UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

Comunidad macroinvertebrada bentónica e índices bióticos para determinar la calidad biológica en tres ríos del distrito de Kimbiri, La Convención – Cusco, 2011.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO

CON MENCIÓN EN LA ESPECIALIDAD DE ECOLOGÍA Y RECURSOS NATURALES

PRESENTADO POR:

Bach. CAVALCANTI MUÑOZ, JHON ERWIN

AYACUCHO– PERÚ

2014

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

R.D.N° 029-2014-UNSCH-FCB-D

Bach. Jhon Erwin Cavalcanti Muñoz

En la ciudad de Ayacucho, a los once días del mes de abril del dos mil catorce, siendo las cuatro de la tarde con quince minutos, reunidos en el auditórium de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, bajo la presidencia del MSC. Elmer Alcides Ávalos Pérez, quien actuando como presidente (e) y miembro jurado constituyo parte del jurado evaluador conformado por el MC. Yuri Olivier Ayala Sulca, Dr. Carlos Emilio Carrasco Badajoz y Dra. Elya Salina Bustamante Sosa. A mérito de la R.D.N° 029-2014-UNSCH-FCB-D, se encargó la secretaria del presente acto sustentatorio al MC. Yuri Olivier Ayala Sulca. Para iniciar con el acto sustentatorio de la tesis "Comunidad macroinvertebrada bentónica e índices bióticos para determinar la calidad biológica en tres ríos del distrito de Kimbiri, La Convención - Cusco, 2011", presentado por el Bach. Jhon Erwin Cavalcanti Muñoz, el presidente (e) solicito al secretario (e) dar lectura a la documentación sustentatoria del presente acto académico. Finalizando esta etapa, el presidente (e) solicito al sustentante Bach. Jhon Erwin Cavalcanti Muñoz iniciar la defensa de su trabajo de tesis con la finalidad de obtener el título profesional de Biólogo, en la especialidad de Ecología y Recursos Naturales, disponiendo para tal efecto de un tiempo estimado de cuarenta minutos, de acuerdo al reglamento de la Facultad de Ciencias Biológicas.

El señor sustentante inicio su exposición expresando su agradecimiento a todas las personas que ayudaron y contribuyeron en la ejecución del trabajo de tesis, así como en su formación profesional, desarrollando la exposición de su investigación. Concluida la defensa y exposición de su trabajo de tesis por parte del señor sustentante, el presidente (e) del jurado evaluador invito a los miembros del jurado a realizar las preguntas, aclaraciones y observaciones que consideren conveniente en relación al trabajo de investigación. Concluida la estación de preguntas, observaciones y aclaraciones, el señor presidente (e) del jurado evaluador invito al sustentante y al público asistente a abandonar momentáneamente las instalaciones del auditórium, a fin de que los miembros

del jurado evaluador pueda deliberar y calificar el trabajo de investigación, arribándose a los siguientes resultados:

MIEMBRO JURADO	EXPOSICIÓN	RTA.PREGUNTAS	PROMEDIO
MS. Elmer Alcides Avalos Pérez	16	14	15
MC. Yuri Olivier Ayala Sulca	15	15	15
Dr. Carlos Emilio Carrasco Badajoz	17	16	17
Dra. Elya Salina Bustamante Sosa	15	14	15
		PROMEDIO FINAL:	**15**

Luego de concluida la etapa de evaluación, el señor sustentante obtuvo la calificación promedio de quince de la cual dan fé los miembros del jurado calificador, estampando sus rubricas al pie del presente acta, finalizando el acto se sustentación siendo las seis y cuarenta y cinco de la tarde, concluyéndose con el presente acto académico.

.....
MS. Elmer Alcides Avalos Pérez
Miembro – Presidente (e)

.....
Dra. Elya Salina Bustamante Sosa
Miembro Jurado

.....
Dr. Carlos Emilio Carrasco Badajoz
Miembro -Asesor

.....
MC. Yuri Olivier Ayala Sulca
Miembro – Secretario (e)

DEDICATORIA

A mi madre y mis cuatro hermanos.

En memoria a mi padre, Himerón Cavalcanti Garay.

AGRADECIMIENTO

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

A la Facultad de Ciencias Biológicas y a sus docentes por las enseñanzas y orientaciones en mi afán de superación como profesional de Biología.

A mi asesor, Dr. Carlos Emilio Carrasco Badajoz por su orientación académica y contribución durante su constante asesoramiento del presente trabajo de investigación.

Al Blgo. Fredy Fernández Cutí, residente del proyecto Peces Tropicales de la Municipalidad Distrital de Kimbiri, por haberme acogido, brindado los equipos y las facilidades para realizar mi trabajo de tesis.

A todos los amigos, por su apoyo técnico y moral que me inculcaron a iniciar con el trabajo de investigación que ahora lo veo culminado.

ÍNDICE GENERAL

	Página
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Marco conceptual	8
2.3. Bases teóricas	10
2.4. Macroinvertebrados	12
2.5. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua	13
2.6. Los sistemas de bioindicación	13
2.7. Características ideales de un bioindicador	15
2.8. Índices para determinar la calidad biológica del agua	15
2.9. Índices de diversidad	21
2.10. Calidad fisicoquímica del agua	24
III. MATERIALES Y METODOS	29
3.1. Ubicación del área de estudio	29
3.2. Población y muestra	30
3.3. Metodología y recolección de datos	31
3.4. Procesamiento y análisis de datos	33
IV. RESULTADOS	35
V. DISCUSIÓN	43
VI. CONCLUSIONES	49
VII. RECOMENDACIONES	51
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS	55

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 1.	Características fisicoquímicas promedios, determinado en las aguas de los ríos Cachi, Cachimayo y Pongora. Ayacucho, 2010.	8
Tabla 2.	Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del Biological Monitoring Working Party (BMWP).	17
Tabla 3.	Clases de calidad, significado de los valores Biological Monitoring Working Party (BMWP) y colores a utilizar en representaciones cartográficas.	18
Tabla 4.	Calidad de agua según los índices Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera (EPT).	19
Tabla 5.	Valores de tolerancia de los macroinvertebrados bentónicos según el Índice Biótico de Familia (IBF).	20
Tabla 6.	Rangos del Índice Biótico de Familia (IBF), expresados en siete clases de calidad de agua.	21
Tabla 7.	Ubicación geográfica de los seis puntos de muestreo en los ríos, Kaschiroveni, San Luis y Kimbiri.	30
Tabla 8.	Características fisicoquímicas del agua	33
Tabla 9.	Composición y estructura de la comunidad macroinvertebrada bentónica presente en los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luís. Kimbiri, 2011.	36
Tabla 10.	Clases de calidad de agua según los índices bióticos (EPT, IBF y BMWP), de los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luís. Kimbiri, 2011.	34
Tabla 11.	Características fisicoquímicas promedios, determinado en las aguas de los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luís. Kimbiri, 2011.	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Abundancia relativa de géneros de la comunidad macroinvertebrada bentónica presente en los tres ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luis. Kimbiri, 2011. 37

Figura 2. Abundancia relativa de géneros de la comunidad macroinvertebrada según los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luis. Kimbiri, 2011. 38

Figura 3. Índices bióticos (promedio + desviación estándar) (IBF, Índice Biótico de Familia; EPT, Ephemeroptera- Plecoptera-Trichoptera; BMWP, Biological Monitoring Working Party), de la comunidad macroinvertebrada bentónica de los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luis. Kimbiri, 2011. 39

Figura 4. Índices de diversidad (promedio + desviación estándar) (Simpson, Shannon Weaner y Pielou), de la comunidad macroinvertebrada bentónica de los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luis. Kimbiri, 2011. 41

ÍNDICE DE ANEXOS

Página

Anexo 1. Valores promedio de individuos de la comunidad macroinvertebrada bentónica hallada en seis zonas de muestreo, presente en los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luis. Kimbiri, 2011. 56

Anexo 2. Valores medios de la comunidad macroinvertebrada bentónica presente en los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luis. Kimbiri, 2011. 57

Anexo 3. Prueba de Kruskal Wallis para los índices bióticos EPT, IBF, BMWP empleados para la comparación de la comunidad macroinvertebrada bentónica de los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luis. Kimbiri, 2011. 58

Anexo 4. Prueba de Kruskal Wallis para los índices de diversidad Simpson, Shannon Weaner, Pielou empleados para la comparación de la comunidad macroinvertebrada bentónica de los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luis. Kimbiri, 2011. 59

Anexo 5. Valores medios de las características fisicoquímicas de las aguas de los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luis. Kimbiri, 2011. 60

Anexo 6. Vista panorámica del río Kimbiri (río abajo). Kimbiri, 2011. 61

Anexo 7. Vista panorámica del río Kimbiri (río arriba). Kimbiri, 2011. 62

Anexo 8. Vista panorámica del río Kaschiroveni (río abajo). Kimbiri, 2011. 63

Anexo 9. Vista panorámica del río Kaschiroveni (río arriba). Kimbiri, 2011. 64

Anexo 10. Vista panorámica del rio San Luís (río abajo). Kimbiri, 2011. 65

Anexo 11. Vista panorámica del río San Luís (río arriba). Kimbiri, 2011. 66

Anexo 12. Análisis fisicoquímicos del agua del río Kimbiri. 67

Anexo 13. Toma de muestra de la comunidad macroinvertebrada bentónica en el río San Luis. 68

Anexo 14. Caracteristicas taxonómicas del orden Efemeroptera. Kimbiri, 2011. 69

Anexo 15. Caracteristicas taxonómicas del orden Coleoptera. Kimbiri, 2011. 70

Anexo 16. Caracteristicas taxonómicas del orden Trichoptera. Kimbiri, 2011. 71

Anexo 17. Caracteristicas taxonómicas del orden Odonata. Kimbiri, 2011. 72
Anexo 18. Familias del orden Diptera. Kimbiri, 2011. 73
Anexo 19. Géneros de los Ordenes Plecoptera, Hemiptera, Lepidoptera y Neuroptera. Kimbiri, 2011. 74
Anexo 20. Mapa de ubicación de puntos muéstrales en tres ríos del distrito de Kimbiri, 2011. 75
Anexo 21. Matriz de Consistencia 76

RESUMEN

La investigación 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- expost facto. Las muestras de macroinvertebrados bentónicos se colectaron empleando una red tipo Surber con un área de muestreo de 1200 cm^2, 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 solidos 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.

Palabras clave: Macroinvertebrados bentónicos, índices bióticos y de diversidad.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las aguas superficiales están expuestas a una amplia gama de factores que pueden alterar su calidad y cantidad, ocasionando cambios simples o complejos, con diferentes niveles de intensidad, producto de los fenómenos naturales y fundamentalmente por las actividades antropogenicas (minería, industria, agricultura, deforestación, aguas servidas, etc.).

La calidad de las aguas superficiales se ven determinadas por métodos fisicoquímicos, adicionalmente a ello se está usando la comunidad macroinvertebrada bentónica como bioindicadores. El uso de bioindicadores como herramienta para conocer la calidad del agua simplifica en gran medida las actividades de campo y laboratorio, 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 como los usos beneficiosos a que se ha venido dedicando en el pasado (consumo humano, bebida de animales, riego, recreacional, entre otros).

Los organismos bioindicadores, presentan requerimientos específicos con relación a un conjunto de variables fisicoquímicas conocidas, 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. Teniendo en cuenta lo antes señalado, se desarrolló el presente trabajo de investigación teniendo en cuenta los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Evaluar la calidad biológica de los ríos Kaschiroveni, San Luis y Kimbiri, mediante el uso de los índices bióticos y de diversidad basados en la comunidad macroinvertebrada bentónica, durante los meses de Setiembre a Diciembre del 2011.

Objetivos específicos

- Determinar la composición y estructura de la comunidad macroinvertebrada bentónica presente en los ríos Kaschiroveni, San Luis y Kimbiri.
- Establecer la calidad biológica de los ríos San Luis, Kaschiroveni y Kimbiri, mediante el empleo de los índices bióticos BMWP (Biological Monitoring Working Party), IBF (Índice Biótico de Familia) y EPT (Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera).
- Determinar la diversidad de la comunidad macroinvertebrada bentónica de los ríos Kaschiroveni, San Luis y Kimbiri, mediante el empleo de los índices de diversidad Shannon Weaner, Pielou y Simpson.
- Determinar la calidad fisicoquímicas (temperatura, pH, oxígeno disuelto, alcalinidad, dióxido de carbono, dureza total, conductividad, sólidos disueltos totales) de las aguas de los ríos Kaschiroveni, San Luis y Kimbiri.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

En la investigación realizada en la cuenca del río Gaira, Colombia, Guerrero, *et. al* (1), hallaron que la comunidad macroinvertebrada bentónica estuvo compuesta por 588 individuos distribuidos en 11 órdenes y 38 familias, siendo los órdenes más representativos Trichoptera, Coleoptera, Diptera y Ephemeroptera, siendo el último el más abundante. Las familias más representativas fueron: Baetidae, Simullidae, Perlidae, Chironomidae, Hydropsychidae, en ese mismo orden de abundancia. Con respecto al índice BMWP, adaptado por la Universidad del Valle, el valor hallado para el sector Pozo Azul, es de 192, equivalente a la clase I, que corresponde a aguas muy limpias de buena calidad. Hace hincapié que se hallaron familias que pueden tolerar un mínimo grado de contaminación al cloruro como Physidae, Gyridinidae, Dysticidae, Hidrophilidae y Chironomidae; y aquellas que no toleran como Perlidae, Oligoneuridae, Calmoceratidae y Blepharoceridae. Por otro lado recomiendan que la interpretación del índice probado se deba realizar con cautela, pues al estar basado en datos cualitativos (presencia/ausencia), si se soslayan las características ecológicas globales del sistema en estudio, puede

inducir a conclusiones erradas. En este caso, la presencia de solo dos individuos de la familia Oligoneuridae permitió la obtención de un puntaje de diez, en tanto que la importante presencia de 49 individuos de la familia Chironomidae contribuyó una sola vez con un puntaje de dos. Si hubiera tenido abundancia podría decirse que las características del sistema favorecen a la segunda familia y no a la primera, como podría pensarse por el índice. Sería de gran utilidad el hallazgo de un método que permitiera calcular puntajes ponderados respecto a la abundancia de cada grupo. Respecto a algunos indicadores de contaminación en el agua, los investigadores hallaron que la cantidad de cloruros en promedio fue de seis mg/l, reflejando la contaminación mínima, sin embargo se resalta el hecho de que su concentración aumenta desde las zonas altas hasta las zonas costeras, donde las concentraciones son elevadas. La alcalinidad promedio hallada fue de 50 mg/l de $CaCO_3$; mayor la dureza, 18 mg/l de $CaCO_3$, lo cual es indicativo de dureza de tipo carbonácea, el valor de dureza obtenido permite catalogar el agua como blanda mientras que el de alcalinidad como relativamente alto. Los valores hallados para nitrógeno amoniacal fueron de cero mg/l, los que nos estaría indicando que la contaminación es mínima, ya que la principal fuente de este compuesto es la descomposición de la materia orgánica.

En la investigación titulada macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en la cuenca del Estero Peu Peu comuna de Lautaro IX Región de la Araucania, Chile, Leiva (2), halló que la biota en dicha cuenca, estuvo constituida por 25 familias y 11 órdenes: Diptera, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Coleoptera, Megaloptera, Odonata, Decapoda, Amphipoda, Basommatophora y Prosopora. Las familias más abundantes corresponden a: Chironomidae, Simuliidae, Leptophlebiidae y Tubificidae. Con respecto a los índices bióticos, halló que para los índices IBF y BMWP, las

calidades ecológicas fueron semejantes, las cuales varían de regular a relativamente mala. Mientras que los índices bióticos EPT y BMWP, con respecto al IBF, presentaron variaciones en una estación, cuya calidad ecológica varía de buena (BMWP, EPT) a regular (IBF, BMWP). Otro aspecto que se debe tomar en cuenta es que el índice BMWP, para su valoración toma en cuenta sólo datos cualitativos (presencia/ausencia), mientras que el IBF, considera la riqueza específica y la abundancia, presentando por ende una mayor sensibilidad para el análisis de la calidad biológica del agua.

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 (3), determinó que la comunidad macroinvertebrada bentónica estuvo compuesta por tres Phylums: Arthropoda, Mollusca, Annelida; 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 muchas 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 agua servidas "La Totora", 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* (4), 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), Diptera 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 rio 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 – Averange 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 especifica (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 ($p < 0,001$, $n = 74$).

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 Jayco (5), 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 elevado 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 Simulidae muestra la misma abundancia del 15 por ciento para los ríos Cachi y Cachimayo en comparación con el rio 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 (Tabla 1), 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 Totora".

Tabla 1.- Características fisicoquímicas promedios, determinado en las aguas de los ríos Cachi, Cachimayo y Pongora. Ayacucho, 2010.

Características fisicoquímicas	Ríos muestreados		
	Cachimayo	Cachi	Pongora
pH	8,5	8,4	8,1
Alcalinidad (mg $CaCO_3$/l)	64,4	68,0	88,8
Dureza total (mg $CaCO_3$/l)	150,0	172,4	126,8
Dureza cálcica (mg Ca/l)	101,6	107,2	91,6
Dureza magnésica (mg Mg/l)	48,4	65,2	35,2
Cloruros (mg Cl/l)	32,9	35,1	24,7
Nitrógeno amoniacal (mg NO_3/l)	0,5	0,7	2,1
Conductividad eléctrica (µS/cm)	469,8	514,6	460,0
Sólidos disueltos totales (mg/l)	233,6	257,2	227,6

Fuente: Jayco (5).

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Comunidad macroinvertebrada

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) y dentro de éstos dominan los insectos (en especial sus formas larvarias) (6).

2.2.2 Composición de una comunidad

Es la diversidad y la combinación de todas las especies existentes dentro de una comunidad y su abundancia relativa. La riqueza, el predominio, la diversidad y la

abundancia relativa de las especies son característicos de la composición de una comunidad (7).

2.2.3 Estructura de una comunidad

Se describe como las cantidades y las abundancias relativas de todas las especies dentro de una comunidad y la manera en que se organizan en zonas o estratos de espacios vitales. La diversidad del hábitat y la relativa abundancia de hábitats son ambos determinantes importantes de la estructura de una comunidad. Las características abióticas también influyen ampliamente en la estructura de la comunidad (7).

2.2.4 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 (8).

2.2.5 Índices de diversidad

Miden la abundancia y biodiversidad de especies de un sitio, a mayor biodiversidad mayor puntuación. Reflejan alteraciones del número total de comunidades de organismos. Como ventajas de estos índices respecto a los bióticos destacan que no es necesaria la identificación de especies o familias, que no se requiere información sobre la tolerancia a contaminación y que sirven

para detectar episodios leves de contaminación. Por contra, no existe un consenso claro sobre los valores de los índices (8).

2.2.6 Calidad fisicoquímica del agua

Esta dada por los parámetros físicos (olor, sabor, color, temperatura, etc.) y químicos (alcalinidad, dureza, cloruros, etc.) del agua (9).

2.2.7 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 (6) (10).

2.2.8 Río

Los ríos son sistemas lineales que evacuan el agua caída sobre las masas continentales hacia los lagos o el mar (9).

2.3 BASES TEÓRICAS

2.3.1 Contaminación y calidad del 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 (10), 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, 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. El término calidad, se refiere a la propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa que permiten apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de su especie (12).

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

2.3.2 Inventarios de biodiversidad

Para la adecuada planeación y diseño de un inventario debe tenerse en cuenta:

- La definición precisa de los objetivos, que a su vez determinan el nivel de organización, la escala y la intensidad de muestreo.

- La selección de los grupos biológicos (taxonómicos) apropiados y la implementación de los métodos de muestreo adecuados para cada uno.

- La generación, captura y organización de datos, de forma que facilite su uso y que esté acorde al tipo de análisis e información que se desea tener (15).

En su definición más completa, el inventario se considera como el reconocimiento, ordenamiento, catalogación, cuantificación y mapeo de entidades naturales como genes, individuos, especies, poblaciones, comunidades, ecosistemas y paisajes (16).

Los datos provenientes de los inventarios pueden ser procesados, contextualizados y analizados para obtener una caracterización de la biodiversidad; pueden tener aplicación en sistemática, ecología, biogeografía y manejo de ecosistemas, entre otros. Ellos aportan información sobre el estado de conservación sobre la biodiversidad, la detección y evaluación de cambios biológicos, ecológicos y la estimación de la proporción de la biodiversidad que falta inventariar (15).

2.4 MACROINVERTEBRADOS

Son aquellos organismos que pueden observarse a simple vista, que habitan en el fondo de los lagos y ríos adheridos a sustratos tales como: rocas, piedras, plantas acuáticas o enterradas en el sustrato; es decir aquellos que tienen un tamaño mayor a 0,5 mm dentro de esta categoría tenemos representantes de varias taxas: poríferos, hidrozoos, turbelarios, oligoquetos, hirudíneas, insectos, crustáceos, gasterópodos y bivalvos. Estos organismos ocupan hábitats 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 (17).

2.5 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. En ese proceso se altera la cantidad de oxígeno disuelto, el pH, cantidad de iones disueltos y estos afectan gravemente a estos organismos. Es necesario conocer detalladamente la ecología de los diversos taxones de organismos acuáticos para poder determinar cuáles son los más afectados por los cambios o cuáles son los más tolerantes. La variación de las condiciones naturales del medio ambiente en sus aspectos físicos, químicos, causan variaciones en la estructura cuantitativa y cualitativa de las comunidades que habitan dichos lugares, siendo erradicadas las especies sensibles, manteniéndose las especies resistentes a los cambios ambientales, los que son denominados como indicadores, los que ocupan los nichos inalterados o los nichos creados por la contaminación. Pero sin embargo se puede afirmar que los Efemeropteros, Plecopteros y Trichopteros son indicadores de aguas limpias y que los Anelidos y ciertos Dipteros son indicadores de aguas contaminadas (18).

2.6 LOS SISTEMAS DE BIOINDICACION

Margalef (19), se refiere a los índices bióticos, siendo los más conocidos el BMWP y el índice de saprobiedad; diez índices conocidos como mediciones

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

De acuerdo con la literatura existente a partir de los años 50, la tendencia de la evaluación biológica ha sido la de producir índices. Como resultado se conocen actualmente cerca de 100 índices, Metcalf (20), distinguiéndose tres enfoques principales: el sapróbico, diversidad y biótico; para evaluar la respuesta de la comunidad macroinvertebrada bentónica a la contaminación.

2.6.1 Enfoque sapróbico

Se basa en la tolerancia a la contaminación de las especies indicadores presentes. Basado inicialmente su sistema en los microorganismos del plancton y del perifiton presentes en las corrientes de Europa Central. Posteriormente comenzaron a usarse los macroinvertebrados, los micrófitos y los peces (21).

El uso del Enfoque Sapróbico, ha logrado mantenerse vigente desde su formulación, aunque ha sido objeto de constantes revisiones y modificaciones. Actualmente es muy utilizado en algunos países de la Europa Central y Oriental, hasta el punto que en países como Dinamarca (22).

2.6.2 Enfoque de la diversidad

Usa tres componentes de la estructura de la comunidad a saber: riqueza, uniformidad y abundancia; para describir la respuesta de la comunidad a la calidad biológica (20).

2.6.3 Enfoque biótico

Incluye los aspectos esenciales de la saprobiedad y de la diversidad, combinando una medida cuantitativa de diversidad de especies con la información cuantitativa sobre la sensibilidad ecológica de taxones individuales en una expresión numérica simple (20).

2.7 CARACTERISTICAS IDEALES DE UN BIOINDICADOR

Cuando se habla de características ideales de un bioindicador, se observa que solo unos pocos organismos podrían estrictamente llenar estos requerimientos. Para definir como un bioindicador de calidad de agua, primero debe conocerse la flora y fauna acuática de una región motivo de estudio. Los insectos macroinvertebrados son los de más amplia aceptación dadas las siguientes ventajas (20):

- Son abundantes, de amplia distribución y fáciles de colectar.
- Fáciles de identificar, si se comparan con otros grupos menores.
- Reflejan las condiciones del medio.
- Poseen ciclos de vida largo.
- Son apreciables a simple vista.
- Responden rápidamente a los tensores ambientales.
- Aceptación de las diversas taxas como indicadores de la calidad de agua.

2.8 ÍNDICES PARA DETERMINAR LA CALIDAD BIOLOGICA DEL AGUA

La aplicación de índices bióticos a través de la utilización de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores, se ha desarrollado a nivel mundial, dentro de los índices más ampliamente aplicados se puede mencionar los siguientes: BMWP, adaptado y modificado a la fauna del Sur Occidente Colombiano por la

Universidad del Valle; EPT, aplicado en el río Angosturita en Argentina, Leiva (2) y IBF, Hilsenhof (23).

2.8.1 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP)

EL índices BMWP, estableció en Inglaterra un método simple de puntaje para todos los grupos de macroinvertebrados identificados hasta nivel de familia y que requiere solo datos cualitativos (presencia/ausencia). El puntaje va de uno a diez de acuerdo a su tolerancia a la contaminación orgánica (Tabla 2). 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 3), 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 Store Per Taxon) esto es, el puntaje total BMWP dividido por el número de los taxas, 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 (24).

Alba (10), 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 Efemeropteros, 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 2.- Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del Biological Monitoring Working Party (BMWP).

Familias	Puntuación
Siphlonuridae, 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, Dugesiidae	5
Baetidae, Caenidae, Haliplidae, Curculionidae, Chrysomelidae, Tabanidae, Stratiomydae, 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, Ephydridae	2
Oligochaeta (todas las clases)	1

Fuente: Alba (10).

Tabla 3.- Clases de calidad, significado de los valores Biological Monitoring Working Party (BMWP) y colores a utilizar en representaciones cartográficas.

Clase	Valor (BMWP')	Significado	Color
I	> 150 101-120	Aguas muy limpias Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible	Azul
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 (10).

2.8.2 Índice Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (EPT)

De la gran diversidad de organismos que podemos encontrar como fauna macroinvertebrada bentónica de un río, los artrópodos son los más importantes, su presencia es de aproximadamente un 80 por ciento. Dentro de estos, los tres grupos más utilizados como indicadores de aguas no contaminadas son Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera (25).

El análisis EPT se realizó mediante la utilización de estos tres grupos de macroinvertebrados, debido a que son más sensibles a la contaminación. Para su cálculo, se coloca en una primera columna la clasificación de organismos, en una segunda columna la cantidad de macroinvertebrados frente al grupo de organismos que corresponda y una tercera columna solo con los EPT presentes, posteriormente los EPT presentes se dividen por la abundancia total, valor que se multiplica por 100 para sacar el porcentaje. Posteriormente este resultado se compara con una tabla de calificaciones de calidad de agua (Tabla 4) que va de muy buena a mala calidad (25).

Tabla 4.- 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 (25).

2.8.3 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 5); 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 5.- 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
	Leptophlebidae	2
	Trycorythidae	4
Coleoptera	Helmidae	4
	Psephenidae	4
Megaloptera	Corydalidae	3
	Sialidae	4
Trichoptera	Glossosomatidae	0*
	Helicopsychidae	3
	Helicophidae	6
	Hydropsychydae	4
	Hidrobiosidae	0
	Hydroptilidae	4
	Leptoceridae	4
Basommatophora	Amnicolidae	6
	Lymnaeidae	6
	Physidae	8
	Chilinidae	6
Haplotaxida		10
Lumbriculida		8
Hirudinea		10

*: No toleran a la contaminación orgánica

Fuente: Hilsenhoff (23)

Luego los valores del IBF se expresan en siete clases de calidad, (tal como se observa en la Tabla 6):

Tabla 6.- 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).

2.9 ÍNDICES DE DIVERSIDAD

Los índices de diversidad son expresiones matemáticas que usan tres componentes de la estructura de la comunidad: riqueza, equitatividad y abundancia para describir la respuesta de una comunidad a la calidad de su ambiente. La suposición del uso de los índices de diversidad para el diagnóstico de ecosistemas es que los ambientes no alterados se caracterizan por tener una alta diversidad o riqueza, una distribución uniforme de individuos entre las especies y una moderada o alta cantidad de individuos. En ambientes contaminados con desechos orgánicos degradables, la comunidad generalmente responde con un descenso de la diversidad con pérdida de organismos sensibles, aumento en la abundancia de los organismos tolerantes las cuales tienen una fuente enriquecida de alimento y por su puesto un descenso de la equitatividad. En contraste la respuesta a tóxicos no degradables o polución ácida, se traduce en un descenso tanto de la diversidad como de la abundancia así como en la eliminación de organismos sensibles a demás que no hay fuentes adicionales de alimento para las formas tolerantes (26).

2.9.1 Índice de Simpson (λ)

Es considerado como una medida de dominancia, ya que se pondera según la abundancia de las especies más comunes, a partir de una medida de riqueza de especies (27). Este índice expresa la probabilidad de que dos individuos tomados al azar sean de la misma especie (28).

$$\lambda = \sum P_i^2$$

$$P_i = n_i/N$$

Dónde:

P_i : La proporción de individuos de la especie"i"

n_i : Es el número de individuos de la especies "i".

N : Es la abundancia total de las especies.

Este índice está fuertemente influido por la importancia de la especies más abundante y es menos sensibles a la riqueza de especies (27).

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

2.9.2 Índice de Shannon Weaner (H')

Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección, procede de la teoría de la información y se expresa como:

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

$$p_i = n_i/N$$

Dónde:

p_i : La proporción de individuos de la especie"i"

n_i : Es el número de individuos de la especies "i".

N : Es la abundancia total de las especies.

Para el cálculo de este índice, se considera que los individuos deben ser muestreados al azar a partir de una población infinitamente grande, así como que todas las especies estén representadas en la muestra. Adquiere valor de cero cuando hay una sola especie y el logaritmo de S cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos. Los valores que presentan suelen hallarse entre 1,5 y 3,5 y raramente sobrepasa 4,5 (26) (27).

2.9.3 Índice de Pielou (J)

Mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad y está representada mediante la ecuación:

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

$$H'_{max} = log_2 S$$

Dónde:

H' : Es el índice de diversidad de Shannon Wiener.

H'_{max} : Diversidad bajo condiciones de máxima equidad.

S : Número de especies.

Su valor va de cero a uno, donde uno representa una situación en la que todas las especies presentes son igualmente abundantes (26).

2.10 CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL AGUA

2.10.1 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 pirita y arcillas. Las aguas naturales ricas en materia orgánica disuelta, presentan valores bajos de pH, especialmente en aquellas zonas donde predominan las turberas (17).

2.10.2 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 (9).

2.10.3 Oxígeno disuelto

La determinación del oxígeno disuelto en las aguas superficiales es de mayor interés, pues depende de un conjunto de factores ecológicos, así como determina la presencia de organismos superiores. La turbulenta actividad de los organismos autótrofos, la respiración, oxidación y reducción generada por las bacterias son los principales factores que afectan su concentración en las aguas. El método de Winckler es el más usado actualmente, la precisión de este método varia de 0,1 a 0,6 por ciento, debiéndose los errores a la presencia de sustancias que interfieren como grasas y el SH_2 (30).

2.10.4 Alcalinidad

La alcalinidad indica la cantidad de cambio que ocurrirá en el pH con la adición de cantidades moderadas de ácido. Debido a que la alcalinidad de la mayoría de las aguas naturales está compuesta casi íntegramente de iones de bicarbonato y de carbonato, las determinaciones de alcalinidad pueden dar estimaciones exactas de las concentraciones de estos iones. Los iones de bicarbonato y de carbonato son algunos de los iones dominantes presentes en las aguas naturales, por lo tanto, las mediciones de alcalinidad proporcionan información sobre las relaciones de los iones principales y la evolución de la química del agua. Este parámetro está íntimamente ligado con las formas en la cual se encuentran el dióxido de carbono. Cuando el CO_2 penetra en el agua, rápidamente se hidrata formando el ácido carbónico (31).

2.10.5 Dióxido de carbono

EL CO_2 en el agua se encuentra en equilibrio con la que se halla en la atmósfera. En el agua es el resultado de los procesos de descomposición y respiración, así como aquella que ingresa de la atmósfera. El dióxido de carbono juega dos papeles importantes en el agua; primero está relacionado con la capacidad buffer del agua, lo que permite que no representen cambios bruscos de pH en el agua y el segundo, es que constituye la materia prima para la fotosíntesis (17).

2.10.6 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 (30).

2.10.7 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 ión a otro, en general se acepta que ésta aumenta en promedio tres por ciento, por cada grado centígrado que aumente la temperatura (3).

2.10.8 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 (17).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1 Ubicación política

Políticamente, el área de estudio tiene la siguiente ubicación:

Departamento: Cusco
Provincia : La Convención
Distrito : Kimbiri

El área de estudio estuvo comprendida en los cursos de los ríos Kaschiroveni, San Luís y Kimbiri, siendo ésta última resultante de la unión de las dos primeras mencionadas, desembocando sus aguas en el río Apurímac, el cual forma parte de la vertiente del Atlántico.

3.1.2 Ubicación geográfica

A lo largo de los tres ríos mencionados se ubicaron seis zonas de muestreo; dos en cada río, con la finalidad de obtener una mayor cantidad de información; la ubicación de las coordenadas geográficas y la altitud de las zonas de muestreo

fueron determinadas con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS, GARMIN etrex 30 con margen de error +-3 m) (Tabla 7 y Anexo 20).

Tabla 7.- Ubicación geográfica de los seis puntos de muestreo en los ríos, Kaschiroveni, San Luis y Kimbiri.

Zonas de muestreo	Puntos	Ubicación geográfica (UTM)	Altitud (msnm)
Río Kaschiroveni	1	0636181 8607386	804
	2	0636191 8608623	882
Río San Luis	1	0636244 8607323	797
	2	0636891 8607560	826
Río Kimbiri	1	0631944 8604411	606
	2	0634291 8606261	702

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 Población

Agua y comunidades macroinvertebrados bentónicos de los ríos Kaschiroveni, San Luis y Kimbiri.

3.2.2 Muestra

Se tomaron 48 muestras de las comunidades macroinvertebrados bentónicos y de agua, las que fueron colectados en dos zonas de cada río con una frecuencia quincenal entre los meses de Setiembre a Diciembre del 2011, obteniéndose 16 muestras para cada uno de los tres ríos considerados en el estudio.

3.3 METODOLOGÍA Y RECOLECIÓN DE DATOS

3.3.1 Macroinvertebrados acuáticos bentónicos

Para la toma de las muestras, se buscó en cada uno de los puntos de muestreo, homogeneidad según las características del sustrato, velocidad de la corriente y profundidad (20 a 40 cm), con la finalidad que los resultados de los tres ríos sean comparables entre sí. Los muestreos se realizaron utilizando una red tipo Surber, con un área de muestreo de 30 x 40 cm (1200 cm^2) y con una luz de malla de 0,5 mm considerando cinco submuestras por cada zona de muestreo, procurando ser ubicadas en puntos representativos (orillas y parte central) los cuales fueron posteriormente homogenizados.

El proceso de toma de muestras se realizó colocando la boca de la red en contra de la corriente de agua y con la ayuda de las manos se removió los componentes del lecho con la finalidad de que los organismos adheridos o bajo ellos, sean arrastrados por la corriente hacia el fondo de la red. Una vez colectados fueron colocados en bolsas de polietileno debidamente rotulados para su identificación a los cuales se les agrego alcohol al 90 por ciento, para posteriormente ser trasladados al laboratorio de Ecología y Control Ambiental de la Escuela de Formación Profesional de Biología de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.

Las muestras fueron seleccionados del resto de material indeseable (palos, hojas, arena, piedras, etc.), empleando coladores, pinzas entomológicas y bandejas translucidas, para luego los macroinvertebrados bentónicos ser contabilizado y colocados en frasco viales considerando las semejanzas morfologías (morfoespecie) e inmediatamente conservadas en alcohol al 90 por ciento.

En el laboratorio con la ayuda de un microscopio y estereoscopio, para la visualización de características de importancia taxonómica, se procedió a su identificación llegando hasta la categoría de género empleándose las claves taxonómicas de: Fernández y Domínguez (24) y Roldan (6), los que permitieron los cálculos. En este proceso también se determinaron las abundancias por cada taxón identificado.

3.3.2 Características fisicoquímicas del agua

Las muestras de agua se colectaron en frascos de polietileno, de aproximadamente 0,6 litros para las determinaciones fisicoquímicas. El procedimiento de colección se realizó sumergiendo los frascos en la parte media del curso del agua, haciendo que ingrese cuidadosamente el agua sin producir mucha turbulencia, una vez llenado el frasco y cerrados herméticamente fueron rotulados para su posterior traslado al laboratorio, siendo analizados dentro de las dos horas posteriores a la toma de muestra, mediante un equipo portátil de análisis de agua para acuicultura marca HACH modelo FF-1, para el caso de conductividad y STD se empleó un equipo multiparámetro Waterproof Tester Combo marca HANNA.

Las características fisicoquímicas de temperatura, pH, oxígeno disuelto, dióxido de carbono, fueron determinadas *in situ;* mientras que las características de alcalinidad, dureza cálcica, conductividad y sólidos disueltos totales, fueron realizadas en el Laboratorio de Producción de Alevinos de Sibayllohuato de la Municipalidad Distrital de Kimbiri.

Tabla 8.- Características fisioquímicas del agua.

Parámetro	Unidad	Método
pH		Peachímetro
Temperatura	°C	Electrométrico
Oxígeno disuelto	mg O_2/l	Volumétrico
Alcalinidad	mg $CaCO_3$/l	Volumétrico
Dióxido de carbono	mg CO_2/l	Volumétrico
Dureza total	mg $CaCO_3$/l	Volumétrico
Conductividad	µS/cm	Electrométrico
Sólidos disueltos totales	mg/l	Conductímetro

3.4 PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS

Con los datos obtenidos de los macroinvertebrados (hasta nivel de género) y de las características fisicoquímicas se construyó una base de datos con el software SPSS 12, para posteriormente ser procesados y analizados; así mismo se empleó el MINITAB 10, obteniéndose estadísticos descriptivos de tendencia central y dispersión los cuales fueron presentados en tablas y figuras. Dentro de los análisis estadísticos más empleados para el trabajo de investigación fueron:

3.4.1 Prueba de comparación de medias de Kruskal Wallis

Se utilizó la prueba de comparación de medias de Kruskal Wallis, con la finalidad de detectar posibles diferencias entre las zonas de muestreo, para las características fisicoquímicas del agua, abundancia, índices bióticos e índice de diversidad, ya que los datos aparentemente no muestran una distribución normal.

3.4.2 Análisis de conglomerados

Se utilizó el análisis de conglomerados, con la finalidad de agrupar las zonas de muestreo en base a las características de la comunidad macroinvertebrada

bentónica y de las características del agua que presentaron; para la obtención de información de los patrones de distribución de las zonas y de los taxas hallados. Para el análisis entre zonas se empleó una matriz Q (directa) y para el análisis de los taxas una matriz R (inversa), tal como lo señala Margalef (26) y Ramirez (32). La medida de similitud empleada fue la distancia Euclediana cuya fórmula matemática está representada por:

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

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

$$Ln\ (X+ 1)$$

Donde $\boldsymbol{X}$ representa la abundancia, esto se hizo con la finalidad de reducir la incidencia de los valores más grandes (especies dominantes) (32).

También se empleó el software PAST, para que a partir de la composición y abundancia de los taxones en la comunidad macroinvertebrada bentónica, se calcule los valores de la diversidad Alfa, Shannon Wiener, Equidad de Pielou y Simpson para cada zona de muestreo, los que finalmente fueron promediados.

IV. RESULTADOS

Tabla 9.- Composición y estructura de la comunidad macroinvertebrada bentónica presente en los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luís. Kimbiri, 2011.

Clase	Orden	Familia	Género	Ríos muestreados		
				Kaschiroveni	Kimbiri	San Luís
Insecta	Efemeroptera	Baetidae	Baetodes	49	41	58
			Camelobaetidius	17	16	45
		Coloburiscidae	Murphyella	0	1	0
		Leptohyphidae	Leptohyphes	24	30	35
		Leptophlebiidae	Thraulodes	45	33	86
	Coleoptera	Elmidae	Cylloepus	332	65	103
			Phanocerus	3	2	9
		Hydrophilidae	Anticura	0	0	2
		Lampyridae	Género 1	0	0	1
		Lutrochidae	Género 1	22	1	2
		Psephenidae	Psephenus	16	3	8
	Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria	137	30	102
	Lepidoptera	Nymphulinae	Parapoynx	1	2	1
			Parargyractis	1	1	3
	Neuroptera	Corydalidae	Corydalus	14	18	14
	Trichoptera	Calamoceratidae	Phylloicus	1	0	0
		Glossosomatidae	Mexitrichia	3	11	5
		Hydrobiosidae	Apatanodes	1	0	0
			Género 1	5	2	2
		Hydropsychidae	Smicridea	22	75	57
		Hydroptilidae	Orthotrichia	1	0	0
		Leptoceridae	Atanatolica	111	78	130
	Odonata	Gomphidae	Progomphus	2	0	1
		Libellulidae	Sympetrum	3	4	1
			Dythemis	1	1	0
		Megapodagrionidae	Megapodagrion	0	1	2
	Hemiptera	Naucoridae	Limnocoris	10	2	8
	Diptera	Blephariceridae	Género 1	2	2	2
		Ceratopogonidae	Género 1	0	1	0
		Chironomidae	Género 1	1	13	5
			Género 2	3	2	17
		Empididae	Género 1	1	1	1
		Psychodidae	Género 1	0	1	1
		Simuliidae	Género 1	2	7	8
		Tipulidae	Género 1	3	3	5
			Género 2	5	2	5
			Género 3	4	2	1
			Género 4	0	1	0
			Género 5	1	1	1

Tabla 10.- Clases de calidad de agua según los índices bióticos (EPT, IBF y BMWP), de los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luís. Kimbiri, 2011.

Ríos	Calidad de agua		
	Índice EPT	**Índice IBF**	**Índice BMWP**
Kaschiroveni	Regular	Excelente	Buena
Kimbiri	Buena	Muy buena	Buena
San Luís	Buena	Excelente	Buena

estructura de la comunidad macroinvertebrada bentónica estudiada, no es similar en todas las zonas de muestreo, existiendo entre ellas diferencias como se puede apreciar en la presencia y ausencia de especies halladas. Por otro lado, también se puede apreciar diferencias en el número de organismos capturados, es así que el género *Cylloepus* es el más abundante en el río Kaschiroveni con 332, *Atanatolica* en San Luís con 130 y *Smicridea* en Kimbiri con 75 especímenes, mientras que dentro de las menos abundantes se tiene a *Apatanodes, Murphyella* y Género 1 de la familia Lampyridae con un solo espécimen en los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luis respectivamente. Además en la tabla citada, se puede observar diferentes valores en cuanto al promedio del número de individuos total en cada río, tal es así que el género *Cylloepus* (Coleoptera) se capturaron 332, 65 y 103 individuos para el río Kaschiroveni, Kimbiri y San Luís respectivamente; para el género *Atanatolica* (Trichoptera) se capturó 111, 78 y 130 individuos en cada uno de los ríos mencionados, en caso del género *Thraulodes* (Ephemeroptera) se capturó 45, 33 y 86 individuos en los ríos señalados, se podría citar otros ejemplos, pero estas diferencias nos indican que podría estar presentándose diferentes condiciones ambientales en los ríos estudiados. Es necesario resaltar que, en los ríos estudiados se halló representantes de los órdenes Plecoptera, Trichoptera y Efemeroptera. Según Roldan (6) son considerados como organismos exigentes en cuanto a su hábitat, siendo indicadores de buena calidad de agua, poco capaces de soportar cambios en su medio.

La Figura 1, muestra la abundancia relativa de taxones hallados en los tres ríos, donde los géneros más abundantes y dominantes de la comunidad macroinvertebrada en los tres ríos, fueron *Cylloepus*, *Atanatolica* y *Anacroneuria*, que en su conjunto representan más del 61 por ciento del total, esto en razón

que dichos géneros se encontraron en todas las zonas de muestreo y durante todo el tiempo de muestreo; mientras que los menos abundantes y dominantes fueron: *Smicridea, Baetodes, Thraulodes, Progomphus y Murphyella,* que en su conjunto representan un poco más del 15 por ciento del total, esto en razón que algunos géneros no se encontraron en todas las zonas muestreadas y durante todo el tiempo de muestreo, afirmándose que una comunidad biótica, se caracteriza por presentar muchas especies raras y pocas especies abundantes, resultados que coinciden con lo manifestados por Carrasco (3) y Jaico (5) en trabajos realizados en la provincia de Huamanga.

La Figura 2, muestra la abundancia relativa promedio de géneros por cada río muestreado, se observa claramente que son pocos los géneros dominantes en cada uno de los ríos, mientras que son muchos los que pueden ser considerados como raros o poco abundantes. En el grupo de los más abundantes, condición que es común prácticamente en los tres ríos, se puede citar a *Cylloepus*, *Atanatolica* y *Anacroneuria*, pertenecientes a la orden Coleoptera, Trichoptera y Plecoptera respectivamente, en el caso del río Kimbiri a parte de los mencionados *Smicredea,* se constituye también como uno de los más abundantes, mientras que dentro de los menos abundantes se hallan el Género 1 de la familia Ceratopogonidae (el que incluso solo es registrado en el río Kimbiri), *Murphyella* que presenta las mismas características, bajo dicha catalogación se halla la mayoría de los taxones registrados. Afirmación anterior que coincide con lo manifestados por Jaico (5), el que sostiene que el aumento en número de algunas poblaciones es posiblemente como consecuencia de la falta de depredadores, la disponibilidad de alimento o por una combinación de ambos; reflejando el incremento de individuos en las poblaciones que han tenido

la capacidad de adaptarse, así como las condiciones del hábitat en el aspecto fisicoquímico favorables, pueden generar los incrementos señalados (31).

5.2 ÍNDICES BIÓTICOS Y DE DIVERSIDAD

La Figura 3, muestra los índices bióticos (promedio+ desviación estándar) (EPT, IBF, BMWP) de la comunidad macroinvertebrada bentónica para los tres ríos muestreados, donde el valor máximo es de 70,3 para el índice EPT presente en el río Kimbiri, seguido de 65,1 para San Luis y de 47,2 para Kaschiroveni; para el índice IBF, el mayor valor hallado fue de 3,7 para el río Kimbiri, seguido de 3,4 para San Luis y 3,2 para Kaschiroveni; en el caso del índice BMWP, se registró un valor máximo de 74,2 para Kaschiroveni, seguido de 64,9 para San Luis y de 60,8 para Kimbiri. Al realizar la prueba de Kruskal Wallis, comparando los tres ríos estudiados, se halló significancia estadística para el índice EPT e IBF 0,281 ($p < 0,05$), lo que se interpreta como que los tres ríos son diferentes para estos dos índices, por lo tanto en la calidad de agua; por otro lado para el índice BMWP no se halló significancia estadística ($p > 0,05$), lo que nos indica que estadísticamente los tres ríos son iguales en cuanto a calidad de sus aguas. Lo hallado también nos estaría señalando que los dos primeros índices, al haberse encontrado significancia estadística, son los más sensibles en comparación con el BMWP (31).

La Tabla 10, muestra las clases de calidad de agua, resultado de los índices bióticos (Figura 3), determinados para los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luís resaltando que los tres ríos estudiados muestran una calidad de agua que va desde regular a excelente. Para el caso del índice EPT, el río Kaschiroveni es catalogado como regular, mientras que Kimbiri y San Luís como buena; para el índice IBF el rio Kimbiri es considerado muy buena, excelente los ríos

Kaschiroveni y San Luis; para el índice BMWP los tres ríos muestran una buena calidad de agua. Las diferencias halladas podrían deberse a los diferentes puntajes de tolerancia que se asignan a los componentes de la comunidad macroinvertebrada y fundamentalmente a la forma de cálculo de los valores de los índices, tal es el caso del índice EPT que es considerado cuantitativo y cualitativo (considera la diversidad y abundancia de los taxones), IBF como cuantitativo (considera la abundancia de los taxones), mientras BMWP como cualitativo (solo considera la presencia del taxón mas no así sus abundancias), coincidiendo con lo afirmado por Medina (33).

La Figura 4, muestra los índices de diversidad por muestreo (promedio + desviación estándar) (Simpson, Shannon Weaner y Pielou) para los tres ríos muestreados. Para el caso del índice de Simpson los valores encontrados son relativamente bajos, tomando en cuenta que tiene un valor teórico máximo de uno, así mismo los tres ríos muestran valores muy similares que van de 0,3 para los ríos Kaschiroveni y Kimbiri y de 0,2 para el río San Luís, lo que nos estaría indicando la presencia de una comunidad en la que no existe claramente un taxón que predomina sobre otros, en cuyos casos los valores de este índice tiende a disminuir, tal como lo señala Moreno (28). Al realizar la prueba de Kruskal Wallis, no se halló significancia estadística ($p > 0,05$), lo que se interpreta como que los valores de dicho índice son similares en los tres ríos. Con respecto al índice de Shannon Weaner, el valor máximo es de 1,8 para el río San Luis, seguido de 1,7 para Kimbiri y de 1,6 para Kaschiroveni, al realizar la prueba de Kruskal Wallis, también no se halló significancia estadística ($p > 0,05$), al igual que para el índice de Pielou. De acuerdo a Margalef (26) y Moreno (28), para el caso del índice de Shannon Weaner, los valores hallados caracterizan a comunidades de mediana riqueza.

5.3 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS

En la Tabla 11, se muestra las características fisicoquímicas promedios, determinado en las aguas de los tres ríos en estudio, los valores en forma general son, es así como por ejemplo el caso del pH presenta valores diferentes registrándose valores ligeramente básicos como de 7,38 para el río San Luís, 7,25 para Kimbiri y 7,13 para Kaschiroveni; para el caso de alcalinidad las diferencias son mayores, es así que el río San Luís presenta valores máximos de 38,5 (mg $CaCO_3$/l), seguido de 30,81 (mg $CaCO_3$/l) para Kimbiri y 22,31 (mg $CaCO_3$/l) para Kaschiroveni; para el caso de dureza total se registran valores máximos de 42,50 (mg $CaCO_3$/l) para el rio San Luis, seguido de 40,38 (mg $CaCO_3$/l) para Kimbiri y 34,00 (mg $CaCO_3$/l) para Kaschiroveni; para el caso de la conductividad eléctrica se observa diferencias significativas, es así que para el río San Luis presenta valores máximos de 84,33 (uS/cm), seguido de 61,33 (uS/cm) para Kimbiri y 58,00 (uS/cm) para Kaschiroveni, estas pequeñas variaciones se debe a que los ríos al circular por su cauce, tienen la oportunidad de disolver una mayor cantidad de sales y minerales, siendo responsables de las características físico químicas del agua, resultados que coinciden con lo afirmado por Wetzel (34).

VI. CONCLUSIONES

1. La composición y estructura de la comunidad macroinvertebrada bentónica en los tres ríos, estuvo compuesto por una clase, nueve órdenes, 29 familias, 33 géneros para el río Kimbiri y 32 para los ríos Kaschiroveni y San Luis respectivamente; siendo Insecta la única clase representativa con sus órdenes Diptera, Trichoptera y Coleoptera. Los géneros más abundantes fueron *Cylloepus* con 332 individuos para el rio Kaschiroveni, *Atanatolica* en el río San Luis con 130 y *Smicridea* en Kimbiri con 75 especímenes, mientras que dentro de las menos abundantes se tiene a *Apatanodes*, *Murphyella* y Género 1 de la familia Lampyridae con un solo espécimen en los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luis, respectivamente.
2. 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.
3. 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 ($p > 0,05$).

4. Las características fisicoquímicas de las aguas de los ríos estudiados presenta valores similares, tal es el caso de pH, temperatura y oxígeno disuelto.

VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar mayores investigaciones de la comunidad macroinvertebrada bentónica de los ríos de la selva, abarcando más zonas de muestreo, con la finalidad de realizar un inventario a nivel espacial y temporal, definiendo claramente los rangos de tolerancia, de modo que los puntajes asignados en los diferentes índices bióticos sean los más cercanos a nuestra realidad.
2. Caracterizar hasta niveles taxonómicos lo más específicos posibles (especies) a los componentes de la comunidad macroinvertebrada bentónica, si no es en todos, en la mayoría de los ríos de la selva peruana, de modo que se tenga información que nos permita comparar su características con los que se pueda obtener en años posteriores.
3. Validar con investigaciones similares los índices bióticos los que permiten determinar la calidad de las aguas, que son comúnmente empleadas en otros países como Colombia, Argentina, Chile entre otros.
4. Realizar investigaciones en el que se determine muchas otras características fisicoquímicas del agua de los ríos y con mayor frecuencia, lo que nos permitirá tener criterios más amplios para el diagnóstico de la calidad biológica de las aguas superficiales mediante el empleo de diferentes índices.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Guerrero F, Manjarrés A, Núñez N. Los macroinvertebrados bentónicos de Pozo Azul (cuenca del río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua. Acta Biol. Colomb. 2003; Vol. 8, No. 2: p. 43.
2. Leiva M. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en la Cuenca del estero Peu Peu Comuna de Lautaro IX Región de la Araucania [Tesis de pre grado]. Temuco: Universidad Católica de Temuco; 2004.
3. Carrasco C. Comunidad macroinvertebrada bentónica y su relación con la calidad de agua en cinco ríos de la provincia de Huamanga. Ayacucho 2003 – 2004 [Tesis de maestría]. Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; 2005.
4. 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. de Hist. Nat. 2007; Vol. 80, No. 2: p. 225 - 242.
5. Jaico 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 de pregrado]. Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; 2011.
6. Roldan G. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Colombia: Universidad de Antioquia; 1996.
7. Pomeroy R, Parks J, Watson L. Manual de indicadores naturales y sociales para evaluar la efectividad de la gestión de áreas marinas protegidas [Internent]. Gland, Suiza, Cambridge, Reino Unido: Portals.iucn.org; 2006- [actualiado el 28 de octubre de 2008; acceso el 31 de diciembre de 2013]. Disponible en: https://portals.iucn.org/library/efiles/html/PAPS-012-Es/section11-4.html
8. Miliarium.com, Indices globales de la calidad de las aguas [Internet]. Madrid: Miliarium.com; 2004- [actualizada el 5 de mayo de 2011; acceso el 31 de dicimbre de 2013]. Disponible en: http://www.miliarium.com/prontuario/Indices/IndicesCalidadAgua.htm
9. Molina X, Vila I. Manual de evaluación de la calidad del agua. Chile: Centro Nacional del Medio Ambiente; 2006.

10. Alba J. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. España: Universidad de Granada; 1996.
11. Tyler G. Ciencia ambiental: preservemos la tierra. 5ª ed. Mexico: Cengage Learning Editores; 2002.
12. RALE (Real Academia de la Lengua Española). Diccionario Español. España; 2005.
13. CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). Tratamiento del agua para el consumo humano, calidad fisicoquímica del agua y su influencia en el tratamiento. Lima; 1995.
14. Alba J. Evaluación de las variaciones estacionales de la calidad de las aguas del río Guadalfeo, basada en el estudio de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos. España: ICONA; 1987.
15. Albares M. Manual de Métodos para el desarrollo de inventario de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Programa de Inventario de Biodiversidad. Colombia; 2006.
16. Noss R. Indicators for measuring biodiversity: a hierarchicalapproach. Conservation Biology. 1990; 4: 355-364.
17. Roldan G. Fundamentos de limnología neotropical. Colombia: Universidad de Antioquia; 1992.
18. Nevel B, Wrigth R. Ciencias ambientales, ecología y desarrollo sostenible. 6ª ed. México. Prentince Hall; 1999.
19. Margalef R. Diversidad de especies en las comunidades naturales. P.Inst. Biol. Appl. 1951; vol. 9: 15-27.
20. Metcalf J. Biological wáterquality of running waters base on macroinvertebrate communities. Europe. Environm Pollut; 1989.
21. Kolkwitz R, Marsson W. Grundsatze fur die biologische Beurteilug des Wasser nach seiner Flora and Fauna. Mitt. Prufungsanst. Wasserversorg. Abwasser ein.1902; 1: 33-72.
22. Cairns J. A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. Pp. 10-27 in D. M. Rosemberg y V. H. Resh (eds.): Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. Chapman y Hall, New York. 1993.
23. Hilsenhoff W. Evaluación rápida sobre el terreno de la contaminación orgánica con el nivel de Índice Biótico de Familia. Oficial de la América del Norte. Sociedad Entomológica; 1988.

24. Fernández H, Domínguez E. Guía para determinación de los Artrópodos Bentónicos Sudamericanos. Argentina. Universidad Nacional de Tucumán; 2001.
25. Plafkin P. Protocolo para la evaluación en ríos y arroyos utilizando macroinvertebrados bentónicos y peces. Agencia Ambiental de EE. UU. 1989.
26. Margalef R. Ecología. España: Omega; 1986.
27. Magurran A. Diversidad ecológica y su medición. España: Vedrá; 1988.
28. Moreno C. Métodos para medir la biodiversidad. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y Caribe, UNESCO; 2001.
29. Margalef R. Limnología. España: Omega; 1983.
30. Cole G. Manual de Limnología. Argentina: Hemisferio Sur; 1988.
31. Miller G. Ecología y medio ambiente. México: Iberoamericana; 1994.
32. Ramírez A. Ecología aplicada: Diseño y análisis estadístico. Colombia: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano; 1999.
33. Medina R. Análisis comparativo de índices bióticos y de diversidad en base a la comunidad macroinvertebrada bentónica en el río Alameda, Ayacucho 2009-2010 [Tesis de pregrado]. Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; 2011.
34. Wetzel R. Limnología. Barcelona: Omega; 1981.

ANEXOS

Anexo 01

Tabla 12.- Valores promedio de individuos de la comunidad macroinvertebrada bentónica hallada en seis zonas de muestreo, presente en los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luis. Kimbiri, 2011.

Géneros	Ríos muestreados					
	Kaschiroveni		Kimbiri		San Luis	
	1	2	1	2	1	2
Baetodes	58	39	16	65	45	71
Camelobaetidius	29	4	19	13	49	41
Murphyella	0	0	1	0	0	0
Leptohyphes	21	26	30	30	28	41
Thraulodes	23	67	12	54	100	72
Cylloepus	420	243	49	80	71	135
Phanocerus	4	1	0	4	7	11
Anticura	0	0	0	0	0	4
Lampyridae Sp 1	0	0	0	0	0	1
Lutrochidae Sp 1	12	32	0	1	2	1
Psephenus	14	18	0	6	2	14
Anacroneuria	144	129	9	51	73	130
Parapoynx	0	1	0	3	0	2
Parargyractis	0	1	0	2	0	5
Corydalus	15	13	9	26	13	15
Phylloicus	1	1	0	0	0	0
Mexitrichia	4	2	1	21	1	8
Apatanodes	2	0	0	0	0	0
Hydrobiosidae Sp1	6	3	0	3	3	0
Smicridea	28	15	15	135	34	79
Orthotrichia	1	0	0	0	0	0
Atanatolica	127	95	51	105	123	136
Progomphus	1	2	0	0	0	2
Sympetrum	0	6	0	7	0	2
Dythemis	0	1	0	1	0	0
Megapodagrion	0	0	0	1	2	1
Limnocoris	11	8	1	2	3	12
Blephariceridae Sp 1	0	4	3	0	0	4
Ceratopogonidae Sp 1	0	0	0	2	0	0
Chironomidae Sp 1	1	0	14	11	4	5
Chironomidae Sp 2	4	2	4	0	14	19
Empididae Sp 1	1	0	0	2	0	1
Psychodidae Sp 1	0	0	1	0	1	1
Simuliidae Sp 1	0	3	4	10	1	15
Tipulidae Sp 1	3	2	2	3	4	5
Tipulidae Sp 2	3	7	0	3	5	4
Tipulidae Sp 3	1	6	0	3	0	1
Tipulidae Sp 4	0	0	0	1	0	0
Tipulidae Sp 5	1	1	0	2	0	2

1. Río abajo
2. Río arriba

Anexo 02

Tabla 13.- Valores medios de la comunidad macroinvertebrada bentónica presente en los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luis. Kimbiri, 2011.

Géneros	Ríos muestreados			
	Kaschiroveni	Kimbiri	San Luis	Total
Baetodes	6,06	5,06	7,25	6,12
Camelobaetidius	2,06	2	5,63	3,23
Murphyella	0	0,06	0	0,02
Leptohyphes	2,94	3,75	4,31	3,67
Thraulodes	5,63	4,13	10,75	6,84
Cylloepus	41,44	8,06	12,88	20,79
Phanocerus	0,31	0,25	1,13	0,56
Anticura	0	0	0,25	0,08
Lampyridae Sp 1	0	0	0,06	0,02
Lutrochidae Sp 1	2,75	0,06	0,19	1
Psephenus	2	0,38	1	1,13
Anacroneuria	17,06	3,75	12,69	11,17
Parapoynx	0,06	0,19	0,13	0,13
Parargyractis	0,06	0,13	0,31	0,17
Corydalus	1,75	2,19	1,75	1,9
Phylloicus	0,13	0	0	0,04
Mexitrichia	0,38	1,38	0,56	0,77
Apatanodes	0,13	0	0	0,04
Hydrobiosidae Sp1	0,56	0,19	0,19	0,31
Smicridea	2,69	9,38	7,06	6,38
Orthotrichia	0,06	0	0	0,02
Atanatolica	13,88	9,75	16,19	13,27
Progomphus	0,19	0	0,13	0,11
Sympetrum	0,38	0,44	0,13	0,32
Dythemis	0,06	0,06	0	0,04
Megapodagrion	0	0,06	0,19	0,08
Limnocoris	1,19	0,19	0,94	0,77
Blephariceridae Sp 1	0,25	0,19	0,25	0,23
Ceratopogonidae Sp 1	0	0,13	0	0,04
Chironomidae Sp 1	0,06	1,56	0,56	0,73
Chironomidae Sp 2	0,38	0,25	2,06	0,9
Empididae Sp 1	0,06	0,13	0,06	0,08
Psychodidae Sp 1	0	0,06	0,13	0,06
Simuliidae Sp 1	0,19	0,88	1	0,69
Tipulidae Sp 1	0,31	0,31	0,56	0,39
Tipulidae Sp 2	0,63	0,19	0,56	0,46
Tipulidae Sp 3	0,44	0,19	0,06	0,23
Tipulidae Sp 4	0	0,06	0	0,02
Tipulidae Sp 5	0,13	0,13	0,13	0,13
Total	104,22	55,54	89,09	82,95

Anexo 03

Tabla 14.- Prueba de Kruskal Wallis para los índices bióticos EPT, IBF, BMWP empleados para la comparación de la comunidad macroinvertebrada bentónica de los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luis. Kimbiri, 2011.

Rangos

	Ríos	N	Rango promedio
Índice EPT	Kaschiroveni	16	16,00
	Kimbiri	16	30,31
	San Luis	16	27,19
	Total	48	
Índice IBF	Kaschiroveni	16	19,25
	Kimbiri	16	34,31
	San Luis	16	19,94
	Total	48	
Índice BMWP	Kaschiroveni	16	29,00
	Kimbiri	16	21,66
	San Luis	16	22,84
	Total	48	

Estadísticos de contraste(a, b)

	Chi-cuadrado	gl	Sig. asintót.
Índice EPT	9,247	2	,010
Índice IBF	11,810	2	,003
Índice BMWP	2,539	2	,281

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: Ríos

Anexo 04

Tabla 15.- Prueba de Kruskal Wallis para los índices de diversidad Simpson, Shannon Weaner, Pielou empleados para la comparación de la comunidad macroinvertebrada bentónica de los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luis. Kimbiri, 2011.

Rangos

	Ríos	N	Rango promedio
Índice de Simpson	Kaschiroveni	16	28,88
	Kimbiri	16	24,88
	San Luis	16	19,75
	Total	48	
Índice de Shannon Weaner	Kaschiroveni	16	20,63
	Kimbiri	16	24,50
	San Luis	16	28,38
	Total	48	
Índice de Pielou	Kaschiroveni	16	17,94
	Kimbiri	16	27,38
	San Luis	16	28,19
	Total	48	

Estadísticos de contraste(a, b)

	Chi-cuadrado	gl	Sig. asintót.
Índice de Simpson	3,416	2	,181
Índice de Shannon Weaner	2,452	2	.294
Índice de Pielou	5,300	2	,071

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: ríos

Anexo 05

Tabla 16.- Valores medios de las características fisicoquímicas de las aguas de los ríos Kaschiroveni, Kimbiri y San Luis. Kimbiri, 2011.

Parámetros fisicoquímicos	Ríos muestreados											
	Kaschiroveni			Kimbiri			San Luis			Total		
	1	2	Total	1	2	Total	1	2	Total	1	2	Total
pH	7,13	7,13	7,13	7,25	7,25	7,25	7,50	7,25	7,38	7,29	7,21	7,25
Temperatura (C°)	22,00	21,13	21,56	22,63	22,75	22,69	21,88	22,00	21,94	22,17	21,96	22,06
Oxígeno disuelto (mg O_2/l)	9,25	8,88	9,06	9,00	8,88	8,94	8,75	8,50	8,63	9,00	8,75	8,88
Alcalinidad (mg $CaCO_3$/l)	23,38	21,25	22,31	29,75	31,88	30,81	38,25	38,25	38,25	30,46	30,46	30,46
Dióxido de carbono (mg CO_2/l)	12,75	8,13	10,44	10,75	10,75	10,75	9,38	9,50	9,44	10,96	9,46	10,21
Dureza total (mg $CaCO_3$/l)	34,00	34,00	34,00	40,38	40,38	40,38	40,38	44,63	42,50	38,25	39,67	38,96
Conductividad eléctrica (uS/cm)	58,00		58,00	61,33		61,33	84,33		84,33	67,89		67,89
STD (mg/l)	28,67		28,67	30,33		30,33	42,67		42,67	33,89		33,89

Anexo 06

Figura 5.- Vista panorámica del río Kimbiri (río abajo). Kimbiri, 2011.

Anexo 07

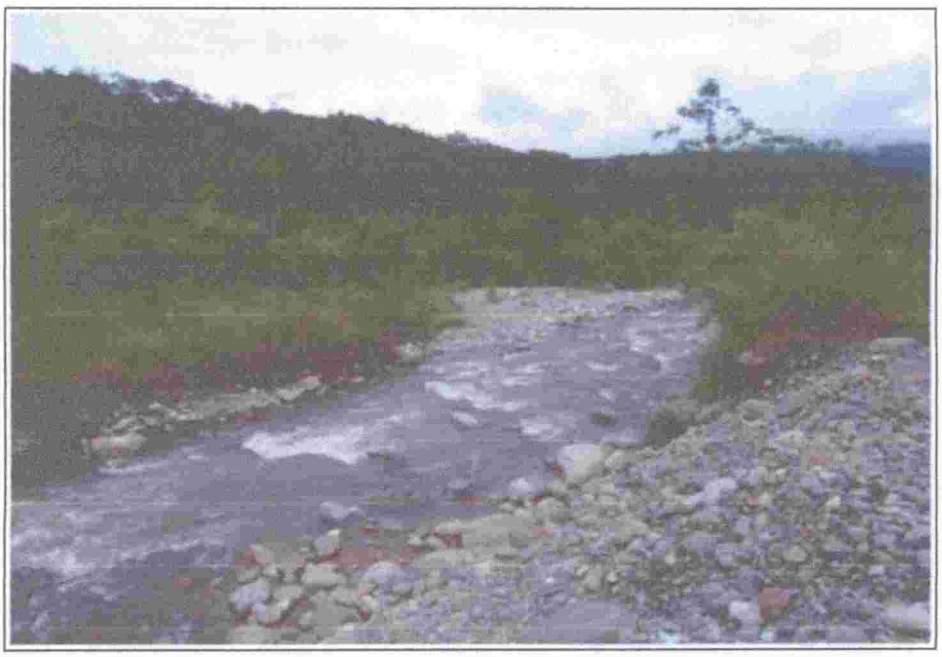

Figura 6.- Vista panorámica del río Kimbiri (río arriba). Kimbiri, 2011.

Anexo 08

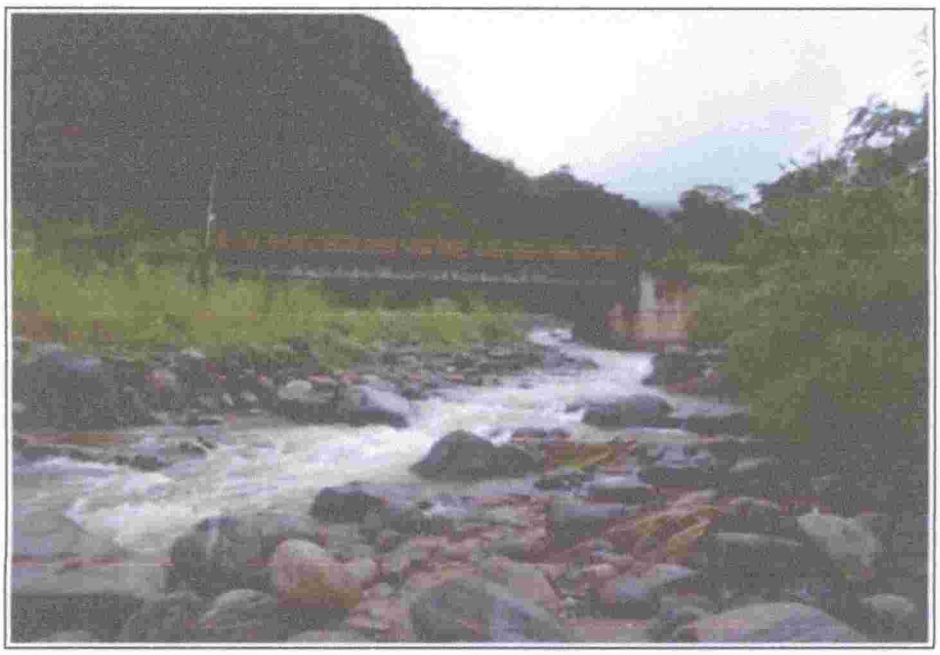

Figura 7.- Vista panorámica del río Kaschiroveni (río abajo). Kimbiri, 2011.

Anexo 09

Figura 8.- Vista panorámica del río Kaschiroveni (río arriba). Kimbiri, 2011.

Anexo 10

Figura 9.- Vista panorámica del rio San Luís (río abajo). Kimbiri, 2011.

Anexo 11

Figura 10.- Vista panorámica del río San Luis (río arriba). Kimbiri, 2011.

Anexo 12

Figura 11.- Análisis fisicoquímicos del agua del río Kimbiri.

Anexo 13

Figura 12.- Toma de muestra de la comunidad macroinvertebrada bentónica en el río San Luis.

Anexo 14

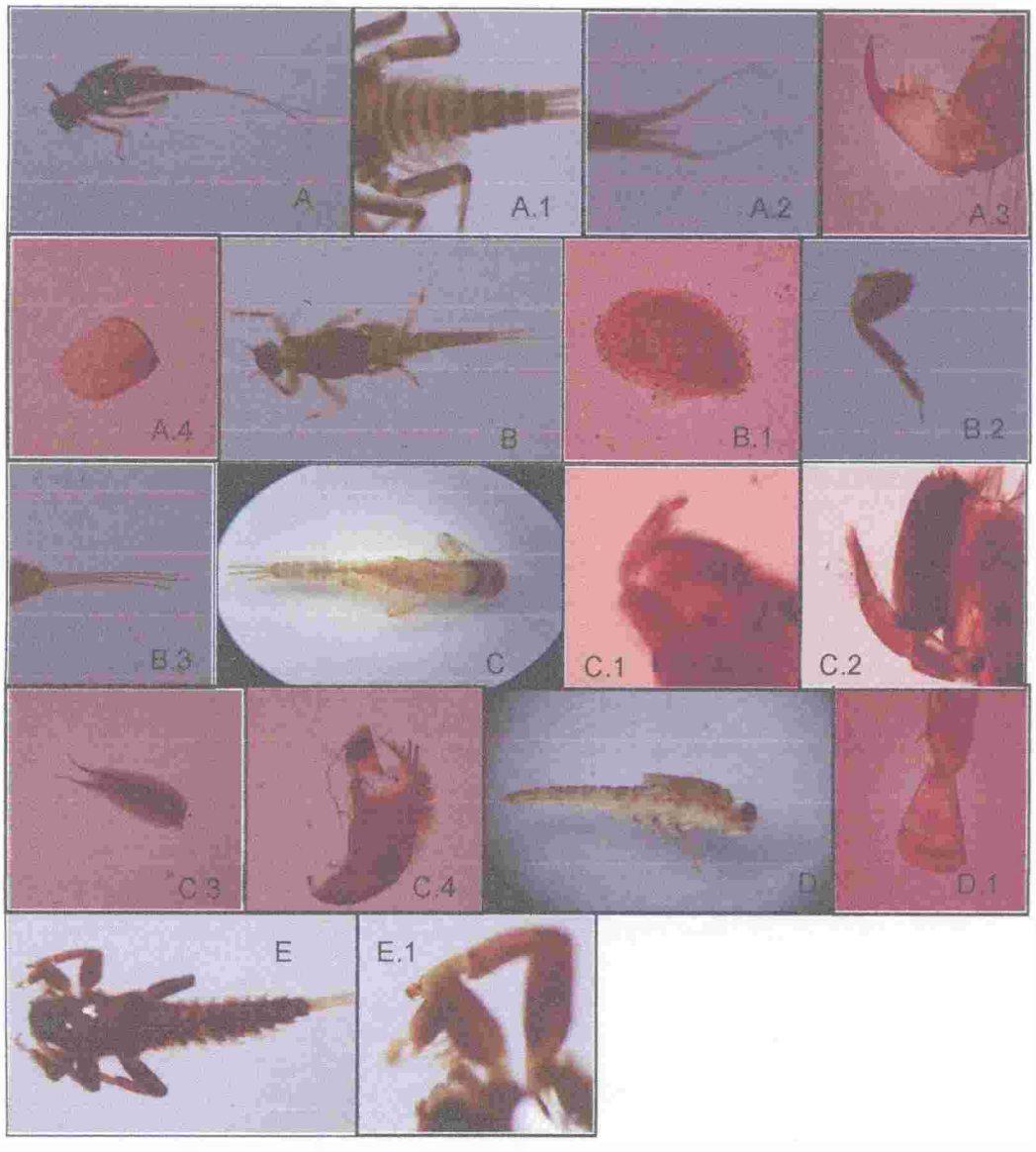

Figura 13.- Caracteristicas taxonómicas del orden Efemeroptera. Kimbiri, 2011.

Leyenda:

Género *Baetodes*: A, náyade; A.1, branquia en los segmento I a V; A.2, filamento caudal; A.3, uñas tarsales aguzadas hasta el ápice; A.4, branquia ovales. Género *Leptohyphes*: B, náyade; B.1, branquia opercular; B.2, pata anterior; B.3, filamento caudal. Género *Traulodes*: C, náyade; C.1, palpo labial; C.2, palpo maxilar; C.3, branquias con un filamento distal; C.4, mandíbula. Género *Camelobaetidius*: D, náyade; D.1, uñas tarsales espatuladas. Género *Murphyella*: E, náyade; E.1, fémur y tibia con una densa hilera de setas.

Anexo 15

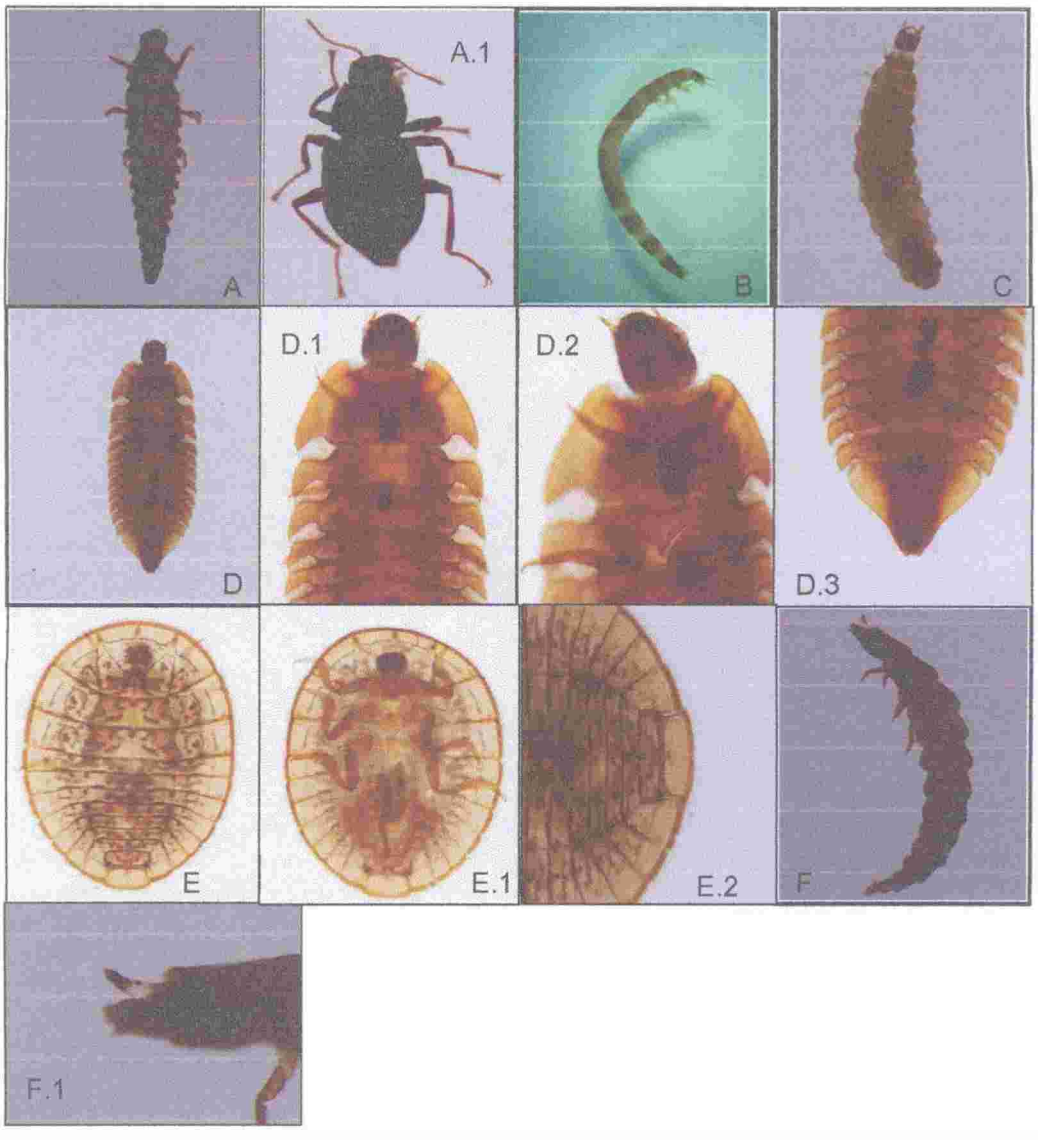

Figura 14.- Caracteristicas taxonómicas del orden Coleoptera. Kimbiri, 2011.

Leyenda:

Género *Cylloepus*: A, larva; A.1, adulto. Género *Lutrochidae*: B, larva. Género *Anticura*: C, larva. Género *Phanocerus*: D, larva; D.1, márgenes laterales de los segmento toráxicos y abdominales falcados; D.2, región ventral del tórax con 5 escleritos; D.3, último segmento abdominal no alargado y ápice débilmente emarginado. Género *Psephenus*: E, larva vista dorsal; E.1, larva vista ventral; E.2, octavo segmento abdominal sin expansiones laterales. Género *Lampyridae*: F, larva; F.1, cabeza cubierta por el pronoto.

Anexo 16

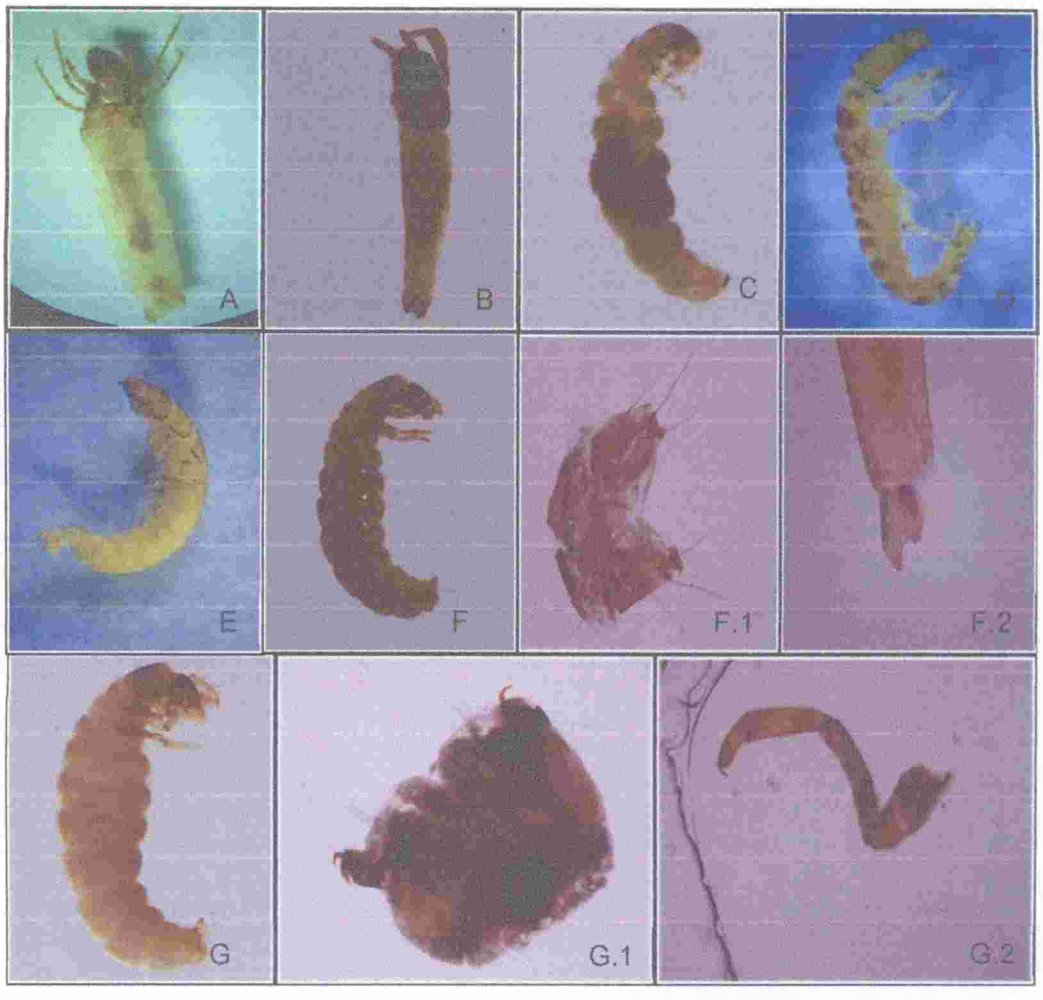

Figura 15.- Caracteristicas taxonómicas del orden Trichoptera. Kimbiri, 2011.

Leyenda:

Género *Phylloicus*: A, larva. Género *Atanatolica*: B, larva. Género *Orthotrichia*: C, larva. Género *Hidrobiosidae*: D, larva. Género *Smicridea*: E, larva. Género *Mexitrichia*: F, larva; F.1, uña de la pata anal; F.2, uña de la pata anterior. Género *Apatanodes*: G, larva; G.1, uña de la pata anal; G.2, pata anterior.

Anexo 17

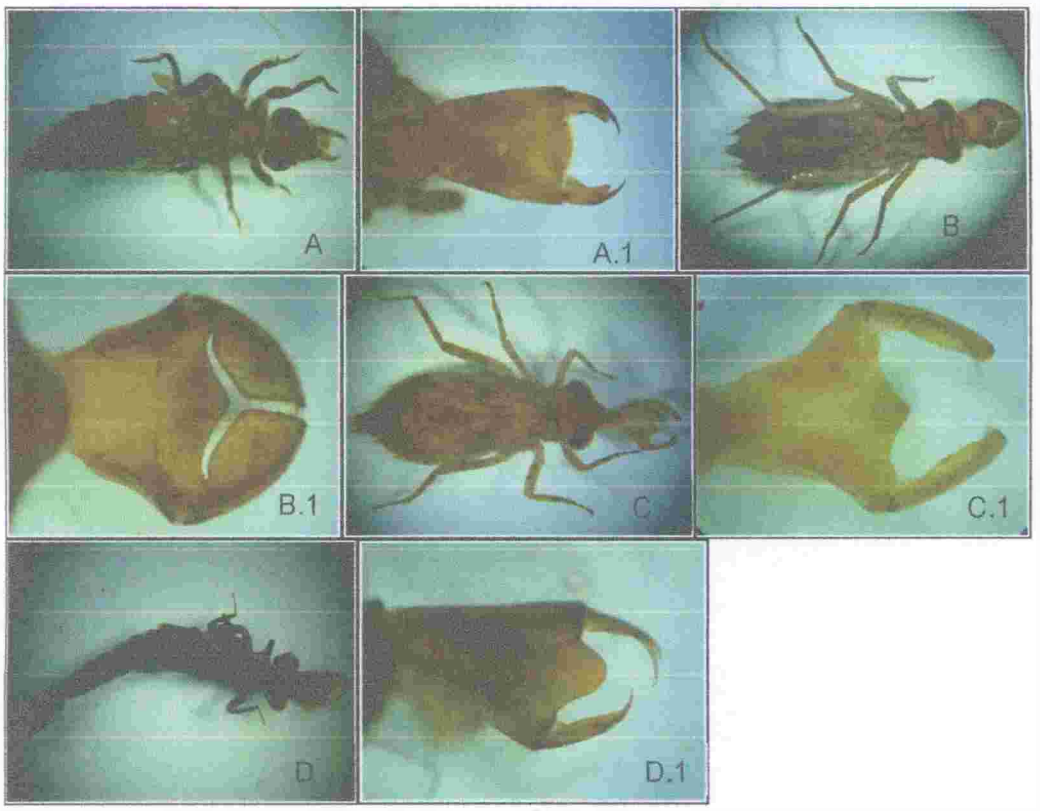

Figura 16.- Caracteristicas taxonómicas del orden Odonata. Kimbiri, 2011.

Leyenda:

Género *Progomphus*: A, larva; A.1, labio vista dorsal. Género *Dythemis:* B, larva; B.1, labio vista dorsal. Género *Sympetrum*: C, larva; C.1, labio vista dorsal. Género *Megapodagrion*: D, larva; D.1, labio vista dorsal.

Anexo 18

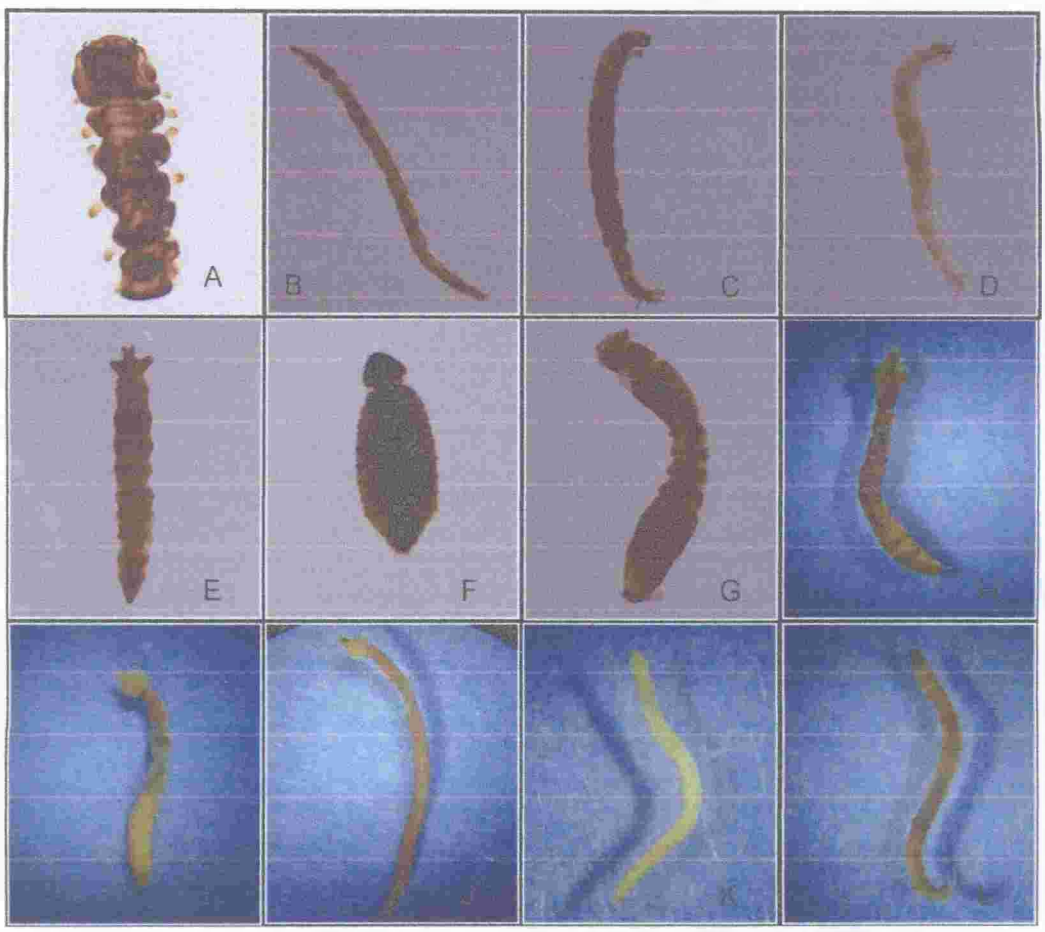

Figura 17.- Familias del orden Diptera. Kimbiri, 2011.

Leyenda:

Familia Blephariceridae: A, larva del género 1. Familia Ceratopogonidae: B, larva del género 1. Familia Chironomidae: C, Larva del género 1; D, larva del género 2. Familia Empididae: E, larva del género 1. Familia Psychodidae: F, larva del género 1. Familia Simulidae: G, larva del género 1. Familia Tipulidae: H, larva del género 1; I, larva del género 2; J, larva del género 3; k, larva del género 4; L, larva del género 5.

Anexo 19

Figura 18.- Géneros de los Ordenes Plecoptera, Hemiptera, Lepidoptera y Neuroptera. Kimbiri, 2011.

Leyenda:

Familia Perlidae: A, B, vista dorsal y ventral del genero Anacroneuria. Familia Naucoridae: C, larva del género *Limnocoris*. Familia Nymphulinae: D, larva del género *Parapoynx*; E, larva del genero *Parargyractis*. Familia Naucoridae: F, larva del género *Corydalus*.