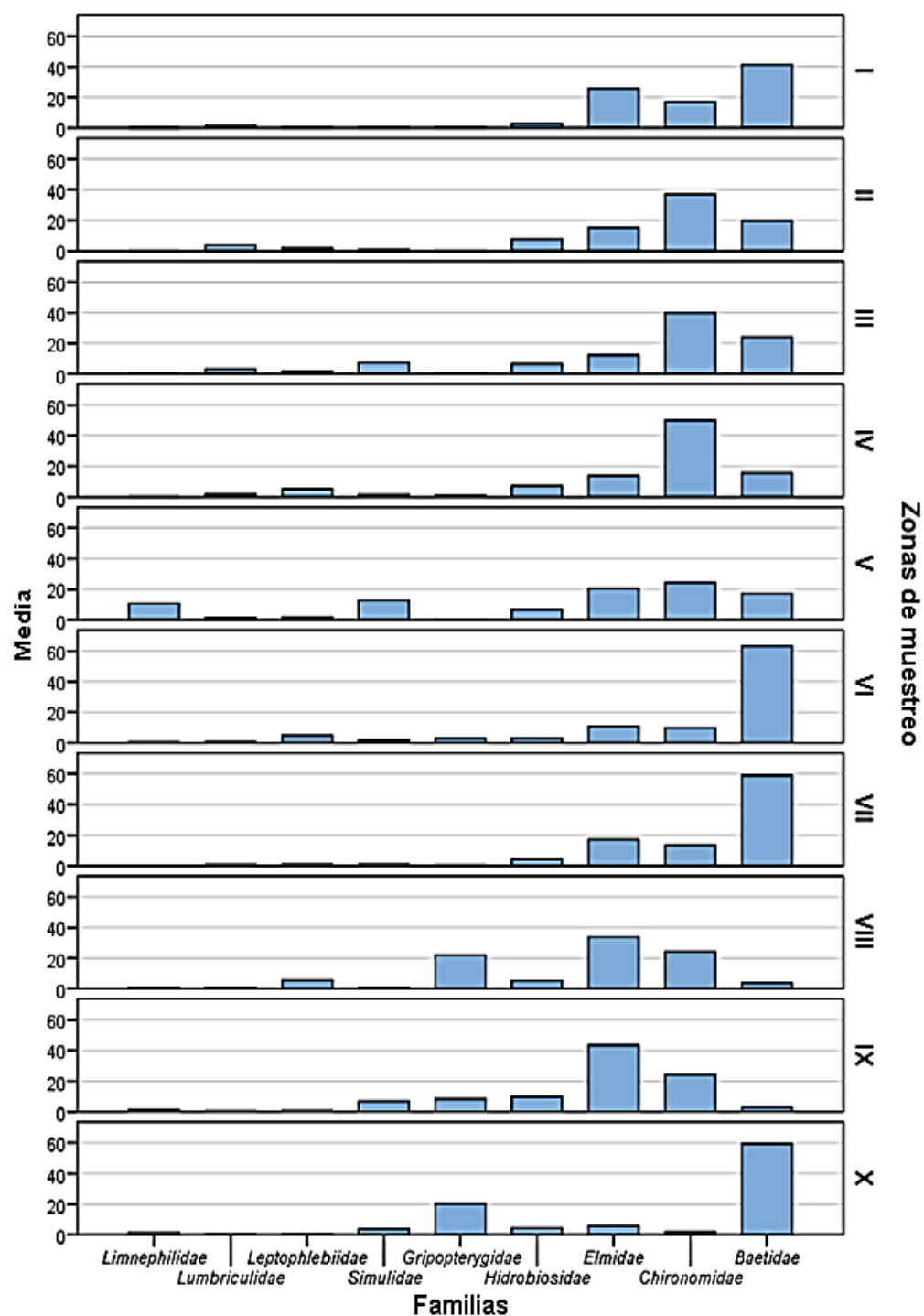
V: Lirio.(Afluente)

VIII: Río Apacheta-Niñobamba

III: Qatumpampa (Río Apacheta)

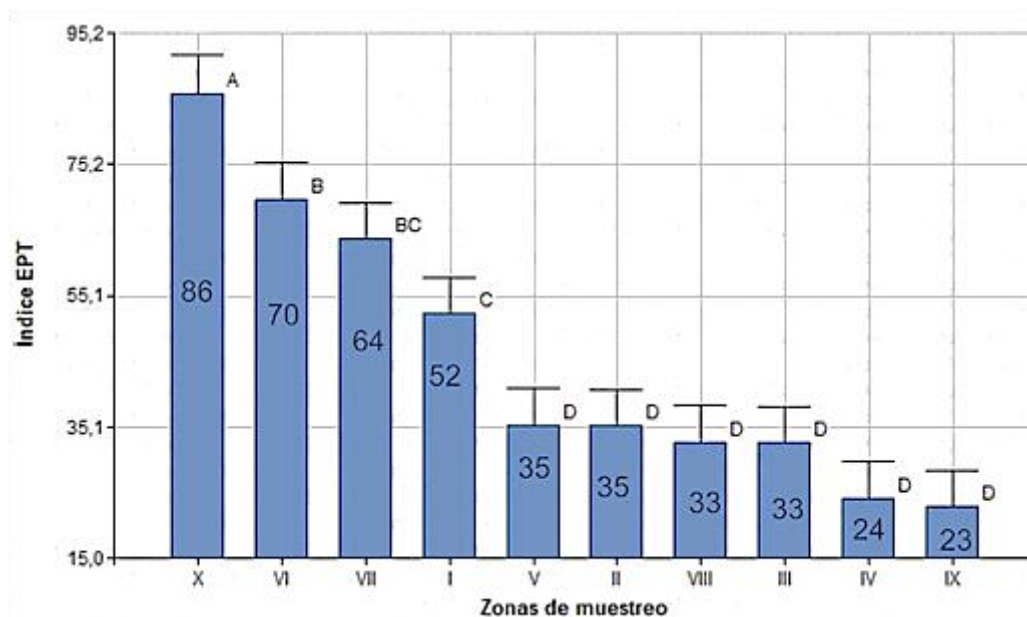
VI: Rumichaca– Occollo (Río Apacheta)

IX: Tunsulla (Río Apacheta)



I: San Lucas (Río Apacheta) II: Ccenuacucho (Río Apacheta) III: Qatumpampa (Río Apacheta)
 IV: Totorabamba (Río Apacheta) V: Lirio.(Afluente) VI: Rumichaca- Occollo (Río Apacheta)
 VII: Río Niñobamba.(Afluente) VIII: Río Apacheta-Niñobamba IX: Tunsulla (Río Apacheta)
 X: Puente Suchuna (Afluente)

Figura 3. Abundancia relativa (porcentaje) de familias de la comunidad macroinvertebrada bentónica en siete zonas de muestreo del río Apacheta y tres de sus principales tributarios, Ayacucho, 2013.



Prueba Análisis de varianza: $F = 14,1$; $p = <0,0001$
 Rangos asignados por el test de Duncan: A, B, C y D

I: San Lucas (Río Apacheta)

II: Ccenuacucho (Río Apacheta)

III: Qatumpampa (Río Apacheta)

IV: Totorabamba (Río Apacheta)

V: Lirio.(Afluente)

VI: Rumichaca– Occollo (Río Apacheta)

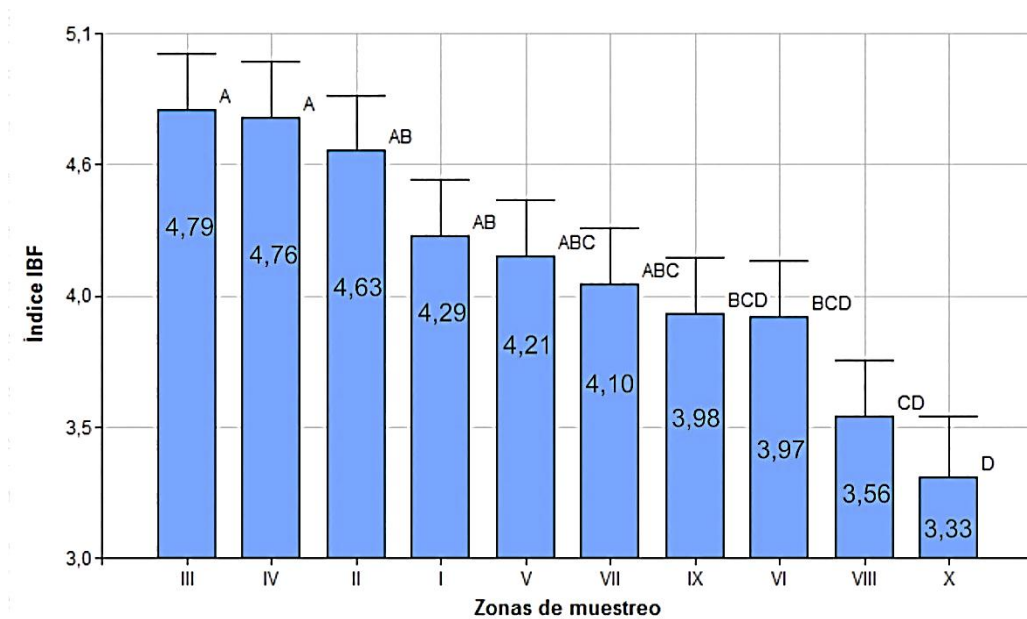
VII: Río Niñobamba.(Afluente)

VIII: Río Apacheta-Niñobamba

IX: Tunsulla (Río Apacheta)

X: Puente Suchuna (Afluente)

Figura 4. Índice Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera - EPT (promedio + desviación típica) en siete zonas de muestreo del río Apacheta y tres de sus principales tributarios, Ayacucho, 2013.



Prueba Análisis de varianza: $F = 4,57$; $p = 0$

Rangos asignados por el test de Duncan: A, AB, ABC, CD y D

I: San Lucas (Río Apacheta)

II: Ccenuacucho (Río Apacheta)

III: Qatumpampa (Río Apacheta)

IV: Totorabamba (Río Apacheta)

V: Lirio.(Afluente)

VI: Rumichaca- Occollo (Río Apacheta)

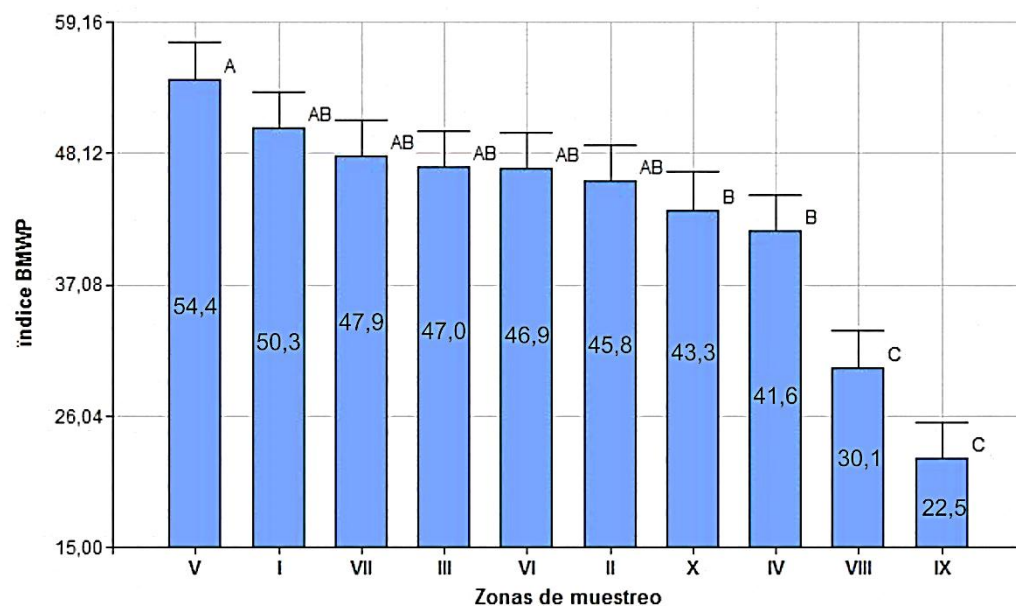
VII: Río Niñobamba.(Afluente)

VIII: Río Apacheta-Niñobamba

IX: Tunsulla (Río Apacheta)

X: Puente Suchuna (Afluente)

Figura 5. Índice Biótico de Familia - IBF (promedio + desviación típica) en siete zonas de muestreo del río Apacheta y tres de sus principales tributarios. Ayacucho, 2013.



Prueba Análisis de varianza: $F = 9,99$; $p = <0,0001$

Rangos asignados por el test de Duncan: A, AB, B y C

I: San Lucas (Río Apacheta)

II: Ccenuacucho (Río Apacheta)

III: Qatumpampa (Río Apacheta)

IV: Totorabamba (Río Apacheta)

V: Lirio.(Afluente)

VI: Rumichaca- Occollo (Río Apacheta)

VII: Río Niñobamba.(Afluente)

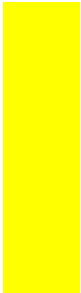
VIII: Río Apacheta-Niñobamba

IX: Tunsulla (Río Apacheta)

X: Puente Suchuna (Afluente)

Figura 6. Promedios del índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) en siete zonas de muestreo del río Apacheta y tres de sus principales tributarios, Ayacucho, 2013.

Tabla 10. Clasificación de las siete zonas de muestreo del río Apacheta y tres de sus principales tributarios, según los índices bióticos. Ayacucho, 2013.

Zona de muestreo	EPT	IBF		BMWP	
	Categoría	Categoría	color	Categoría	color
I	Buena	Buena		Aguas contaminadas	
II	Regular	Buena		Aguas contaminadas	
III	Regular	Buena		Aguas contaminadas	
IV	Mala	Buena		Aguas contaminadas	
V	Regular	Muy bueno		Aguas contaminadas	
VI	Buena	Muy bueno		Aguas contaminadas	
VII	Buena	Muy bueno		Aguas contaminadas	
VIII	Regular	Excelente		Aguas muy contaminadas	
IX	Mala	Muy bueno		Aguas muy contaminadas	
X	Muy Buena	Excelente		Aguas contaminadas	

EPT: Índice Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera

IBF: Índice Biótico de Familia

BMWP: Índice Biological Monitoring Working Party

Tabla 11. Correlación de Pearson para los índices de calidad ambiental del agua y las principales características fisicoquímicas del agua del río Apacheta y sus principales tributarios, Ayacucho, 2013.

CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS	INDICES		
	IBF	EPT	BMWP
Temperatura (°C)	-0,09	-0,06	-0,31
pH	0,32 ^{**}	0,06	0,22 [*]
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	0,15	0,11	0,07
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	0,17	-0,01	-0,16
Dureza Cálcica (mg CaCO ₃ /L)	0,18	-0,10	-0,17
Dureza Magnésica (mg MgCO ₃ /L)	0,08	0,09	-0,08
Cloruros (mg Cl/L)	0,23 [*]	0,11	0,18
Conductividad (μS/cm)	0,16	0,14	0,08
Que tiene correlación S.T.D (mg/L)	0,20	0,12	0,08

Tabla 12. Correlación de Pearson para los índices de calidad ambiental del agua del río Apacheta y tres de sus principales tributarios, Ayacucho, 2013.

	Índice IBF	Índice EPT	Índice BMWP
Índice IBF	1	-0,59**	0,09
Índice EPT	-0,59**	1	0,28*
Índice BMWP	0,09	0,28*	1

V. DISCUSIÓN

En la tabla 8, se muestra los valores promedios de las características fisicoquímicas de las aguas del río Apacheta y tres de sus principales tributarios, se observa que dichos valores son muy variables con la excepción de la temperatura, principalmente tomando en cuenta los tres tributarios y el mismo río de Apacheta, así por ejemplo los valores promedios hallados para la alcalinidad, muestran grandes diferencias para la zona I y II con 12,5 mg CaCO_3/L , en la zona III con 12,0 mg CaCO_3/L , en la zona IV con 14,3 mg CaCO_3/L , en la zona V con 6,6 mg CaCO_3/L , en la zona VI con 14,0 mg CaCO_3/L , en la zona VII con 19,0 mg CaCO_3/L , en la zona VIII con 6,8 mg CaCO_3/L , en la zona IX con 5,4 mg CaCO_3/L y en la zona X con 9,8 mg CaCO_3/L , los 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,³² señala que la alcalinidad representa un principal sistema amortiguador del agua dulce, además representa un papel relevante en la productividad de los cuerpos de aguas 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, en los sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica, se observa una tendencia de aumento con el discurrir de las aguas del río Apacheta, así para la zona I (aguas abajo) registra promedios de 472 mg/L y 943,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente; mientras que en la zona X (aguas arriba) se registra los valores mínimos para las mismas características, como son 77,6 mg/L y 156 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, estas variaciones se debe a que los ríos al circular por su cauce, tienen oportunidad de disolver una mayor cantidad de

sales y minerales, tal como lo sostiene Roldan,³² Margalef,²⁹ y Wetzel,²⁸ de la misma manera se puede observar que en la zona VII los valores de los sólidos disueltos y la conductividad son sumamente elevados, alcanzando valores medios de sólidos disueltos totales y conductividad de 1264 mg/L y 2529 μ S/cm, respectivamente, esto probablemente se debe a que dicho recurso hídrico tienen como origen aguas termales que se hallan en las alturas de la zona, lo que determina la existencia de gran cantidad de iones elevando los valores de las características señaladas. Los valores señalados incluso son mayores que los hallados por Carrasco,² para algunos ríos afectados por la contaminación. Por otro lado, también se observa que existe valores mínimos, siendo estas los de la zona V, cuyas aguas tienen origen en lagunas cuyo origen son principalmente la acumulación de precipitaciones pluviales, por lo que los valores de dichas características son mínimas. Lo hallado coincide con lo manifestado por Roldan,¹⁸ que manifiesta que los ecosistemas lóticos, en cuanto a sus características fisicoquímicas pueden ser muy variables, incluso aquellos que ocupan zonas geográficas muy cercanas, por lo que es incoherente pretender generalizar características fisicoquímicas a ríos, incluso muy próximos.

En la Tabla 9, se observar la composición de la comunidad macroinvertebrada de los 7 puntos muestreados a lo largo del río Apacheta y de sus 3 tributarios, registrándose la presencia de organismos pertenecientes a 6 clases, 11 órdenes y 25 familias. Es importante señalar que los órdenes de Diptera y Trichoptera son los que mostraron mayor número de familias en comparación con el resto, siendo no menos importantes las demás órdenes. Así mismo, resalta que la composición y presencia registrada en las zonas de muestreo es diferente, es así en la zona 1 (San Lucas) se halló 19 familias, en la zona II (Ccenuacucho) 18, en las zonas III (Qatumpampa), IV (Totorabamba), V (Lirio) y VI (Rumichaca–Occollo) 15 familias, en las zonas VII (Río Niñobamba) y VIII (Río Apacheta) 13, en la zona IX (Tunsulla) 11 y en la X (Puente Suchuna) 15 familias, por lo que se puede apreciar que pese a que la comunidad estudiada se halla en el curso del mismo río, éstas varían. Los resultados hallados coinciden con los reportados por Jaico⁷ y Carrasco² los que afirman que la composición y abundancia de la comunidad macroinvertebrada, no es similar en los diferentes zonas de discurrimento de los ríos, existiendo diferencias debido a las variantes de las condiciones ambientales, más aún con la existencia de un tributario que presenta, por lo general, diferentes características fisicoquímicas y su influencia

en el río cuando éste se une al río principal. Por otro lado, también se aprecia la presencia de familias que son persistentes como Simuliidae, Chironomidae, Tabanidae, Baetidae, Leptophlebiidae, Elmidae, Hydrobiosidae, y Lumbriculidae, que están presentes en todos los puntos de muestreo, muy probablemente a que presentan especies que tienen un amplio rango de tolerancia a las diferentes condiciones medioambientales, como las que se registraron en el presente trabajo. También se observa que en el punto I (San Lucas), se halló individuos de las familias Hydroptilidae y Glossosomatidae ambos del orden Trichoptera, cuyo hábitat son aguas corrientes, bastante oxigenadas, por lo que son considerados como indicadores de aguas oligotróficas (de buena calidad), lo que nos hace asumir que en dicha zona de muestreo presenta aguas sin mucha alteración, de buena calidad y muy oxigenadas,¹⁷ lo mencionado es corroborado por Palma,³³ la que efectivamente afirma que en esta zona observó aguas cristalinas y con abundante vegetación hidrófita. Por otro lado, en la zona de muestreo II (Ccenuacucho), se halló al molusco de la familia Physidae, pequeños caracoles hasta unos 15 mm que son relativamente tolerantes a la contaminación orgánica, organismos que pueden ser hallados incluso en plantas depuradoras de aguas negras,³⁴ la presencia de éste organismo probablemente esté estimulada por la presencia en estas aguas residuales proveniente la estación pesquera, donde se crían truchas en altas densidades. Es importante mencionar también, que se halló representantes de la familia Blephariceridae del orden Diptera, en las zonas de muestreo (V, VI, VII), estos organismos son considerados como indicadores de agua muy limpias, tal como los describe Durán,³⁴ quién los describe como organismos que presentan adaptaciones morfológicas como ventosas y uñas ventrales, que les permite fijarse a superficies sumergidas (piedras) que se hallan en medio de corrientes muy fuertes y sobre todo a que son muy sensibles a cualquier contaminación.

En la Figura 3, se observa la abundancia relativa de las familias de la comunidad macroinvertebrada bentónica halladas en el río Apacheta y tres de sus principales tributarios. Las familias más abundantes en la zona I (San Lucas) fueron la familia Baetidae, conjuntamente con la familia Elmidae, y la sub familia Chironomidae, en la zona II (Quenuacucho) la familia Chironomidae, seguida por Baetidae, Elmidae e Hidrobiosidae; en la zona III (Qatumpampa) la familia Chironomidae seguida por Baetidae, Elmidae, Hydrobiosidae y Simuliidae; en la zona IV (Totorabamba) la familia Chironomidae seguida por Baetidae, Elmidae,

Hydrobiosidae y Leptophlebiidae; en la zona V (Lirio – Afluente) la familia Chironomidae seguida por Elmidae, Baetidae, Simuliidae y Limnephilidae; en la zona VI (Rumichaca– Occollo) la familia Baetidae seguida por Elmidae y Chironomidae; en la zona VII (Rio Niñobamba – Afluente) la familia Baetidae seguida por Elmidae y Chironomidae; en la zona VIII (Río Apacheta) la familia Elmidae seguida por Chironomidae y Gripopterygidae; en la zona IX (Tunsulla) la familia Elmidae seguida por Chironomidae y finalmente en la zona X (Puente Suchuna - Afluente) la familia Baetidae y Gripopterygidae. En forma general los más abundantes fueron los de la familia Baetidae, Elmidae y Chironomidae en la mayoría de las zonas de muestreo, que son pertenecientes a los órdenes de Ephemeroptera, Coleoptera y Diptera respectivamente, esto posiblemente como consecuencia de la falta de depredadores, la disponibilidad de alimento o por una combinación de ambos, reflejando en el incremento de las poblaciones que han tenido la capacidad de adaptarse, así como las condiciones del hábitat en el aspecto fisicoquímico favorables que pueden generar incrementos señalados.²⁶

En la Figura 4 se observa los valores promedios y la desviación típica del índice biótico Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT) halladas en las diez zonas de estudio (curso del río Apacheta y sus tres principales tributarios). Se observa que en la zona X, presenta un valor de 86%, lo que nos señala que son aguas de muy buena calidad, las zonas VI, VII y I presentan valores de 70%, 64% y 52% respectivamente, indicando que está dentro del rango de buena calidad y finalmente las zonas IV y IX con valores de 24% y 23%, respectivamente están dentro del rango de mala calidad de agua, tal como se muestra en el anexo 1. Al aplicar la prueba de análisis de varianza (anexo 2), se halló significancia estadística ($p < 0.05$); lo que nos permite afirmar que existen zonas que son diferentes en cuanto a los valores de éste índice, por lo que se procedió a realizar el test de Duncan ($\alpha = 0.05$), cuyos resultados se observa en la asignación de diferentes categorías a través de letras (A,B,C y D), destacando que la zona X es la que presenta los mayores valores de éste índice y los menores las zonas IV y IX. El resultado se debe a que en la zona X se encontró en mayor abundancia la familia Gripopterygidae, perteneciente a la orden Plecoptera, así como Baetidae (Ephemeroptera), la primera de las mencionadas, es considerada como indicadora de aguas muy limpias, mientras que la segunda de aguas de regular calidad. También podemos encontrar con menores niveles de abundancia a familias como Hydrobiosidae, Leptophlebiidae y Limnephilidae

que son indicadoras de aguas sin ninguna contaminación; también es necesario mencionar que dichas zonas, se hallan ligeramente por encima de los 4000 y que en el curso del río no existen zonas de aglomeración humana que pudieran contaminar sus aguas. En las zonas VI, VII y I se encontraron individuos pertenecientes a las familias Baetidae, Leptohyphidae, Leptophlebiidae, Hydropsychidae, Glossosomatidae, Hydroptilidae, Helicopsychidae, Limnephilidae, Hydrobiosidae y Gripopterygidae, que son considerados indicadoras de aguas de buena calidad y mediana calidad, en las zonas señaladas se observa la presencia de algunas agrupaciones humanas, pero con tamaño de población muy pequeña. En las zonas V, II, VIII, III, IV y IX se encontraron a las familias Baetidae, Leptohyphidae, Leptophlebiidae, Hydropsychidae, Limnephilidae, Hydrobiosidae y Gripopterygidae en mínimas cantidades, pero predominando en mayor abundancia a las familias Elmidae, Chironomidae y Simuliidae que son indicadores de mala calidad de agua,² en las zonas señaladas se pudo apreciar la presencia de centros poblados con mayor número de personas como la que existe en Qatumpampa y Totorabamba, así como la presencia de criaderos de truchas, que incorporan residuos orgánicos al curso del río Apacheta.

La Figura 5, se muestra los valores promedios y la desviación típica del índice Biótico de Familia (IBF) en las diferentes zonas muestreadas del río Apacheta y tres tributarios. Se observa que en las zonas III, IV, II y I se obtienen valores de 4,79; 4,76; 4,63 y 4,29, respectivamente, lo que nos señala que presentan aguas que son catalogadas como de buena calidad. Las zonas V, VII, IX y VI se obtiene valores de 4,21, 4,10, 3,98 y 3,97 respectivamente, por ello las aguas muestreadas en dichas zonas son catalogadas como de muy buena calidad y finalmente para la zona VIII y X se obtiene valores promedios de 3,56 y 3,33, respectivamente, lo que nos indica que son aguas de excelente calidad. Al realizar la prueba análisis de varianza (tal como se observa en el anexo 4) se halló significancia estadística ($p < 0,05$); lo que nos permite afirmar que mediante este índice biótico, por lo menos una de las zonas es diferente, por lo que se procedió a realizar el test de Duncan, a partir del cual se asignaron categoría (A, B, C y D), donde nuevamente la zona X (cabecera del río) es el que mostró mayor diferencia en comparación con el resto de zonas estudiadas; así mismo, las zonas en las que se hallan cercanas a centro urbanos y criaderos de truchas, son catalogadas en forma general de buena y regular calidad. El resultado se

debe a que en las cuatro primeras zonas se encontraron con mayor abundancia a la familia Chironomidae, Baetidae, Elmidae, Hydrobiosidae y la familia Simuliidae, familias que son tolerantes a la contaminación orgánica. Así mismo en las zonas V, VI, VII y IX se encontraron con mayor abundancia a las familias de las cuatro familias ya mencionadas más las familias de Limnephilidae, Gripopterygidae y Blephariceridae, familias son indicadores de aguas oligotróficas y tienen un estrecho rango de tolerancia a la contaminación orgánica. Finalmente en las zonas VIII y X se encontraron con mayor abundancia a la familia Baetidae, Elmidae, Chironomidae, Gripopterygidae, con la diferencia de Hydrobiosidae y Leptophlebiidae que son excelentes indicadores de aguas limpias, ya que son menos tolerantes a la contaminación orgánica, resultados que coinciden con lo manifestado por Carrasco.²

En la Figura 6, se observa los valores promedios del índice biótico BMWP por las zonas de muestreo en el río Apacheta y sus tres principales tributarios. Se observa que en la zona V, I, VII, III, VI, II, X y IV se tienen valores de 54,4; 50,3; 47,9; 47,0; 46,9; 45,8; 43,3 y 41,6 respectivamente, indicando que esta zona posee aguas contaminadas y de calidad media, en las zonas VII y IX se tienen valores de 30,1 y 22,5 respectivamente los que indican que estas zonas poseen aguas muy contaminadas y de escasa calidad. Al aplicar la prueba estadística del análisis de varianza para comparar las zonas de muestreo, se halló significancia estadística ($p < 0,05$) la misma que se puede observar en el anexo 6, esto nos permite afirmar que mediante este índice biótico las zonas de muestreo son diferentes entre ellas, del mismo modo se puede observar la categorización de las zonas de muestreo, donde la zona V es similar a las zonas I, VII, III, VI y II, y estas últimas similares a las zonas X y IV, pero diferentes a las zonas VIII y IX. El resultado se debe a que en las aguas de las zonas V, I, VII, III, VI, II, X y IV se encontraron en mayor abundancia a las familias Limnephilidae, Leptophlebiidae que son macroinvertebrados indicadores poco tolerantes, ya que poseen una puntuación mayor en la tabla de los índices del BMWP; en comparación con las zonas VIII y IX se encontraron en abundancia a la familia Elmidae y Chironomidae, estos macroinvertebrados tienen un amplio rango de tolerancia a la contaminación orgánica y son indicadores de aguas contaminadas, pues poseen una puntuación menor de acuerdo al Índice BMWP.²² Es importante resaltar que los resultados obtenidos en esta figura son diferentes a los resultados de los otros índices ya que indican que son de buena

calidad mientras que este índice menciona que son aguas contaminadas, esto se debe a que este índice asigna diferentes puntajes de tolerancia a las familias con respecto a los dos índices mencionados anteriormente.

En la Tabla 10, se observa la clasificación de las siete zonas de muestreo del río Apacheta y tres de sus principales tributarios, según los índices bióticos, se muestra que de acuerdo al índice EPT se tienen aguas de muy buena calidad, (zona X); aguas de buena calidad (zona I, VI y VII); aguas de regular calidad (zonas II, III, V y VIII); y aguas de mala calidad (zona IV y IX); mientras que de acuerdo al índice IBF se tienen aguas de excelente calidad (zona VIII y X); aguas de muy buena calidad (zona V, VI, VII y IX); y aguas de buena calidad (zonas I, II, III y IV); finalmente de acuerdo al índice BMWP se tienen aguas contaminadas (zona I, II, III, IV, V, VI, VII y X) y aguas muy contaminadas (zona VIII y IX), de acuerdo a los resultados mencionados se observa que los índices IBF y EPT son más o menos similares, mientras que el índice BMWP es diferente a los dos índices mencionados anteriormente, esto debido a que este último índice es cualitativo (presencia/ausencia), mientras los dos primeros índices son cuantitativos ya que consideran la abundancia de cada taxón.¹⁷

En la tabla 11, se muestra la correlación de Pearson que existe entre los índices de calidad ambiental del agua (IBF: Índice Biótico de Familia; EPT: Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera y BMWP: Biological Monitoring Working Party) y las características fisicoquímicas del agua del río Apacheta y sus tres tributarios. En este cuadro resalta el hecho, de que los índices con mayor número de correlación significativa con las características fisicoquímicas del agua son en primer lugar el IBF (correlaciona con dos características fisicoquímicas) seguida del BMWP (correlaciona con una característica fisicoquímica), mientras que el índice EPT no muestra correlación significativa con ninguno de ellos, lo que nos daría referencia de que el IBF y el BMWP son los más sensibles a las gradientes (cambios) que se haya podido registrar en las características fisicoquímicas registradas en las zonas de muestreo, sin embargo al encontrar que el índice BMWP, da resultados diferentes al catalogar ambientalmente las zonas de muestreo en comparación con los índices EPT e IBF, se podría descartar como uno de los más sensibles, se debe resaltar que aguas arriba en la que se hallan las zonas de muestreo VIII y X no están influenciados por la presencia humana por lo que no puede estar contaminada. Lo descrito nos hace afirmar que el índice más sensible sería el IBF, los

resultados coinciden con lo manifestado por Carrasco,² que afirma que el índice IBF es más sensible.

En la Tabla 12, se observa la correlación de Pearson entre los índices de calidad ambiental del agua en prueba. De acuerdo a lo hallado, se observa que existe correlación altamente significativa entre el índice IBF y el índice EPT, siendo la correlación de naturaleza negativa (inversa). Partiendo del hecho de que el índice IBF, al correlacionar con dos características químicas (mayor número en comparación con otras) y además de que ambos índices son catalogados como cuantitativos, se estaría confirmando que serían los más adecuados para determinar la calidad ambiental del agua del río Apacheta, pese a las limitantes que podrían tener, tal como se mencionó anteriormente. Así mismo, al observar la Tabla 10, se aprecia que calificaciones similares a la calidad de las aguas del río Apacheta, son dados por los índices IBF y EPT (en la mayoría de los casos, buena y muy buena), mientras que las calificaciones de BMWP otorgan calificaciones de aguas contaminadas. Frente a lo hallado, se afirma que los índices más sensibles para evaluar la calidad ambiental del río Apacheta son IBF y EPT.

VI. CONCLUSIONES

1. Las características fisicoquímicas determinadas tales como alcalinidad, dureza total, dureza cálcica, dureza magnésica, cloruros, pH, conductividad y sólidos disueltos totales, en las diez zonas de muestreo son muy variables, las cuales otorga a cada zona características ambientales diferentes, siendo peculiar en cada una.
2. 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.
3. 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.

4. 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.

VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar el índice IBF (índice Biótico de Familia) para el estudio de las gradientes ambientales de las aguas del río Apacheta.
2. Realizar mayores estudios de la comunidad macroinvertebrada de esta cuenca, especialmente río arriba donde las condiciones ambientales se hacen muy rigurosas.
3. Profundizar la caracterización de los taxones hasta niveles específicos (especies) y establecer las puntuaciones de capacidad de tolerancia (amplio o estrecho rango) a las gradientes ambientales, para así mejorar y adaptar los índices, especialmente, IBF y EPT a nuestra zona.
4. Realizar posteriores estudios en esta zona, incrementando otros parámetros fisicoquímicos y biológicos para tener un mayor panorama de la calidad ambiental de estos ecosistemas.
5. Realizar estudios específicos sobre la sub familia Chironominae, pues esta familia muestra un gran potencial como indicadoras de aguas muy contaminadas.
6. Realizar trabajos de investigación similares al presente, pero en épocas de lluvia, específicamente en los meses de diciembre a mayo, para tener un mayor panorama sobre calidad ambiental de las aguas de este río.

VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Paredes E C, Iannacone O J, Alvaríño F L. Uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad de agua en el río Rimac, Lima-Callao, Peru. *Rev Colomb Entomol*. 2005 Dec; 31(2):219–25.
2. Carrasco Badajoz C. Comunidad macroinvertebrada bentónica y su relación con la calidad de agua en cinco ríos de la provincia de Huamanga. [Tesis]. [Ayacucho Perú]: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; 2005.
3. Figueroa R, Palma A, Ruiz V, Niell X. Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región. *Rev Chil Hist Nat*. 2007 Jun;80(2):225–42.
4. Rivera-Usme JJ, Camacho-Pinzón DL, Botero-Botero A. Estructura numérica de la entomofauna acuática en ocho quebradas del departamento de Quindío-Colombia. *Acta Biológica Colomb*. 2008 Aug;13(2):133–46.
5. Hahn-vonHessberg CM, Toro DR, Grajales-Quintero A, Duque-Quintero GM, Serna-Urbe L. Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, Universidad de Caldas, Municipio de Palestina, Colombia. *Bol Científico Cent Mus Mus Hist Nat*. 2009 Dec;13(2):89–105.
6. Walteros Rodríguez JM, Daza Castro JF. Caracterización hidrobiológica y evaluación ecológica de la calidad del agua del Río Guarino, Departamento de Caldas. *Fac Cienc Nat Exactas Univ Val*. 2009;12:31–44.
7. Jaico Huayanay M. Índices bióticos y de diversidad de la comunidad macroinvertebrada bentónica para determinar la calidad de los ríos Cachi, Pongora y Cachimayo, Ayacucho 2010. [Tesis]. [Ayacucho Perú]: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; 2011.
8. Rivera Usme JJ, Pinilla Agudelo GA, Rangel Ch JO. Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos y las variables físicas y químicas de la pizca de su relación en el humedal Jaboque-Colombia. *Caldasia*. 2013;35(2):389–408.
9. Coello JR, Ormaza RM, Déley ÁR, Recalde CG, Ríos AC. Aplicación del ICANSF para determinar la calidad del agua de los Ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho - Parque Nacional Sangay-Ecuador. *Rev Inst Investig Fac Ing Geológica Minera Metal Geográfica* [Internet]. 2014 Mar 19;16(31). Available from: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/5855>
10. Cavalcanti Muñoz JE. Comunidad macroinvertebrada bentónica e índices bióticos para determinar la calidad biológica en tres ríos del distrito de Kimbiri, La Convención – Cusco, 2011. [Tesis]. [Ayacucho Perú]: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; 2014.
11. Tyler G, Miller J. Ciencia ambiental: preservemos la tierra. Ed Thomposon México [Internet]. 2002 [cited 2015 May 3]; 5. Disponible en: <http://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=Ciencia+ambiental%3A+preservemos+la+tierra&btnG=&lr=>
12. Alba Tercedor J. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. Instituto Tecnológico Geominero de. España: IGME; 1996. 203-213 p.
13. Vargas L. Tratamiento del agua para el consumo humano, calidad fisicoquímica del agua y su influencia en el tratamiento. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - CEPIS; 2004.

14. Alba Tercedor J, Millán FJ. Evaluación de las variaciones estacionales de la calidad de las aguas del río Guadalfeo, basada en el estudio de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos y de los factores físico-químicos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza España [Internet]. 1985 [cited 2015 May 3]; Disponible en:
http://scholar.google.es/scholar?q=Evaluaci%C3%B3n+de+las+variaciones+estacionales+de+la+calidad+de+las+aguas+del+r%C3%ADo+Guadalfeo%2C+basada+en+el+estudio+de+las+comunidades+de+macroinvertebrados+acu%C3%A1ticos&btnG=&hl=es&lr=lang_es&as_sdt=0%2C5
15. Pérez GR, Restrepo JJR. Fundamentos de limnología neotropical. Colombia: Universidad de Antioquia; 2008. 464 p.
16. Nebel BJ, Wright RT. Ciencias ambientales: ecología y desarrollo sostenible. 6 Edc. Mexico: Pearson Educación; 1999. 735 p.
17. Domínguez E, Fernández HR. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. 1a Edición. Tucumán, Argentina: Fundación Miguel Lillo; 2009. 654 p.
18. Orden Trichoptera (tricópteros o frigáneas) [Internet]. Ciencia y biología. [cited 2015 May 3]. Disponible en: <http://cienciaybiologia.com/orden-trichoptera-tricopteros-o-friganeas/>
19. Moretti G. Guía para el reconocimiento de las especies animales de las aguas continentales italianas: moscas Caddis (Trichoptera). Cons Super Investig Científicas [Internet]. 1983 [cited 2015 May 3]; Disponible en: http://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0,5&q=Guide+per+il+riconoscimento+delle+specie+animali+delle+acque+interne+italiane
20. Bournaud M, Richoux P, Usseglio-Polatera P. Una aproximación a la síntesis de la información ecológica cualitativa de las comunidades coleópteros acuáticos. Los Ríos Regulados Investig Gest. 1992 Jun 1;7 (2):165–80.
21. Gutiérrez Fonseca PE. Plecoptera. Rev Biol Trop. 2010 Dec; 58:139–48.
22. Leiva M. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en la Cuenca del estero Peu Peu Comuna de Lautaro IX Región de la Araucanía. [Tesis]. [Chile]: Universidad Católica de Temuco.; 2004.
23. Hilsenhoff W. Evaluación rápida sobre el terreno de la contaminación orgánica con el nivel de Índice Biótico de Familia. Of América Norte Soc Entomol. 1988;
24. Plafkin P. Protocolo para la evaluación en ríos y arroyos utilizando macroinvertebrados bentónicos y peces. Agencia Ambient E U. 1989.
25. Fernández HR, Domínguez E. Guía para determinación de los Artrópodos Bentónicos Sudamericanos. 3a Edc. Argentina: Universidad Nacional de Tucumán; 2001. 219 p.
26. Miller GT. Ecología y medio ambiente [Internet]. México: Grupo Editorial Iberoamerica; 1994 [cited 2015 May 4]. Disponible en:
<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDI&SCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=60747&indexSearch=ID>
27. Cole GA. Manual de Limnología [Internet]. Argentina: Hemisferio Sur; 1988 [cited 2015 May 4]. 378 p. Available from:
<http://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=Manual+de+Limnolog%C3%ADa&btnG=&lr=>
28. Wetzel RG. Limnología [Internet]. España: Editorial Omega; 1981 [cited 2015 May 4]. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=52175>
29. Margalef R. Limnología [Internet]. España: Barcelona, Omega; 1983 [cited 2015 May 4]. Disponible en: <http://bases.bireme.br/cgi->

- bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDI
SCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=132334&indexSearch=ID
30. Roldán Pérez G. Fundamentos de limnología neotropical. [Internet]. 2da Edic. Colombia: Universidad de Antioquia. Universidad Católica de Oriente y Académica Colombiana de Ciencias-ACCEFYN; 2008 [cited 2015 May 4]. 440 p. Disponible en:
http://scholar.google.es/scholar?q=Fundamentos+de+limnolog%C3%ADa+neotropical&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5
 31. Molina M, Vila I. Manual de evaluación de la calidad del agua [Internet]. Chile: Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). Facultad de Ciencias. Universidad de Chile.; 2006 [cited 2015 May 4]. Disponible en:
http://scholar.google.es/scholar?q=Manual+de+evaluaci%C3%B3n+de+la+calidad+del+agua&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5
 32. Roldán Pérez G. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia. Antioquia: Fondo para la Protección del Medio Ambiente “José Celestino Mutis”; 1992. 246 p.
 33. Palma Sauñe U. Especies de Ephemeroptera Arthropoda: Insecta) en el río Apacheta y su relación con la calidad fisicoquímica del agua. Ayacucho 2007 [Tesis]. [Ayacucho Perú]: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; 2007.
 34. Durán C, Pardos M. Guía de campo. Macro-invertebrados de la Cuenca del Ebro. España. 2009;63.
 35. Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente. Desarrollo de capacidades en zonificación ecológica económica y ordenamiento territorial en la región Ayacucho [Internet]. Perú: Gobierno Regional de Ayacucho.; 2012 [cited 2015 May 4]. Disponible en:
<http://www.regionayacucho.gob.pe/grrngma/paginas/sigweb/mapastematicos/pdf/zee/Estudios%20Tematicos/ZONAS%20DE%20VIDA.pdf>

ANEXOS

Anexo 1.

Valores encontrados del índice Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera (EPT) encontrados en el río Apacheta y tres de sus principales tributarios, Ayacucho, 2013.

Zonas de muestreo	Índice EPT			Calidad de agua
	Mínimo	Máximo	Media	
I	32,34	79,65	52,34	Buena
II	14,56	65,94	35,23	Regular
III	15,31	86,19	32,59	Regular
IV	4,33	54,07	24,10	Mala
V	10,64	61,97	35,30	Regular
VI	52,99	89,30	69,84	Buena
VII	51,85	70,62	63,75	Buena
VIII	5,04	47,62	32,71	Regular
IX	0,00	54,17	22,74	Mala
X	75,96	95,68	85,84	Muy Buena

Anexo 2.

Análisis de varianza y test de Duncan del índice Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera (EPT) comparando las zonas de muestreo, Ayacucho, 2013

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	31266,76	9	3474,08	14,1	<0,0001
Zonas de muestreo	31266,76	9	3474,08	14,1	<0,0001
Error	17015,09	69	246,6		
Total	48281,84	78			

Zonas de muestreo	Medias	n	E.E.			
X	85,84	7	5,94	A		
VI	69,84	8	5,55		B	
VII	63,75	8	5,55		B	C
I	52,34	8	5,55			C
V	35,3	8	5,55			D
II	35,23	8	5,55			D
VIII	32,71	8	5,55			D
III	32,59	8	5,55			D
IV	24,1	8	5,55			D
IX	22,74	8	5,55			D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 3.

Valores encontrados del índice Biótico de Familias (IBF) encontrados en el río Apacheta y tres de sus principales tributarios, Ayacucho, 2013.

Zonas de muestreo	Índice IBF			Características Ambientales	Clase
	Mínimo	Máximo	Media		
I	4,03	4,79	4,29	Buena	Verde
II	3,87	5,51	4,63	Buena	Verde
III	3,98	5,22	4,79	Buena	Verde
IV	3,42	5,74	4,76	Buena	Verde
V	2,97	5,40	4,21	Muy bueno	Azul
VI	3,51	4,39	3,97	Muy Bueno	Azul
VII	3,95	4,44	4,10	Muy bueno	Azul
VIII	2,95	5,58	3,56	Excelente	Celeste
IX	2,67	5,53	3,98	Muy bueno	Azul
X	1,85	4,08	3,33	Excelente	Celeste

Anexo 4.

Análisis de varianza y test de Duncan del Índice Biótico de Familia (IBF) comparando las zonas de muestreo, Ayacucho 2913.

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16,29	9	1,81	4,57	0
Zonas de muestreo	16,29	9	1,81	4,57	0
Error	27,34	69	0,4		
Total	43,63	78			

Zonas de muestreo	Medias	n	E.E.				
III	4,79	8	0,22	A			
IV	4,76	8	0,22	A			
II	4,63	8	0,22	A	B		
I	4,29	8	0,22	A	B		
V	4,21	8	0,22	A	B	C	
VII	4,1	8	0,22	A	B	C	
IX	3,98	8	0,22		B	C	D
VI	3,97	8	0,22		B	C	D
VIII	3,57	8	0,22			C	D
X	3,33	7	0,24				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 5.

Valores encontrados del índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) encontrados en el río Apacheta y tres de sus principales tributarios, Ayacucho, 2013.

Zonas de muestreo	Índice BMWP			Significado	Color
	Mínimo	Máximo	Media		
I	33	65	50	Aguas Contaminadas (Calidad Media)	Amarillo
II	36	57	46	Aguas Contaminadas (Calidad Media)	Amarillo
III	33	55	47	Aguas Contaminadas (Calidad Media)	Amarillo
IV	31	56	42	Aguas Contaminadas (Calidad Media)	Amarillo
V	45	64	54	Aguas Contaminadas (Calidad Media)	Amarillo
VI	29	57	47	Aguas Contaminadas (Calidad Media)	Amarillo
VII	41	56	48	Aguas Contaminadas (Calidad Media)	Amarillo
VIII	22	43	30	Aguas muy Contaminadas (Escasa calidad)	Anaranjado
IX	7	40	23	Aguas muy Contaminadas (Escasa calidad)	Anaranjado
X	30	57	43	Aguas Contaminadas (Calidad Media)	Amarillo

Anexo 6.

Análisis de varianza y test de Duncan del índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) comparando las zonas de muestreo, Ayacucho 2013.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	6658,08	9	739,79	9,99	<0,0001
Zonas de muestreo	6658,08	9	739,79	9,99	<0,0001
Error	5108,8	69	74,04		
Total	11766,89	78			

Zonas de muestreo	Medias	n	E.E.		
V	54,38	8	3,04	A	
I	50,25	8	3,04	A	B
VII	47,88	8	3,04	A	B
III	47	8	3,04	A	B
VI	46,88	8	3,04	A	B
II	45,75	8	3,04	A	B
X	43,29	7	3,25		B
IV	41,63	8	3,04		B
VIII	30,13	8	3,04		C
IX	22,5	8	3,04		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 7.

Promedios de los índices IBF, EPT y BMWP en base a la comunidad macroinvertebrada bentónica por zonas de muestreo en el río Apacheta y sus principales tributarios, Ayacucho, 2013.

ZONAS DE MUESTREO	Índice IBF			Índice EPT			Índice BMWP		
	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo
I	4,29	4,03	4,79	52,34	32,34	79,65	50	33	65
II	4,63	3,87	5,51	35,23	14,56	65,94	46	36	57
III	4,79	3,98	5,22	32,59	15,31	86,19	47	33	55
IV	4,76	3,42	5,74	24,10	4,33	54,07	42	31	56
V	4,21	2,97	5,40	35,30	10,64	61,97	54	45	64
VI	3,97	3,51	4,39	69,84	52,99	89,30	47	29	57
VII	4,10	3,95	4,44	63,75	51,85	70,62	48	41	56
VIII	3,56	2,95	5,58	32,71	5,04	47,62	30	22	43
IX	3,98	2,67	5,53	22,74	0,00	54,17	23	7	40
X	3,33	1,85	4,08	85,84	75,96	95,68	43	30	57

Anexo 8.

Estándares de Calidad Ambiental Grupo N° 4: Conservación del Ambiente Acuático

Estándares de Calidad Ambiental	UNIDADES	LAGOS Y LAGUNAS **	RIOS		METODO ANALITICO	ECOSISTEMAS MARINO COSTERAS		METODO ANALITICO
			RIOS DE LA COSTA Y SIERRA	RIOS SELVA		ESTUARIOS	MARINOS	
FISICOS Y QUIMICOS								
Temperatura	Celsius						* delta 3 °C (1)(3)(7)	Termometria
Oxigeno Disuelto	(mg/l)	>5.5 (1)	>=5(6)(7)	>=5(6)(7)	Titulación Redox: Método Winkler	>=4	>=4(2)	Winkler modificado por Carpenter 1966
Aceites y grasas		Ausencia	Ausencia	Ausencia	Método de partición gravimétrica/ extracción soxhlet	Ausencia	1.0 (3)	Extracción Directa APHA-AWWA-WPCF 1999
Alcalinidad	(mg/l)	>20	>20			>20		
Amoniac	(mg/l)	<0.02(7)	0.05(8)	0.04(8)(6)	Método Colorimétrico de Azul de Metileno	0.05	0.08(3)	Método Colorimétrico de Grasshoff, 1999
Arsénico	(mg/l)	0.01(5)	0.04(1)(6)	0.02(6)	Método Espectrométrico de Absorción Atómica	0.05(4)	0.05(4)	Método Espectrométrico de Absorción Atómica SM 3114-B/C
Bario	(mg/l)	0.7(5)	0.7(5)	07(5)	Método Espectrométrico de Absorción Atómica	1(4)		Espectrofotometria de Absorción Atómica
Cadmio	(mg/l)	0.004(6)(7)	0.005(6)(7)	0.004(6)(7)	Método Espectrométrico de Absorción Atómica	0.005(4)	0.005 (3)	Método Espectrométrico de Absorción Atómica por el metodo electrometrico "Horno de grafito" (Kremling and Petersen 1974)
Cianuro Libre	(mg/l)	0.022(9)	0.022(9)	0.022(9)	Colorimétrico	0.022(3)		Espectrofotometria de Absorción Atómica
Clorofila A	(ug/l)	1-10*			Determinación de Biomasa (Cultivo estacionario)			Espectrofotometria de Absorción Atómica
Cobre	(mg/l)	0.02(4)	0.04(8)(6)	0.03(4)(6)	Método Absorción Atómica por aspiración directa aire acetileno	0.05(4)	0.05 (3)	Método Espectrométrico de Absorción Atómica por el metodo electrotermico "Horno de Grafito" (CEM USA, 1994)
Cromo VI	(mg/l)	0.04(6)(7)	0.05(2)	0.04(8)(6)	Método de Absorción Atómica	0.05(4)	0.05 (5)	Método Espectrométrico de Absorción Atómica EPA 2000
DBO ₅	(mg/l)	10	15	15	Método de Incubación por 5 días a 20°C	15	10 (2)	Dilucion Simple APHA-AWWA-WPCF-1999
Fenoles	(mg/l)	0.001(4)	0.001(6)(7)	0.001(6)(7)	Colorimétrico / Método de extracción liquido liquido- Cromatografía de gas	0.001(6)		Titulacion Redox :Metodo Winkler
Fosfatos Total	(mg/l)	0.4(8)	0.5(8)	0.5(8)	Método Colorimétrico	0.5(8)	0.031 - 0.093(3)	Método Colorimétrico (Strickland y Parson 1972).
Hidrocarburos de Petróleo aromaticos totales			Ausente		Espectrofotométrico	Ausente	Ausente	Espectrofotométrico (COI-UNESCO 1984)/Cromatografía (COI-UNESCO
Mercurio	(mg/l)	0.0005(6)(3)	0.001(6)(8)	0.0005(6)(3)	Absorción Atómica de Vapor Frio	0.001(6)	0.0001 ⁽⁸⁾	Espectrofotometria de Absorción Atómica
Nitratos	(mg/l)	1.8(8)	5(8)	5(8)	Espectrofotometria de Absorción Atómica	10(8)	0.07 - 0.28(3)	Método Colorimétrico (Strickland y Parson 1972).
Níquel	(mg/l)	0.02	0.04(8)(6)	0.02(5)(6)	Espectrofotometria de Absorción Atómica	0.002(2)	0.0082 ⁽⁴⁾	Método Espectrométrico de Absorción Atómica
Ph	unidad	6.5-8.5	6.5-8.5		Potenciometro	7.8-8.3	6.8 - 8.5 (3)	Método Electrométrico
Plomo	(mg/l)	0.03	0.03	0.05(8)	Espectrofotometria de Absorción Atómica	0.03	0.0081 ⁽⁸⁾	Horno de grafito" (CEM USA, 1994)
Silicatos (Referencial)	(mg/l)	N.A	N.A				0.14-0.7(3)	Método Colorimétrico (Strickland y Parson 1972)
Produccion Primaria		80(1)			Medidas de Índice Metabolico			Potenciometro
Solidos Disueltos Totales	(mg/l)	500(1)	1000(8)	1000(8)	Solidos Totales Disueltos secados a 180 C°	500(7)		Gravimétrico APHA-AWWA-WPCF 2000
Solidos Suspendidos Totales	(mg/l)	30(1)	30(1)	30 (1)			30 (3)	Gravimétrico APHA-AWWA-WPCF 1999
Sulfuro de Hidrogeno		0.002(7) como H ₂ S Indisoluble	0.002(2)	0.002	Colorimetrico	0.002(2)	0.06(3)	Método Colorimétrico de Azul de Metileno (Grasshoff, 1999)
Zinc	mg/l	0.03(6)	0.03(6)	0.2(8)	Espectrofotometria de Absorción Atómica	0.03(6)	0.081 ⁽⁸⁾	Método Espectrométrico de Absorción Atómica
MICROBIOLOGICOS								
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100ml)	2000	2000		Tubos Multiples	1000		Espectrofotometria de Absorción Atómica
Coliformes Totales	(NMP/100ml)	3000	3000		Tubos Multiples	2000	≤30 ⁽³⁾	APHA Tubos múltiples (5 tubos 3 diluciones)
								APHA Tubos múltiples (5 tubos 3 diluciones)

Fuente

- (1) Norma de Calidad para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales. Chile - 1999/Environment Water Quality, Management in Japan - Revised 1995
- (2) Ley General de Aguas-LGA - DS 261-69
- (3) Guía Candiense de la Calidad de Agua
- (4) Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes -Ecuador
- (5) Norma para el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua de Venezuela
- (6) INRENA
- (7) USA-EPA
- (8) Reglamento en materia de Contaminación Hídrica - Bolivia -1995
- (9) Norma Peruana D.S Nº 003-SA
- * Temas de Ciencia y Tecnología. Vol. II, No. 7 (Abril 2005)

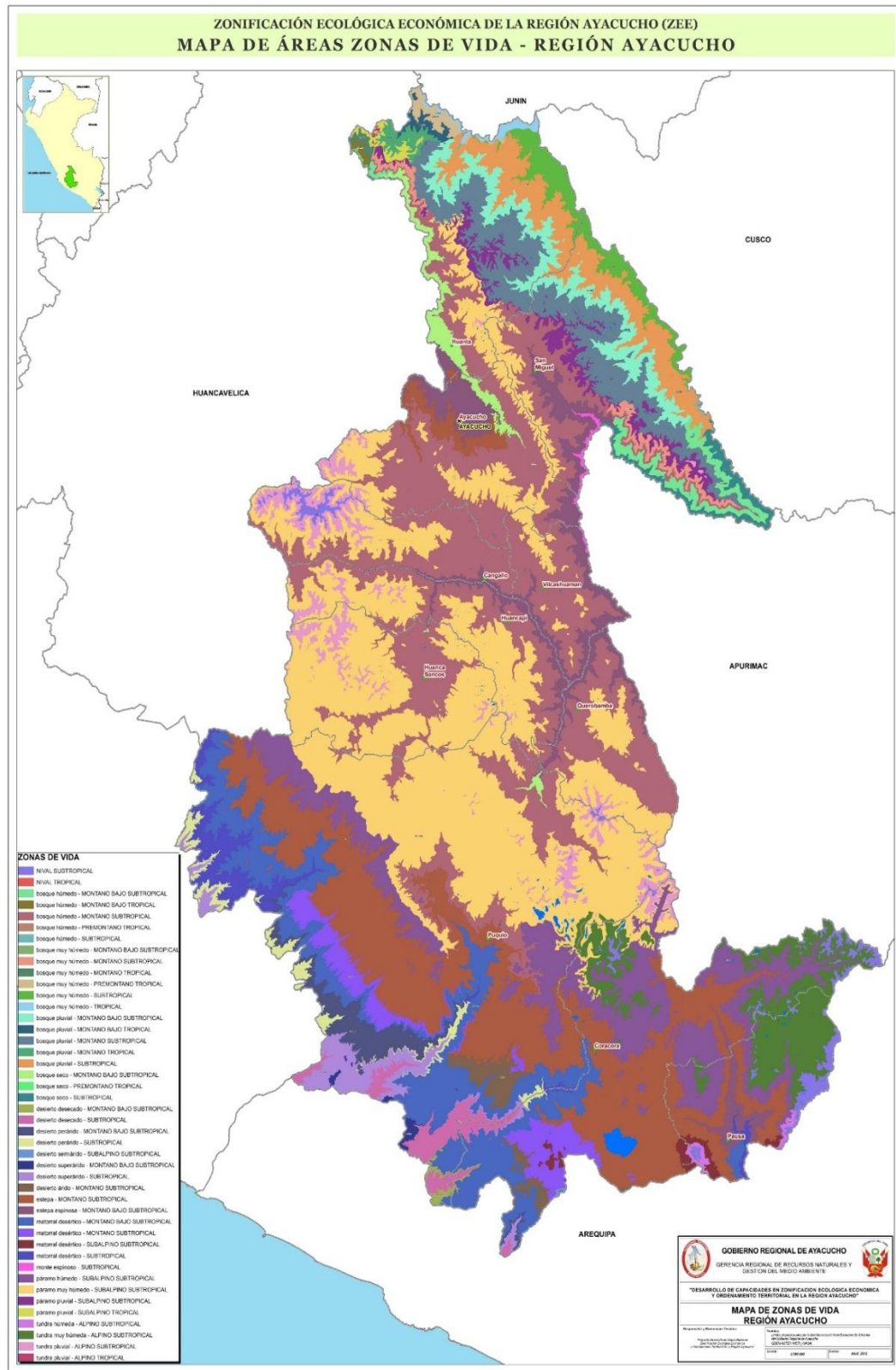
Fuente:

- (1) Leg. Chilena
- (2) LGA-DS 261-69 Modificaciones DS 003-2003 SA
- (3) IMARPE
- (4) RM N° 730-2003-SA/DM
- (5) USEPA 2003
- (6) NSSP de la FDA
- (7) Dirección de Hidrografía y Navegación.
- (8) Norma de Ecuador

Fuente: DIGESA

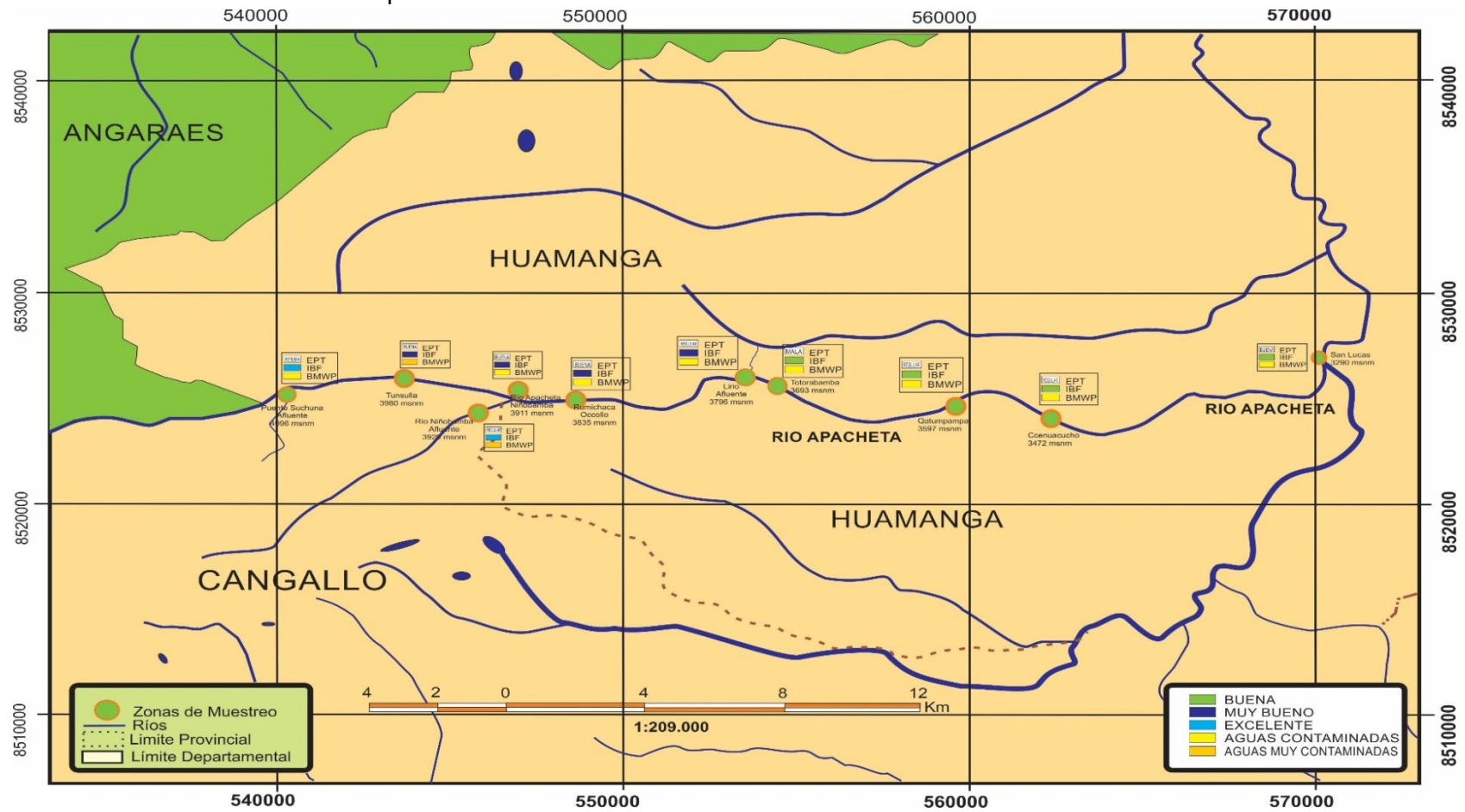
Anexo 9.

Mapa de áreas de Zonas de Vida – Región Ayacucho



Anexo 10.

Mapa temático con los valores de los índices de Calidad Ambiental.



Anexo 11.

Toma de muestra de la comunidad macroinvertebrada bentónica en la zona I (San Lucas).



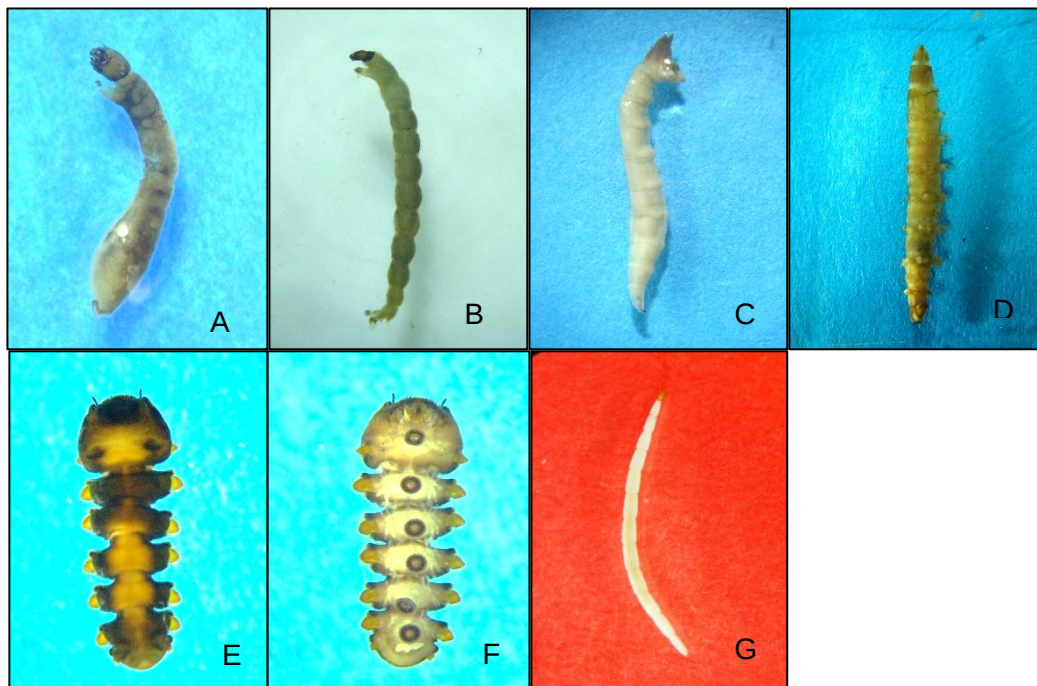
Anexo 12.

Realizando los lavados necesarios para la selección de los macroinvertebrados bentónicos



Anexo 13.

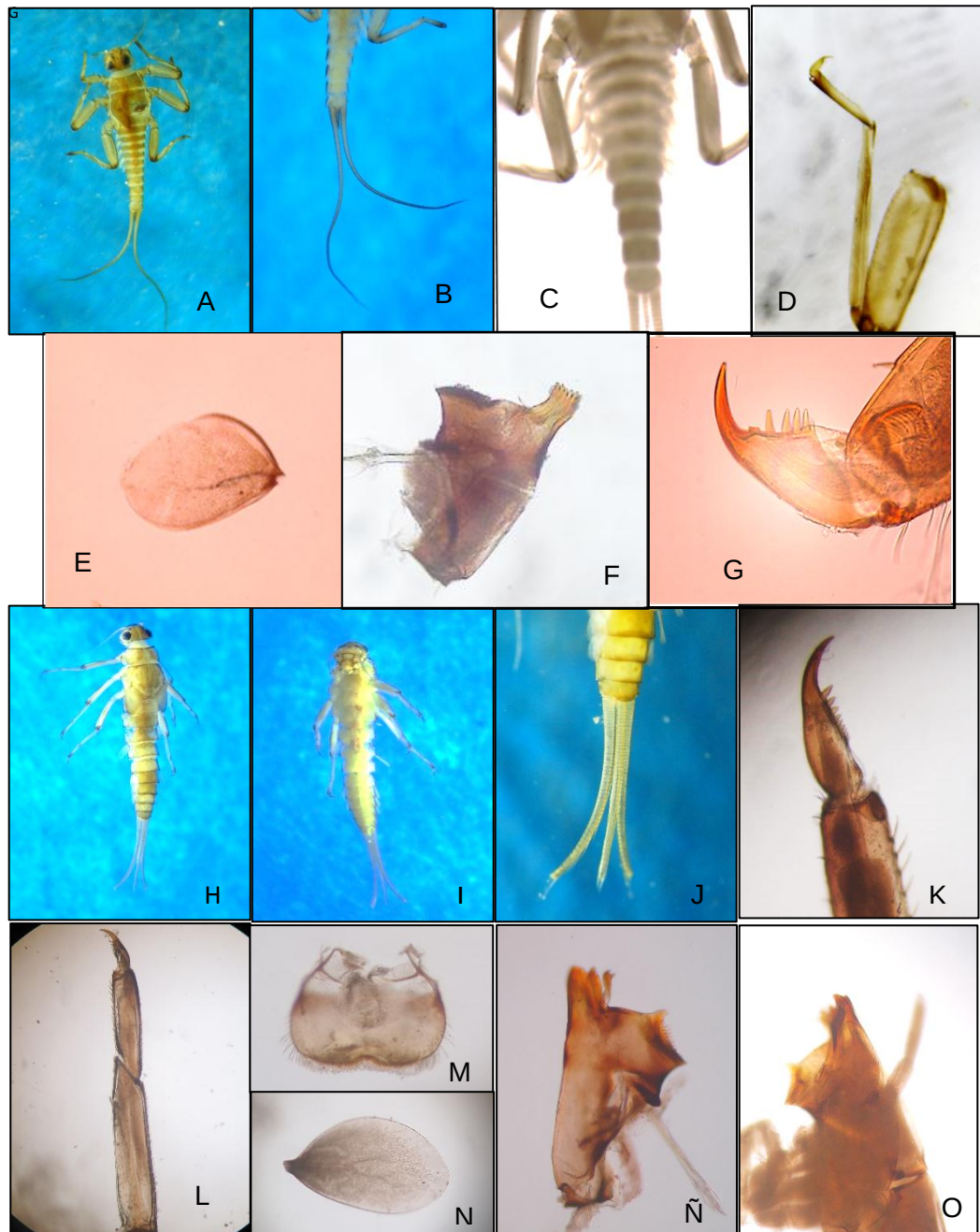
Características taxonómicas del orden Diptera, en el río Apacheta y sus tres principales tributarios, Ayacucho, 2013.



Larva de la Familia Simuliidae: A; larva de Familia Chironominae: B; larva de la Familia Musidae: C; Larva de la Familia Tabanidae: D; Larva de la Familia Blephariceridae: Vista dorsal: E; Vista ventral: F; Larva de la Familia Ceratopogonidae: G.

Anexo 14.

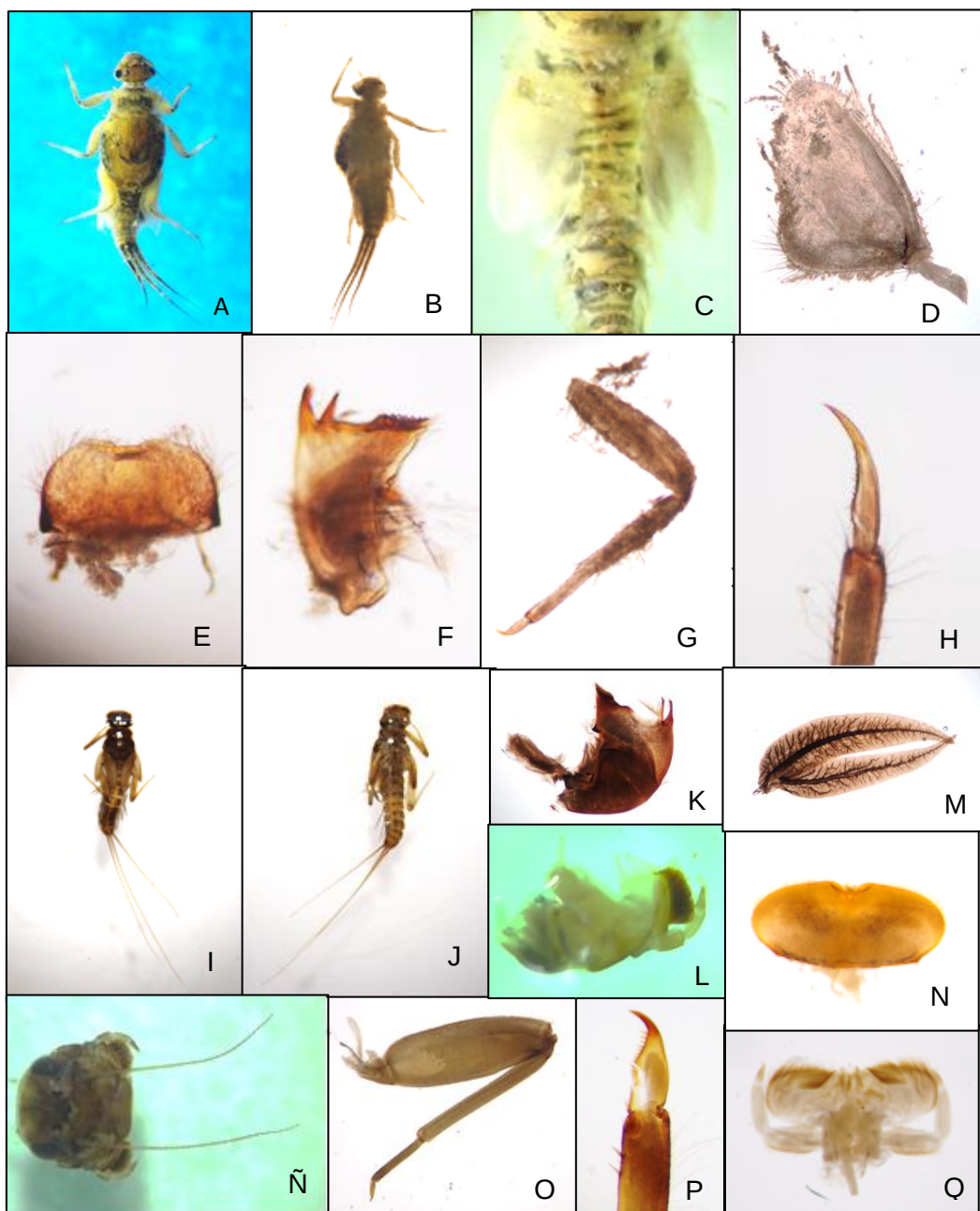
Características taxonómicas del orden Ephemeroptera de la familia Baetidae y Andesiops en el río Apacheta y sus tres principales tributarios, Ayacucho, 2013.



Familia Baetidae: Genero Baetodes: A, Náyade Vista dorsal; B, Filamentos caudales; C, Branquias en los segmentos I a V; D, Pata; E, Branquia; F, Mandibula, G, Uña tarsal. Genero Andesiops: H, Náyade Vista dorsal; I, Vista Ventral; J, Filamentos caudales; K, Uña tarsal; L, Pata; M, Labro; N, Branquia, Ñ, Mandibula; O Maxila.

Anexo 15.

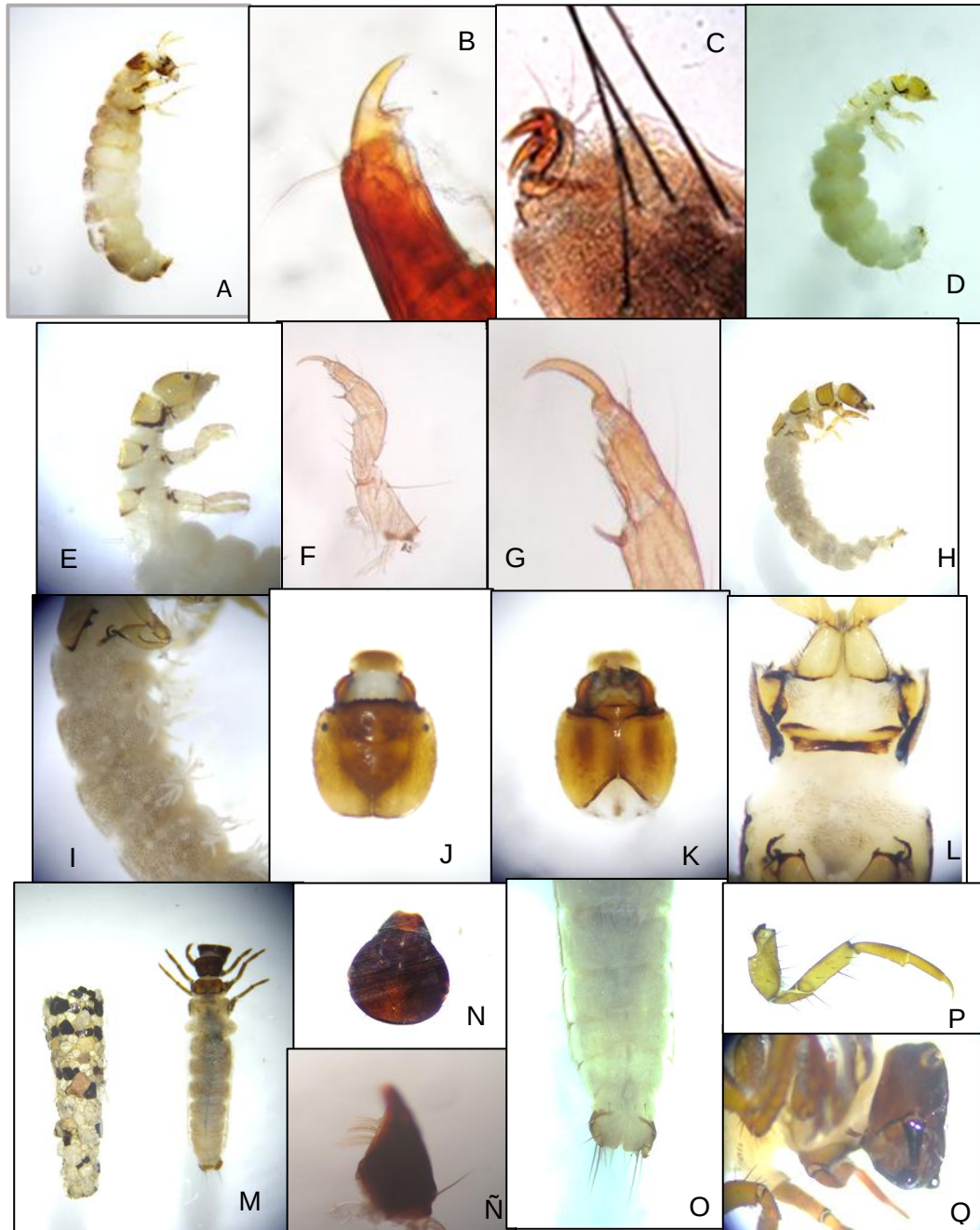
Características taxonómicas del orden Ephemeroptera de la familia Leptohyphodes y Leptophlebiidae en el río Apacheta y sus tres principales tributarios, Ayacucho, 2013.



Familia Leptohyphidae: Genero Leptohyphodes: A, Náyade Vista dorsal; B, Náyade Vista ventral; C, Branquias en los segmentos I a V; D, Branquia; E, Labro; F, Mandíbula; G, Pata; H, Uña tarsal. Familia Leptophlebiidae: Genero Meridialaris: I, Náyade Vista dorsal; J, Náyade Vista Ventral; K, Mandíbula; L, Maxila; M, Branquia; N, Labro; Ñ, Cabeza; O, Pata; P, Uña tarsal; Q, Labio

Anexo 16.

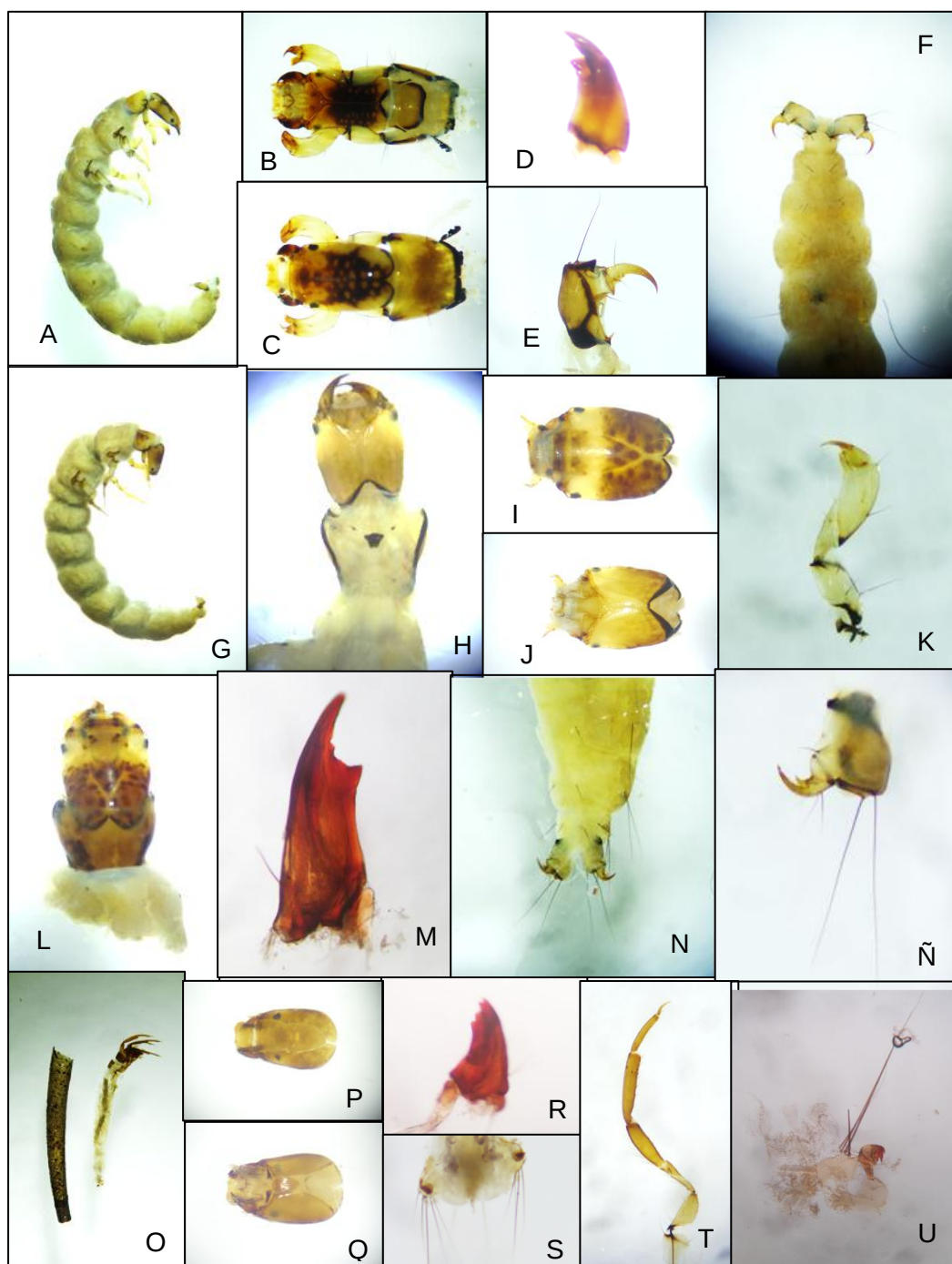
Características taxonómicas del orden Trichoptera (Familia Glososomatida, Familia Hydropsychidae y Familia Limnephilidae), en el río Apacheta y sus tres principales tributarios, Ayacucho, 2013.



Familia Glososomatidae; Género *Culoptila*: A, *Nayade* vista lateral; B, pata anterior; C, pseudopata; Familia Hydroptilidae; Género *Ochrotrichia*: D, *Nayade* vista lateral; E, tórax curvado; F, pata anterior; G, Uñas tarsales. Familia Hydropsychidae; Género *Smicridea*: H, larva; I, branquias abdominales; J, cabeza vista dorsal; K, cabeza vista ventral; L, prosterno. Familia Limnephilidae, Genero: *Antartoecia*: M, larva; N, cabeza; Ñ, mandíbula; O, segmento abdominal IX vista ventral; P, pata anterior; Q, tubérculo lateral del primer segmento torácico.

Anexo 17.

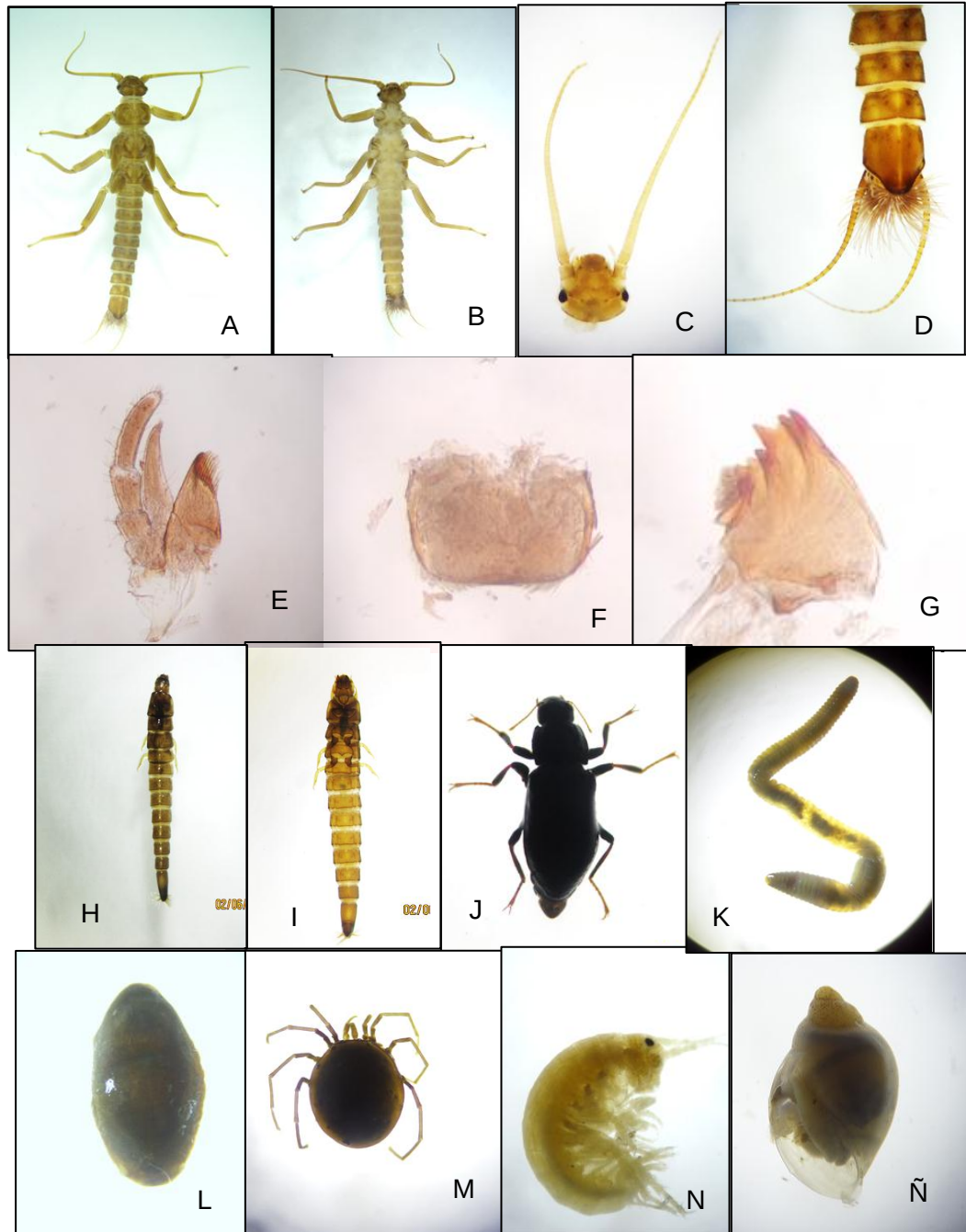
Características taxonómicas del orden Trichoptera (Familia Hydrobiosidae y Familia Leptoceridae), en el río Apacheta y sus tres principales tributarios, Ayacucho, 2013.



Familia Hydrobiosidae: Género *Atopsyche*: A, larva; B, vista ventral de la cabeza; C, vista dorsal de la cabeza; D, mandíbula; E, pseudopata anal; F, segmento abdominal. Género *Cailloma*: G, larva; H, prosterno; I, vista dorsal de la cabeza; J, vista ventral de la cabeza; K, pata anterior; L, cabeza y protórax; M, mandíbula; Ñ, segmento abdominal; Ñ, pseudopata anal. Familia Leptoceridae: Género *Nectopsyche*: O, casa y larva; P, vista dorsal de la cabeza; Q, vista ventral de la cabeza; R, mandíbula; S, segmento abdominal IX; T, patas; U, pseudopata anal.

Anexo 18.

Características taxonómicas del orden Plecoptera, Coleoptera, Coleoptera, Prostognata, Amphipoda, Basomatophora, Lumbriculida y Seriata en el río Apacheta y sus tres principales tributarios, Ayacucho, 2013



Familia Gripopterygidae: Género *Claudioperla*: A, Vista dorsal; B, vista ventral; C, Cabeza; D, branquias anales; E, Maxila; F, Labro; G, Mandibula. Familia Elmidae: H, Vista dorsal de la larva, I, Vista ventral, J, estado adulto del Elmidae; K, Familia Lumbriculidae: L, Planariidae; M, Hydrachnidae; N, Hyalellidae y Ñ, physidae.

Anexo 19.

Matriz de consistencia

TITULO: Calidad ambiental de las aguas del río Apacheta y sus principales tributarios. Ayacucho Julio - Noviembre 2013.				
AUTOR: PALOMINO RAFAEL, Luis Danilo			ASESOR: Carrasco Badajoz, Carlos Emilio	
PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cuál es la calidad ambiental de las aguas del río Apacheta y sus principales tributarios medida con los índices EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trychoptera), IBF (Índice Biótico de Familia) y BMWP (Biological Monitoring Working Party) y su sensibilidad frente a las principales características fisicoquímicas del agua, determinadas entre los meses de Julio a Noviembre del 2013?	Objetivos generales Determinar la calidad ambiental de las aguas del río Apacheta y sus principales tributarios medida con los índices EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trychoptera), IBF (Índice Biótico de Familia) y BMWP (Biological Monitoring Working Party), la sensibilidad frente a las principales características fisicoquímicas del agua, determinadas entre los meses de junio a noviembre del 2013. Objetivos específicos 1. Determinar las principales características fisicoquímicas de las aguas del río Apacheta y sus principales tributarios. 2. Determinar la calidad ambiental de las aguas del río Apacheta varios en puntos de su recorrido y de sus principales tributarios mediante los índices EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trychoptera), IBF (Índice Biótico de Familia) y BMWP (Biological Monitoring Working Party). 3. Determinar la sensibilidad de los índices a estudiar mediante el análisis de correlación con las características fisicoquímicas del agua. 4. Comparar los valores de los índices EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trychoptera), IBF (Índice Biótico de Familia) y BMWP (Biological Monitoring Working Party) hallados en los diferentes puntos de muestreo.	Macroinvertebrados bentónicos Índices biológicos para determinar la calidad de las aguas de los ríos. Índices bióticos Características fisicoquímicas	Variables: Índices bióticos Indicadores: • EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trychoptera), • IBF (Índice Biótico de Familia) • BMWP (Biological Monitoring Working Party) Calidad fisicoquímica del agua Indicadores: • Conductividad • Sólidos disueltos totales • Temperatura • pH • Dureza total • Dureza cálcica • Dureza Magnésica • Alcalinidad • Cloruros	Tipo de investigación: Descriptiva Método: Descriptivo Deductivo Inductivo Estadístico Población Comunidad macroinvertebrada bentónica de un tramo del río Apacheta y sus tres principales tributarios. Muestra: Muestras de macroinvertebrados y agua, las cuales serán colectados de la siguiente manera: En cada uno de los 10 puntos de muestreo del río Apacheta se tomara una muestra de agua, en una botella de plástico. Se ubicaran diez zonas de muestreo de los cuales se obtendrá las muestras de macroinvertebrados con un periodo quincenal. Técnicas: Observación Instrumentos: Microscopio Red Surber Ficha de campo