



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA DE MEDIO AMBIENTE

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
EN MEDIO AMBIENTE**

TEMA:

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE LA
COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN
LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL**

AUTORAS:

CEDEÑO RELLES ANDREA VALERIA

QUINTEROS VERA EVELYN DAYANA

TUTORA:

ING. CUMANDÁ PHILCO VELASCO, M.Sc.

CALCETA, NOVIEMBRE 2016

DERECHOS DE AUTORÍA

Andrea Valeria Cedeño Relles y Evelyn Dayana Quinteros Vera, declaran bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado por ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la ley de propiedad Intelectual y reglamento.

.....
ANDREA V. CEDEÑO RELLES

.....
EVELYN D. QUINTEROS VERA

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

Cumandá Philco Velasco certifico haber tutelado la tesis **DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL**, que ha sido desarrollada por **Andrea Valeria Cedeño Relles y Evelyn Dayana Quinteros Vera**, previo la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

.....
ING. CUMANDÁ PHILCO VELASCO, M.Sc.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaran que han **APROBADO** la tesis **DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL**, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por **Andrea Valeria Cedeño Relles y Evelyn Dayana Quinteros Vera**, previa la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí
Manuel Félix López

.....
ING. YESENIA Y. ZAMBRANO INTRIAGO, M.Sc.
MIEMBRO

.....
EC. TEÓDULO R. ZAMBRANO FARÍAS, M.Sc.
MIEMBRO

.....
ING. FRANCISCO J. VELÁSQUEZ INTRIAGO, M.Sc.
PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de una educación superior de calidad y en la cual hemos forjado nuestros conocimientos profesionales día a día;

A nuestros docentes, en especial a los miembros del tribunal quienes por más de cinco años de estudio nos brindaron tiempo, paciencia, y conocimiento.

A nuestras familias que nos apoyaron en todo momento, testigos fehacientes de nuestros triunfos y decepciones.

A nuestros compañeros de curso, a los que recordaremos por los momentos compartidos.

Las autoras

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de manera muy especial.

A mí querida tutora de tesis la Ing. Cumandá Philco por haberme ofrecido todo su potencial académico y profesional para la elaboración de este trabajo de investigación.

A mis docentes, en especial al Dr. Patricio Noles, al Blgo. Ramón Zambrano y al Tecnólogo Alfredo Pinargote por todo su apoyo en el desarrollo de la tesis.

A mi familia y amigos por haberme inculcado los valores éticos y morales que servirán en mi vida personal y profesional.

.....
ANDREA V. CEDEÑO RELLES

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de manera muy especial.

A mis padres Marcelo Quinteros y Carmen Vera por velar por mí siempre, soñar para mí lo mejor y por ser el mejor ejemplo de responsabilidad, perseverancia, dedicación y amor.

A mi familia por la confianza en mí, por el apoyo y el cariño dado desde que nací.

A mí querida tutora de tesis la Ing. Cumandá Philco por haberme ofrecido todos los conocimientos y valores necesarios para mi formación profesional y personal, además de aportar dedicación en este trabajo de investigación y sobretodo ser una amiga.

A mis docentes, en especial al Dr. Patricio Noles, al Blgo. Ramón Zambrano y al Tecnólogo Alfredo Pinargote por todo su apoyo en el desarrollo de la tesis.

A mi novio Fernando Talbot por darme fuerzas para afrontar todos los obstáculos presentados y por el amor brindado.

A mis amigos Andrea, Karen, María, Andrés, Janina, Mayra, Tatiana, Willy, Diego, Rubén, Angie, Paola, Paul, Emmanuel, Wendy y Henry por mostrarme el significado de la verdadera amistad, por vivir a mi lado momentos únicos y no dejar que me dé por vencida.

.....
EVELYN D. QUINTEROS VERA

CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA.....	vi-vii
CONTENIDO GENERAL	viii
CONTENIDO DE CUADROS, GRÁFICOS Y FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
PALABRAS CLAVE	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. Hipótesis	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Insectos acuáticos	6
2.2. Ecosistemas acuáticos	6
2.3. Calidad de agua	6
2.4. Biomonitoreo	7
2.5. Bioindicadores	7
2.6. Macroinvertebrados acuáticos	7
2.6.1. Macroinvertebrados necton.....	7
2.6.2. Macroinvertebrados neuston.....	7
2.6.3. Macroinvertebrados bentónicos o macrobentos	8
2.6.4. Correlación de pearson.....	8
2.7. Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua	8
2.8. Biología de los macroinvertebrados acuáticos.....	9
2.9. Amenazas a los macroinvertebrados acuáticos.....	9
2.9.1. Alteración de la comunidad de macroinvertebrados por la..... construcción de una represa	10
2.10. Evaluación de la calidad biológica del agua	10

2.11. Hábitats de los macroinvertebrados	11
2.12. Índices biológicos	11
2.12.1. Índice bmwp	12
2.12.2. Índice ept.....	12
2.12.3. Índice de shannon-weaver	13
2.13. Nivel de taxón apropiado como bioindicador	13
2.14. Órdenes de macroinvertebrados utilizados como bioindicadores..... de calidad de agua.....	14
2.15. Principales órdenes de macroinvertebrados acuáticos	14
2.15.1. <i>Ephemeroptera</i>	14
2.15.2. <i>Plecoptera</i>	15
2.15.3. <i>Tricoptera</i>	15
2.15.4. <i>Coleoptera</i>	15
2.15.5. <i>Odonata</i>	16
2.16. Monitoreo del agua	16
2.17. Parámetros físicos	16
2.17.1. Temperatura	16
2.17.2. Oxígeno disuelto	17
2.17.3. Potencial de hidrógeno	17
2.18. Cuenca hidrográfica.....	17
2.19. Subcuenca	18
2.20. Río	18
2.21. Monitoreo de macroinvertebrados.....	18
2.21.1. Red surber	18
2.21.2. Piedra y hojarasca	18
2.21.3. Red de patada.....	19
3. CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	20
3.1. Ubicación.....	20
3.2. Duración.....	21
3.3. Variables en estudio	21
3.3.1. Variable independiente	21
3.3.2. Variable dependiente	21
3.4. Método	21
3.5. Procedimiento	22
3.5.1. FASE I. Establecimiento de los macroinvertebrados bentónicos..... en la subcuenca del río carrizal.....	22

3.5.2. FASE II. Diagnóstico de la calidad del agua de la subcuenca..... del río carrizal a través de parámetros físicos e índices biológicos.....	24
3.5.3. FASE III. Relación de los resultados obtenidos del bmwp versus..... los parámetros físicos evaluados	26
3.6. Técnicas.....	26
3.6.1. Observación.....	26
3.6.2. Técnica de red de surber	26
3.6.3. Técnica de hojarasca y sedimento.....	27
3.6.4. Consulta bibliográfica	27
4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
4.1. Identificación de los macroinvertebrados bentónicos encontrados..... en la subcuenca del río Carrizal	28
4.2. Diagnóstico de la calidad del agua de la subcuenca del río Carrizal..... .a través de parámetros físicos e índices biológicos.....	33
4.2.1. Calificación de la calidad del agua de acuerdo a los índices..... biológicos.....	33
4.2.2. Calificación de la calidad del agua de acuerdo a parámetros físicos..... ..in situ.....	37
4.3. Correlación del índice BMWP versus los parámetros físicos..... evaluados en la subcuenca del río Carrizal.....	39
4.3.1. Correlación entre el índice BMWP y el potencial de hidrógeno (pH)	39
4.3.2. Correlación entre el índice BMWP y el oxígeno disuelto (OD).....	41
4.3.3. Correlación entre el índice BMWP y el oxígeno disuelto (OD).....	43
5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	46
5.1. Conclusiones.....	46
5.2. Recomendaciones	47
BIBLIOGRAFÍA.....	48
ANEXOS.....	59

CONTENIDO DE CUADROS, GRÁFICOS Y FIGURAS

Cuadro 2.1 Familias y su respectiva puntuación para el análisis del índice BMWP	12
Cuadro 3.1 Coordenadas geográficas de las seis estaciones de muestreo estudiadas en la subcuenca del río Carrizal	20
Cuadro 3.2 Clasificación de la calidad del agua según el índice de BMWP	25
Cuadro 3.3 Clasificación de la calidad del agua de acuerdo a los valores del índice de Shannon-Weaver (H')	25
Cuadro 3.4 Porcentajes de la calidad del agua de acuerdo al índice EPT	26
Cuadro 4.1 Diversidad y abundancia total de insectos acuáticos encontrados en la subcuenca del río Carrizal, en época lluviosa (EL) y época seca (ES)	29
Cuadro 4.2 Número de insectos encontrados en las seis estaciones de muestreo, en época lluviosa y seca	31
Gráfico 4.1 Valores del índice de Diversidad y Abundancia de los macroinvertebrados acuáticos encontrados en la subcuenca del río Carrizal, en la época lluviosa y seca	34
Gráfico 4.2 Calidad del agua de la subcuenca del río Carrizal según el porcentaje EPT	35
Gráfico 4.3 Calidad del agua de la subcuenca del río Carrizal según el índice BMWP en época lluviosa y seca	37
Cuadro 4.3 Parámetros físicos medidos en la subcuenca del río Carrizal en época lluviosa y seca	38
Gráfico 4.4 Gráfico de dispersión entre el índice biológico BMWP y el pH en la época de lluvia	40
Gráfico 4.5 Gráfico de dispersión entre el índice biológico BMWP y el pH en la época de seca	41
Gráfico 4.6 Gráfico de dispersión entre el índice biológico BMWP y el OD en la época de lluvia	42
Gráfico 4.7 Gráfico de dispersión entre el índice biológico BMWP y el OD en la época de seca	43
Gráfico 4.8 Gráfico de dispersión entre el índice BMWP y la temperatura en la época lluviosa	44
Gráfico 4.9 Gráfico de dispersión entre el índice BMWP y la temperatura en la época seca	44

RESUMEN

Se determinó la calidad del agua mediante macroinvertebrados bentónicos en la subcuenca Carrizal, durante la época lluviosa (marzo a abril) y seca (julio a agosto) de 2016. Para esto se establecieron seis estaciones de muestreo a lo largo del río, donde se evaluó un tramo de 100 metros de longitud por cada estación, tomándose cinco submuestras. Usando redes de patada y surber se capturó 1741 individuos pertenecientes a 33 familias y 6 órdenes de la clase Insecta. La diversidad media en este ecosistema, calculada con el índice Shannon-Weaver y comparada con el esquema de Wilhm y Dorris la ubica en el rango 1-3, lo que muestra que la subcuenca presenta una contaminación moderada. Por otro lado, los índices EPT y BMWP, concordaron en la cualificación del agua de la subcuenca Carrizal, demostrando un atributo regular del agua en las estaciones E1 “Quiroga”, E5 “Estancillas” y E6 “Tosagua”; mientras que las estaciones E2 “Sarampión”, E3 “Paraíso” y E4 “Calceta” presentaron calidad buena. De los tres parámetros físicos (pH, OD y temperatura) evaluados, solo el OD correlacionó positivamente y la temperatura negativamente con el BMWP. Las variables físicas mostraron valores dentro de los límites aceptables de acuerdo a la legislación ecuatoriana durante las dos épocas; según los índices biológicos la calidad del agua de la subcuenca del Carrizal va desde buena (estaciones 2, 3 y 4), regular (estaciones 1 y 6) a escasa (estación 5) causada por factores como el represamiento del cauce del río, remoción de la vegetación ribereña, etc.

PALABRAS CLAVE

Bioindicadores, insectos acuáticos, índices biológicos, correlación.

ABSTRACT

Water quality was determined by benthic macroinvertebrates in the Carrizal sub-basin during the rainy season (March to April) and dry (July-August) 2016. For this six sampling stations were established along the river, where a stretch of 100 meters long and each station is evaluated, taking five subsamples. Using networks kick and Surber 1741 individuals belonging to 33 families and 6 orders of the class Insecta he was captured. The average diversity in this ecosystem, calculated with the Shannon-Weaver index and compared with the scheme Dorris and Wilhm and places it in the 1-3 range, which shows that the sub-basin has a moderate pollution. On the other hand, the EPT and BMWP, indexes agreed on the qualification of water Carrizal subbasin, showing a regular attribute of water according to the results in stations E1 "Quiroga," E5 "Estancillas" and E6 "Tosagua"; while stations E2 "Measles" E3 "Paradise" and E4 "Calceta" showed good quality. Three physical parameters (pH, DO and temperature) were evaluated. DO was positively correlated to BMWP but temperature, negatively correlated. The physical variables showed acceptable limits during both seasons. By application of biological index water quality in Carrizal River's subbasin goes from good (2, 3 and 4 station) to low (station 5) caused by factors such as the damming of the river bed, removal of riparian vegetation, etc.

KEYWORDS

Bioindicators, aquatic insects, biological index, correlation.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente las cuencas hidrográficas representan un excelente medio para diseñar e instrumentar políticas orientadas al desarrollo rural y manejo sostenible de los ecosistemas (Sepúlveda y Rojas, 2011; Jouravlev, 2003), a través de una integralidad física, administrativa, tecnológica, biogeográfica y social (Fernández, 2011).

La gestión de cuencas hidrográficas se basa en la identificación y valoración de indicadores geomorfológicos, geológicos, climáticos, fluviales, biogeográficos, de uso de suelo, etc., (Sheng, 1992). Según Vargas (1996), la calidad y disponibilidad del recurso hídrico representa un indicador válido para la administración de las cuencas hidrográficas y a su vez la oportunidad de un aprovechamiento permanente, base del desarrollo sostenible.

La calidad del agua es un factor importante para administrar y determinar el estado de conservación de las cuencas hidrográficas, así impidiendo la transmisión de agentes que causen enfermedades (Briñez *et al.*, 2012) y la alteración del equilibrio de los ecosistemas, pues la biodiversidad asociada al recurso se ve afectada por la contaminación.

La continuidad de monitoreos realizados al agua para conocer su estado se ve limitado por el tiempo y los elevados costos económicos que presentan los métodos convencionales, los cuales se basan en la integración de las mediciones de determinados parámetros físicos, químicos y microbiológicos (Samboni *et al.*, 2007).

En Sudamérica existe un creciente número de trabajos sobre la utilización de bioindicadores en evaluaciones de la calidad de ríos (Baptista *et al.*, 2007; Couceiro *et al.*, 2007; Moya *et al.*, 2007), especialmente porque el monitoreo biológico informa tanto de condiciones pasadas como de actuales, a diferencia

de los análisis físico-químicos, que dan información sobre las condiciones en el momento de tomar la muestra (De la Lanza *et al.*, 2011).

Galarraga (2001), menciona que en el Ecuador los estudios sobre calidad de agua e interacciones biológicas son escasos, lo que provoca un desconocimiento de la situación actual de los recursos hídricos. Además, los pocos estudios que se han realizado coinciden en que existe una fuerte contaminación del agua.

Sin embargo en la subcuenca del río Carrizal no existen antecedentes sobre la aplicación de índices bióticos que integren la calidad del agua a la gestión de los recursos hídricos (Torres, 2011), para administrar los bienes y servicios ambientales, de los territorios inmersos en esta unidad natural.

Los macroinvertebrados bentónicos son los organismos más ampliamente usados como bioindicadores en la actualidad (Resh, 2008), esto se debe a que responden rápidamente a variaciones ambientales (Lampert y Sommer, 2007).

El uso de los macroinvertebrados bentónicos tienen interés particular, debido a las grandes ventajas que presentan estas comunidades en la evaluación y monitoreo de ambientes acuáticos (Bonada *et al.*, 2006), entre las principales se destacan: la facilidad de muestreo, bajos costos económicos, naturaleza sedentaria que proporciona una buena señal espacial de lo que ocurre en cada hábitat muestreado (Bailey *et al.*, 2003). Con estos antecedentes, se plantea la siguiente interrogante:

¿La comunidad de macroinvertebrados bentónicos determina la calidad del agua de la subcuenca del río Carrizal?

1.2. JUSTIFICACIÓN

A medida que la sociedad se desarrolla, se incrementa la demanda del recurso hídrico y al mismo tiempo aumentan los niveles de impacto negativos a las cuencas hidrográficas, dado que el aprovechamiento del recurso no es de forma sustentable (Elosegi y Sabater, 2009). Las cuencas hidrográficas representan un bien y servicio ambiental imperativo para el desarrollo sostenible, el crecimiento económico, la estabilidad política, social, la salud y la erradicación de la pobreza (IV FORO MUNDIAL DEL AGUA, 2006).

La calidad del agua es un constituyente fundamental para la gestión de las cuencas hidrográficas (Bahamondes y Gaete, 2009), factor que debe ser monitoreado de manera continua. Las metodologías de estudio y seguimiento de la calidad del agua, están basadas casi exclusivamente en el análisis de parámetros físico-químicos, pero la variedad de contaminantes generados y el hecho de que los vertidos son generalmente puntuales en el tiempo se exige el desarrollo de nuevas metodologías (Muñoz *et al.*, 2003).

Según Prat *et al.* (2009), el empleo de macroinvertebrados representa una herramienta útil para determinar la calidad del agua, caracterizando las especies presentes en una muestra. Por su parte Muñoz *et al.* (2003), destacan la utilización de los macroinvertebrados como una técnica idónea para conocer el estado de los recursos hídricos, debido a las ventajas que presentan, entre las que se pueden citar: costos inferiores, técnicas de muestreo muy estandarizadas, no requieren equipos costosos, además de reflejar afectaciones a escala de tiempo más prolongada, siendo esta metodología efectiva para el seguimiento continuo de la calidad del agua de las cuencas hidrográficas.

El art. 14 de la Constitución de la República del Ecuador (2008), menciona: El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y

zonas de recarga de agua. Al mismo tiempo el objetivo 7 del PNVB (Plan Nacional del Buen Vivir) implica garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global (SENPLADES, 2013). En base a estos antecedentes se relaciona la importancia que involucra conocer los indicadores biológicos de la subcuenca del río Carrizal para la adecuada administración de esta unidad natural, logrando de esta manera conservar el equilibrio de los ecosistemas acuáticos y mantener la salud de los seres vivos.

Considerando que la subcuenca del río Carrizal es un sistema hídrico que abastece de agua potable a cinco cantones (Bolívar, Junín, San Vicente, Sucre y Tosagua), además de ser una unidad natural importante para el crecimiento económico de las poblaciones circundantes a ella y funcionar como estabilizador natural de los humedales la Segua y la Sabana, esta investigación propone la determinación de la calidad del agua de la subcuenca mediante la comunidad de macroinvertebrados bentónicos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la calidad del agua mediante la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la subcuenca del río Carrizal.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la subcuenca del río Carrizal.
- Diagnosticar la calidad del agua de la subcuenca del río Carrizal a través parámetros físicos e índices biológicos.
- Relacionar los resultados obtenidos del índice BMWP versus los parámetros físicos evaluados en la subcuenca del río Carrizal.

1.4. HIPÓTESIS

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos presente en la subcuenca del río Carrizal indica la calidad del agua.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. INSECTOS ACUÁTICOS

Según Gutiérrez y Marie (2009), los insectos acuáticos comprende un grupo de organismos que se desarrollan toda su vida o parte de ella en el agua, los insectos acuáticos son valiosos indicadores de la calidad del agua (Wetzel, 1981), por las ventajas que presentan:

- se encuentran en casi todos los hábitats
- presenta un intervalo amplio de respuesta a la contaminación
- ciclos de vida largos, etc.

2.2. ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

El ecosistema constituye la unidad ecológica en la cual un grupo de organismos interactúa entre sí y con el ambiente, se encuentran influenciados por dos grupos de factores. Los factores bióticos reflejan las interacciones entre los organismos del ecosistema. Los factores abióticos comprenden el medio en el cual se desenvuelven los organismos. Los ecosistemas acuáticos comprenden las unidades ecológicas que se desarrollan en el agua; pueden ser de dos tipos: marinos (presentes en aguas oceánicas), y dulceacuícolas (pertenecen a las aguas continentales) (Fernández, 2011).

2.3. CALIDAD DE AGUA

La calidad del agua corresponde a las propiedades físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, propiedades que al ser afectadas repercuten tanto sobre las comunidades humanas como la vida vegetal y animal. (Commission for Environmental Cooperation, 2009).

2.4. BIOMONITOREO

El biomonitoreo o monitoreo biológico permite analizar los cambios en la salud del río o quebrada (Mafla, 2005).

2.5. BIOINDICADORES

Los bioindicadores se refiere a especies seleccionadas por su sensibilidad o tolerancia (normalmente es la sensibilidad) a varios parámetros (González y Lozano, 2004), el uso de bioindicadores como herramienta para conocer la calidad del agua reduce en gran medida actividades de campo y laboratorio, su aplicación sólo requiere de la identificación y cuantificación de los organismos basándose en índices biológicos ajustados a intervalos que califican la calidad del agua (Vázquez *et al.*, 2006).

2.6. MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS

Según Reinoso (2006), los macroinvertebrados pertenecen a la clase *Insecta*, que tienen tamaños superiores a 0.5 mm de largo. Los macroinvertebrados habitan en los sedimentos de los ecosistemas acuáticos, o en cualquier tipo de sustrato (hoja, tronco, macrofitas, entre otros) (Roldán y Ramírez, 2008).

Lozano (2005), menciona que los macroinvertebrados acuáticos actualmente son considerados como los mejores bioindicadores de la calidad del agua.

2.6.1. MACROINVERTEBRADOS NECTON

Los macroinvertebrados necton comprenden organismos que nadan libremente en el agua (Roldán, 2003).

2.6.2. MACROINVERTEBRADOS NEUSTON

Se refiere a los organismos que viven sobre la superficie del agua caminando, patinando o brincando venciendo la tensión superficial con sus patas o uñas

cubiertos por una especie de cera lo que los hace impermeables, impidiendo su hundimiento (Roldán, 2003).

2.6.3. MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS O MACROBENTOS

Son aquellos organismos que viven en el fondo de los ríos y lagos, adheridos a piedras, rocas, troncos, restos de vegetación y sustratos similares (Alonso y Camarago, 2005).

2.6.4. CORRELACIÓN DE PEARSON

El concepto de relación o correlación entre dos variables se refiere al grado de parecido o variación conjunta existente entre las mismas. El coeficiente de correlación de Pearson, es un índice que mide el grado de covariación (variación) entre distintas variables relacionadas linealmente (Etxeberria, 1999).

2.7. LOS MACROINVERTEBRADOS COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA

Los macroinvertebrados representan los organismos más ampliamente usados como bioindicadores en la actualidad por diversas circunstancias (Resh, 2008), entre las que destacamos (Bolnada, Prat, Resh, y Statzner 2006):

- Tener una amplia distribución (geográfica y en diferentes tipos de ambientes).
- Una gran riqueza de especies con gran diversidad de respuestas a los gradientes ambientales.
- Ser en su mayoría sedentarios, lo que permite el análisis espacial de la contaminación.
- En otros casos, la posibilidad de utilizar su reacción de huida (deriva) como indicador de contaminación.
- En algunas especies, tener ciclos de vida largo porque integra los efectos de la contaminación en el tiempo.

- Poder ser muestreados de forma sencilla y barata.
- Una taxonomía en general bien conocida a nivel de órdenes y familia.
- La sensibilidad bien conocida de muchos taxones a diferentes tipos de contaminación.

En un río podemos encontrar invertebrados que se alimentan de restos vegetales en descomposición procedentes principalmente de la vegetación de ribera (hojas, ramas, raíces, etc.), a estos invertebrados se les denomina desmenuzadores, entre ellos los anfípodos que son pequeños crustáceos y algunas especies de trichópteros y plecópteros. Este grupo permite la reducción de la materia orgánica más gruesa en partículas más finas, de tal manera que puedan ser utilizadas por otros invertebrados. A estos últimos invertebrados se les denomina colectores, ya que se alimentan de las pequeñas partículas orgánicas en suspensión (colectores-filtradores) o depositadas en el fondo (colectores recogedores), a este grupo pertenecen numerosas especies de dípteros y trichópteros.

2.8. BIOLOGÍA DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS

Los macroinvertebrados que habitan en agua dulce muestran gran variedad de adaptaciones, incluyendo importantes diferencias en sus ciclos de vida. Muchos grupos de macroinvertebrados acuáticos pasan todo, o casi todo, su ciclo de vida en el agua como los chinches (Hemíptera), la mayoría de los escarabajos (Coleóptera; aunque la pupa es generalmente terrestre), crustáceos, moluscos, sanguijuelas y planarias. Mientras que otros órdenes de insectos como *Ephemeroptera*, *Odonata*, *Plecóptera*, *Megalóptera*, *Trichóptera*, *Lepidóptera* y *Díptera* tienen adultos terrestres. En muy pocos grupos, como *Dryopidae* (Coleóptera) y *Nematomorpha*, solo los adultos son acuáticos (Hanson *et al.*, 2010).

2.9. AMENAZAS A LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS

La comunidad de macroinvertebrados se ve amenazada por la alteración del hábitat dulceacuícola por construcción de presas, por descargas residuales tanto doméstica como industriales (Valdovinos, 2008), la desforestación de bosque

nativos (o remoción de la vegetación ribereña) que rodea el cauce debido a que ocasionan cambios drásticos en el flujo natural de la materia y la energía, además de modificaciones en el ciclo de nutrientes, especialmente del nitrógeno y fósforo (Jorcin y Nogueira, 2008). Los cambios en el uso del suelo, provocan que los recursos hídricos sufran contaminación agroquímica (degradación de su calidad), incremento de carga orgánica y de sedimentación (Coutinho *et al.*, 2009).

2.9.1. ALTERACIÓN DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS POR LA CONSTRUCCIÓN DE UNA REPRESA

La construcción de una presa siempre representa cambios de algún tipo en el entorno en el que se desarrolla, pues el volumen de agua almacenado altera el microclima, y la ralentización del sistema fluvial altera el funcionamiento básico de los recursos hídricos. En lo que se refiere a la alteración del microclima es porque el agua actúa como un eficiente regulador térmico, provocando alteraciones en los ecosistemas de las inmediaciones del embalse (Hendricks, 1984), mientras que en lo que respecta a la ralentización del sistema fluvial ocasiona cambios en la magnitud de los caudales, en la periodicidad de las variaciones de los mismos y en la calidad del agua de los flujos (Gutierrez, 2002).

La estabilidad ecológica de un río es vista como una tendencia a reducir cambios en el flujo de energía, lo que conlleva a que la estructura ecológica de las comunidades varíe con las condiciones ambientales de cada estación, de esta manera los macroinvertebrados bentónicos, al responder rápidamente a las variaciones ambientales, reflejan el grado de integridad ecológica del sistema, no sólo momentáneamente, sino estacionalmente (Junk y Wantzen, 2004).

2.10. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD BIOLÓGICA DEL AGUA

Figuroa *et al.*, (2007) mencionan que la calidad del agua desde hace muchos tiempo se ha medido a través de parámetros físico-químico, los que actúan como

una fotografía que muestra características inmediatas sobre el ecosistema estudiado y no una variación en el tiempo.

En consideración existe otra alternativa basada en indicadores biológicos conocidos como bioindicadores los que presentan ventajas más amplias y nos entregan una gama compleja de cualidades del medio en el que se desenvuelven. Esto nos permite estudiar cambios temporales causados por las perturbaciones ya que los cambios en la estructura comunitaria, o la presencia o ausencia de especies indicadoras expresa un efecto actual o pasado sobre el sistema.

2.11. HÁBITATS DE LOS MACROINVERTEBRADOS

Los ecosistemas dulceacuícolas son considerados uno de los recursos naturales renovables más importantes para la vida. En los que respecta a valor biológico, estos ecosistemas también se destacan por contener una biota rica y variada, incluyendo una alta diversidad de peces y otros vertebrados, y una mayor diversidad de invertebrados, plantas y algas (Jonsson *et al.*, 2001). El transporte de materia orgánica en suspensión desde la cabecera hasta la desembocadura de los ríos, genera una estrecha relación entre los recursos hídricos y el ecosistema terrestre (Giller y Malmqvist, 1998). De hecho la vegetación existente en las riberas está más conectada a la vida dentro del río que a la de que se sucede fuera de él (Corbacho *et al.*, 2003).

2.12. INDICES BIOLÓGICOS

Según Gutiérrez y Marie (2009) los insectos acuáticos son un grupo de insectos que se desarrollan en el medio acuático. Para el estudio de bioindicadores y aplicar los índices bióticos es necesario recolectar los macroinvertebrados del bentos fluvial. Para ello se suelen emplear redes de mano, muestreadores (tipo Hess o Surber) o substratos artificiales, etc., (Alonso y Camargo, 2005).

2.12.1. INDICE BMWP

El BMWP (Biological Monitoring Working Party) es un índice que ordena a distintas familias de macroinvertebrados acuáticos en 10 grupos siguiendo un gradiente de menor a mayor tolerancia a la contaminación. A cada familia le hicieron corresponder una puntuación que varía de uno (1) a diez (10) (Cuadro 2.1.) (Alba y Sánchez, 1988), la suma de todos estos puntajes en un sitio dado da el total del BMWP, total que es un índice particular valioso para evaluación del sitio (Armitage *et al.*, 1983).

Cuadro 2.1 Familias y su respectiva puntuación para el análisis del índice BMWP

Familias	Puntuación
<i>Perlidae, Leptophlebiidae, Heptageniidae, Polymitarcidae, Euthyplociidae, Ephemeridae, Helicopsychidae, Calamoceratidae, Hydrobiosidae, Psephenidae, Blepharidae, Leptoceridae, Odontoceridae, Ptylodactylidae, Corydalidae, Lutrochidae, Corduliidae.</i>	10
<i>Gomphidae, Aeshnidae, Libellulidae, Hydroptilidae, Hydrobiosidae, Glossosomatidae, Philopotamidae, Oligoneuridae, Xiphocentronidae, Megapodagrionidae, Perilestidae, Psychomyiidae, Hebridae, Lestidae</i>	8
<i>Polycentropodidae, Oligoneuridae, Elmidae, Leptohephidae, Hydracarinae, Drypidae, Baetidae, Ephemerellidae, Apataniidae</i>	7
<i>Calopterygidae, Coenagrionidae, Scirtidae, Hydrophilidae, Dytiscidae, Noteridae</i>	6
<i>Hydropsychidae, Tipulidae, Simuliidae, Naucoridae, Planariidae, Limnephilidae, Crysomelidae, Hydraenidae</i>	5
<i>Caenidae, Curculionidae, Empididae, Tabanidae</i>	4
<i>Hydrometridae, Gyrinidae, Gerridae, Velilidae, Mesovelilidae, Staphylinidae, Belostomatidae, Hygrobiidae</i>	3
<i>Chironomidae, Culicidae, Muscidae, Gastropoda</i>	2
<i>Syrphidae, Oligochaeta</i>	1

2.12.2. ÍNDICE EPT

Este índice se realiza mediante la utilización de tres grupos de macroinvertebrados que son indicadores de la calidad del agua porque son más sensibles a los contaminantes. Estos grupos son *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera* (Carrera y Fierro, 2001).

2.12.3. INDICE DE SHANNON-WEAVER

El índice de Shannon-Weaver es utilizado para analizar la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, es uno de los índices biológicos mayormente aceptados a nivel mundial debido a que refleja la uniformidad de la distribución de los taxa, su dimensionalidad, y su relativa independencia del tamaño de la muestra (Bass, 1994).

$$H = - \sum p_i \ln p_i \quad [2.1]$$

Donde:

H = índice de equidad

P_i = Abundancia relativa

2.13. NIVEL DE TAXÓN APROPIADO COMO BIOINDICADOR

Durante muchos años se ha discutido sobre el nivel taxonómico más adecuado para estudios de bioindicación.

Si bien es cierto que el nivel preferible sería el de especie, la taxonomía de ciertos grupos hace el trabajo prácticamente inviable en muchos países en gran parte por el coste económico que ello comporta (en forma de tiempo para el examen de las muestras) (Puntí, 2007).

Por tal motivo se considera al nivel taxonómico de familia adecuado para que exista un equilibrio entre calidad de los resultados y tiempo requerido para obtenerlos. A este nivel las ventajas de los macroinvertebrados se mantienen (Prat *et al.*, 2008).

2.14. ÓRDENES DE MACROINVERTEBRADOS UTILIZADOS COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA

De acuerdo con el panorama ecológico en el que se aborda el estudio de los macroinvertebrados acuáticos, hay grupos (órdenes) que son claves y de fácil acceso (fácil de recolectar) en el momento de realizar la caracterización de los ecosistemas de agua dulce; los *Ephemeropteros*, *Trichópteros* y *Plecópteros* (ETP) reúnen esta característica y además son un grupo bioindicador por excelencia de aguas limpias o poco intervenidas, ya que tienen una distribución espacio temporal relativamente alta (Martinez, 2010).

2.15. PRINCIPALES ÓRDENES DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS

2.15.1. EPHEMEROPTERA

El orden efemerópteros engloba un grupo de insectos acuáticos frágiles que presentan una característica única, la de poseer un estadio terrestre volador (el "subimago") antes de alcanzar la madurez sexual (Flowers y De la Rosa, 2010).

Los efemerópteros poseen metamorfosis incompleta (hemimetábolos). El estadio inmaduro (ninfa) puede durar desde unas pocas semanas hasta un año o más en su desarrollo (Vásquez *et al.*, 2009). Las ninfas son generalmente raspadoras o recolectoras, alimentándose de una variedad de algas y detritus. La mayoría viven en la superficie de piedras, arena o barro (Flowers y De la Rosa, 2010). Los Efemerópteros, los adultos son delicados con alas anteriores triangulares y las alas posteriores reducidas o ausentes (Martinez, 2010). El abdomen consta de diez segmentos y posee dos o tres largos cercos ("colas") en su extremo; los machos poseen un par de penes para la cópula (Barber, 2007).

2.15.2. PLECOPTERA

El orden *Plecoptera*, también conocido como moscas de la piedra, son un grupo relativamente pequeño de insectos (Gutierrez, 2010). De acuerdo a Holst (2000) los plecópteros son insectos poco comunes y se encuentran cerca de lagos o vertientes.

Según Albariño y Balseiro, (1998), Las ninfas de los Plecópteros se caracterizan por tener dos cercos, largas antenas, agallas torácicas en posición ventral y a veces agallas anales. Turizo, Turizo y Zuñiga (2007) encontraron que éstas se alimentaban principalmente de ninfas de *Ephemeroptera* y larvas de *Diptera* de las familias *Chironomidae* y *Simuliidae*.

Las ninfas de los Plecópteros viven en aguas rápidas, bien oxigenadas, debajo de las piedras, troncos, ramas y hojas. Se ha observado que son especialmente abundantes en riachuelos con fondo pedregoso, de corrientes rápidas y muy limpias situadas alrededor de los 2.000 metros de altura. Son, por lo tanto, indicadores de aguas muy limpias y oligotróficas (Albariño y Balseiro, 1998).

2.15.3. TRICOPTERA

El orden *Trichoptera* comprende un grupo de insectos que dependen totalmente del medio acuático para su desarrollo. Sus alas están cubiertas de pelos en lugar de escamas. Como insectos holométabolos, los tricópteros pasan por los estadios de huevo, larva, pupa y adulto, de los cuales solamente el último es terrestre. El desarrollo larval pasa por cinco estadios en la mayoría de las especies, y puede durar de varios meses a años, dependiendo de la especie y de los factores ambientales (Springer, 2010).

2.15.4. COLEOPTERA

Grupo de insectos que viven en aguas loticas y lenticas (Costa, 2000). Sus hábitats más representativos son troncos y hojas en descomposición, grava, piedras, arena y la vegetación sumergida y emergente (Bar, 2010).

Los coleópteros son insectos holometábolos, con un desarrollo en cuatro fases: huevo - larva - pupa - adulto. La incubación de los huevos puede tardar desde unos 5 hasta 15 días; o hasta 60 días en condiciones de laboratorio (p. ej. Elmidae) (White y Roughley, 2008).

2.15.5. ODONATA

El orden *Odonata* contiene las libélulas y los caballitos del diablo y es uno de los grupos de insectos más populares. El nombre *Odonata* se deriva del griego “odon” que significa diente, refiriéndose a sus fuertes mandíbulas (Ramírez, 2011).

Los adultos generalmente vuelan cerca de quebradas, ríos, lagunas y otros cuerpos de agua dulce o salobre. Indirectamente, la presencia de odonatos puede modificar la distribución espacial de las presas, limitando el uso de hábitats y la cantidad de tiempo que invierten en alimentarse (Hammond *et al.*, 2007).

2.16. MONITOREO DEL AGUA

El monitoreo de un río consiste en determinar los cambios ocurridos en el agua a través de varias observaciones o estudios (Carrera y Fierro, 2001).

2.17. PARÁMETROS FÍSICOS

Los métodos físicos permiten determinar el tipo de contaminante vertido en detalle. Neumann *et al.*, citado por Leiva (2004), afirman que la principal desventaja de los métodos físicos radica en el costo elevado y en la información proporcionada por estos análisis es puntual y transitoria.

2.17.1. TEMPERATURA

La temperatura es un parámetro que tiene gran importancia en el agua para el desarrollo de los organismos, además de influir en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del agua como el pH, OD, la conductividad eléctrica

entre otras (IDEAM, 2001). Las comunidades de macroinvertebrados son sensibles a pequeños incrementos de temperatura (Durance y Ormerod, 2007).

2.17.2. OXÍGENO DISUELTO

El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno en el agua; es necesario para la supervivencia de la gran mayoría de animales acuáticos y niveles muy bajos pueden ser indicativos de altas concentraciones bacterianas (Rogers *et al.*, 2001). Este indicador depende de la temperatura, puesto que el agua más fría puede guardar más oxígeno en ella, que el agua más caliente. Los ríos y riachuelos requieren un mínimo de 5-6 ppm para soportar una diversidad de vida acuática (Lenntech, 2007)

2.17.3. POTENCIAL DE HIDRÓGENO

El potencial de hidrógeno (pH) representa la acidez o alcalinidad del agua, que depende de la concentración de anhídrido carbónico debido a la mineralización total. El rango normal de pH en los ecosistemas acuáticos oscila entre 5,0 y 9,0 (Torres, 2004).

2.18. CUENCA HIDROGRÁFICA

Las cuencas hidrográficas son divisiones naturales del paisaje. Debido a la topografía y delimitación del parteaguas, el agua drena a través de corrientes superficiales a un punto común pudiendo desembocar en el mar, en un cuerpo de agua interior o infiltrarse antes de encontrar algún cuerpo o superficie colector (Cotler *et al.* 2007, Maass y Cotler 2007). Se distinguen por lo general tres sectores característicos: Alto, Medio y Bajo, los cuales en función a las características topográficas del medio pueden influir en sus procesos hidrometeorológicos y en el uso de sus recursos (Llerena, 2003).

2.19. SUBCUENCA

Una subcuenca es toda área en la que su drenaje va a directamente al río principal de la cuenca. También se puede definir como una subdivisión de la cuenca. Es decir que en una cuenca puede haber varias subcuencas (Faustino, 1995).

2.20. RÍO

El río es un ecosistema fluvial en el que aparece el biotopo con tres elementos fundamentales: el cauce, la ribera y la llanura de inundación, junto al biotopo, acuática y terrestre (Fernández, 2003).

2.21. MONITOREO DE MACROINVERTEBRADOS

Existen varias técnicas para coleccionar macroinvertebrados, de todas éstas hemos elegido, por su sencillez y bajo costo. Antes de elegir cualquiera de las técnicas, se debe considerar las condiciones del río, las facilidades del medio, las posibilidades y habilidades para elaborar ciertos materiales. Recuerde que deberá utilizar esta técnica en todas las áreas seleccionadas, en igual tiempo y superficie (Carrera y Fierro, 2001). A continuación se presentan las técnicas para monitorear los macroinvertebrados bentónicos:

2.21.1. RED SURBER

Es una red sujeta a un marco metálico, que abierta tiene forma de L para atrapar macroinvertebrados removiendo el fondo (Carrera y Fierro, 2001).

2.21.2. PIEDRA Y HOJARASCA

Esta técnica consiste en la búsqueda de macroinvertebrados en las piedras y hojas que se encuentran en el fondo, en la superficie y en la orilla de los ríos. Aunque se puede realizar en cualquier río de fondo pedregoso y con vegetación flotante, es recomendable hacerlo en ríos corrientosos y con piedras grandes. Se

colectan los macroinvertebrados con la ayuda de pinzas y colóquelos en un frasco pequeño con alcohol (Carrera y Fierro, 2001).

2.21.3. RED DE PATADA

Técnica consiste en atrapar macroinvertebrados, removiendo el fondo del río. Se llama 'de patada' porque mientras uno de los miembros de la pareja da 'patadas', removiendo el fondo, la otra coloca la red río abajo para atraparlos (Carrera y Fierro, 2001).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La subcuenca del río Carrizal es la mayor cuenca hidrográfica de la provincia de Manabí cubre un área de aproximadamente 1347,0545 Km². Las aguas del río Carrizal se encuentran reguladas por la presa la Esperanza por lo que el caudal del 95% es de 10 m³/s. El área de estudio estuvo comprendida desde la represa la Esperanza hasta Tosagua, donde la longitud del río Carrizal es de 39,20 km aproximadamente. Se encuentra ubicada en el extremo oriental de la Provincia de Manabí, presenta un clima seco con temperaturas de 25°C aunque tiene máximos relativos que llegan a 36° C. A continuación se describen las características por estación de muestreo, coordenadas y altitud (Ver Anexo 1):

Cuadro 3.1 Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo estudiadas en la subcuenca del río Carrizal

Estaciones de muestreo	Características del sitio	Coordenadas		Altitud
		X	Y	
E1 "Quiroga"	Corriente lenta, sustrato arenoso, agua turbia, poca hojarasca y troncos. Presencia de cultivos en las orillas, presencia de animales como miriápodos y libélulas. Sitio alterado por la presencia de maquinaria pesada dentro del río.	601489	9902199	3
E2 "Sarampión"	Corriente lenta, sustrato arenoso con gran cantidad de piedras pequeñas, acumulación de hojas y troncos. Presencia de cultivos en las orillas por secciones, presencia de animales como insectos y peces. Presencia de vegetación en los márgenes del río. No existe presente de residuos sólidos. Agua no turbia.	598419	9903548	3
E3 "El Paraíso"	Corriente lenta, sustrato arenoso-rocoso con poca acumulación de hojarasca. Presencia de vegetación en los márgenes del río. Actividades agropecuarias realizadas en los márgenes del río.	594663	9904272	3
E4 "Calceta"	Corriente lenta, sustrato arenoso - rocoso con acumulación de hojarasca. En unas secciones hay grandes árboles mientras que en otras existen cultivos. Sitio alterado por el depósito de basura.	592307	9907370	3
E5 "Estancilla"	Corriente lenta, sustrato arenoso con escasa presencia de hojas y troncos. Escasa vegetación en los márgenes del río. Presencia de animales como peces, insectos, reptiles, etc. Sitio alterado por depósito de basura y vertido de aguas residuales.	587625	9909585	3
E6 "Tosagua"	Corriente lenta, sustrato arenoso, con escasa presencia de hojarasca y troncos. Escasa vegetación ribereña. Sitio alterado por depósito de basura.	585522	9913123	3

3.2. DURACIÓN

La investigación tuvo una duración de 9 meses dentro de un año calendario incluyendo la elaboración y ejecución del trabajo.

3.3. VARIABLES EN ESTUDIO

3.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Calidad del agua

3.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Comunidad de macroinvertebrados bentónicos

3.4. MÉTODO

El tipo de metodología a utilizar en cualquier estudio con macroinvertebrados acuáticos debe corresponder claramente con los objetivos del mismo. Por ello, un primer paso debe siempre ser definir claramente el motivo del trabajo y luego proceder a la selección de métodos (Ramírez, 2010).

La investigación estuvo enmarcada dentro del método cualitativo, pues se realizó la identificación de los organismos bentónicos encontrados en la subcuenca del río Carrizal hasta los niveles taxonómicos de orden y familia (Palma y Arana, 2014), con la ayuda de claves dicotómicas de diferentes autores.

Así mismo la investigación estuvo enfocada al método cuantitativo, pues luego de la identificación se realizó el conteo de los organismos acuáticos encontrados, teniendo en cuenta el área total de la colecta (Palma y Arana, 2014). Además se determinó la calidad del agua mediante índices biológicos que asocian a los taxa presentes en el área de estudio (orden y familia) con un valor numérico según el nivel de tolerancia. Este valor, a su vez fue utilizado en conjunto con las

abundancias relativas (índices cuantitativos) para llegar a un valor final del índice (Springer, 2010).

3.5. PROCEDIMIENTO

A continuación, se describe el procedimiento utilizado para la determinación de la calidad del agua mediante la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la subcuenca del río Carrizal basado en varias metodologías seleccionadas y adaptadas a la investigación.

3.5.1. FASE I. ESTABLECIMIENTO DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL

3.5.1.1. Actividad 1. SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO

Se establecieron 6 estaciones de muestreo a lo largo de la subcuenca del río Carrizal desde la represa “La Esperanza” hasta el cantón Tosagua (Oscoz *et al.*, 2006), considerando evaluar un tramo de 100 metros de longitud para cada estación de acuerdo con Molina *et al.* (2006). Según la Conferencia Hidrográfica del Ebro (2005), los indicadores de calidad biológica basados en los invertebrados bentónicos están menos desarrollados en lagos y humedales, es por este motivo que no se considero el humedal la SEGUA como área de estudio. En cada estación se obtuvo 5 submuestras, las cuales fueron mezcladas para obtener una muestra compuesta en concordancia con Karr y Chu (1999). Se realizó un recorrido inicial por la subcuenca del río Carrizal para seleccionar los sitios que corresponderán a las estaciones de muestreo considerando aspectos descritos a continuación (Carrera y Fierro, 2001).

Para la elección de las estaciones se consideró los hábitats existentes en el tramo, esto incluyo aspectos como la profundidad (somero-profundo), velocidad del agua (rápida, mediana, lenta), naturaleza del sustrato (grandes rocas y guijarros decimétricos, gravas, arenas y limos), presencia de vegetación

(Conferencia Hidrográfica del Ebro, 2005) y los usos del suelo que rodea al río (Carrera y Fierro, 2001).

Seleccionada el área de estudio se procedió a la toma de coordenadas geográficas con ayuda de un GPS y a la descripción de las principales características físicas del sitio en base a los aspectos mencionados anteriormente.

Para el levantamiento del mapa que ilustre el área de estudio y las estaciones establecidas se utilizó un software para análisis de Sistema de Información Geográfica (SIG).

3.5.1.2. Actividad 2. RECOLECCIÓN DE LOS MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS

Se realizó muestreos estacionales para reflejar la temporalidad, que comprenden la época lluviosa en los meses de marzo a abril y la época seca en los meses de julio y agosto de 2016.

Para la recolección de macroinvertebrados bentónicos se usó la red de patada (para ríos profundos > 45 cm), la red surber para ríos poco profundos (< 45 cm) y pinzas entomológicas para extraer los macroinvertebrados presentes en trocos caídos, rocas y vegetación sumergida. Una vez capturados los macroinvertebrados fueron almacenados en frascos plásticos esterilizados de 50 ml debidamente rotulados, con alcohol al 70% y una o dos gotas de glicerina para evitar el endurecimiento de las estructuras según la metodología descrita por Pino y Bernal (2009).

3.5.1.3. Actividad 3. IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LOS MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS

Para la identificación de los macroinvertebrados hasta los niveles taxonómicos de orden y familia se utilizó el estereoscopio marca Boeco y láminas de claves

dicotómicas de McCafferty (1981), Roldan (2000), Merritt y Cummins (1996) y Springer (2006), además se contó con la ayuda de un técnico especializado.

3.5.1.4. Actividad 4. TABULACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS

Los macroinvertebrados bentónicos identificados se ubicaron en tablas, en función de los niveles taxonómicos de orden y familia para ser contabilizados y aplicar las respectivas fórmulas para la determinación de la calidad biológica del agua.

3.5.2. FASE II. DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL A TRAVÉS DE PARÁMETROS FÍSICOS E INDICES BIOLÓGICOS

3.5.2.1. Actividad 5. MEDICIÓN DEL pH, OXÍGENO DISUELTO Y TEMPERATURA DEL AGUA

El pH, temperatura y oxígeno disuelto fueron medidos *in situ* en cada estación de muestreo por medio de un equipo portátil electrónico denominado multiparámetros marca WTW, para conocer su influencia sobre la presencia y distribución de los macroinvertebrados bentónicos según la metodología de Guinard *et al.* (2013).

3.5.2.2. Actividad 6. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD BIOLÓGICA DEL AGUA

Los datos de los organismos identificados fueron agrupados de acuerdo a la estación de muestreo y a la época (seca y lluviosa). Se determinó el índice de Shannon-Weaver, el índice BMWP (Biological Monitoring Working Party) y el índice EPT (utilizando tres grupos de macroinvertebrados), de acuerdo con la metodología de Guinard *et al.* (2013).

La aplicación del índice BMWP estuvo basada 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 dio el grado de contaminación del área estudiada. La puntuación se asigna una sola vez por familia, independiente al número de individuos encontrados (Armitage *et al.*, 1983).

El análisis del índice EPT se realizó mediante el uso de tres grupos de macroinvertebrados que son indicadores de la calidad del agua porque son más sensibles a los contaminantes. Una vez identificados los grupos presentes en cada área, fueron anotados en la columna de Abundancia de Individuos. Se sumaron todos los números de la columna mencionada, el resultado se anotó en el cuadro de Total, a continuación, se dividió el total de EPT Presentes para el total de Abundancia de Individuos (Carrera y Fierro, 2001).

Para la aplicación del índice de Shannon- Weaver se utilizó la fórmula expresada en el marco teórico, en función de la abundancia relativa (Bass, 1994).

Cuadro 3.2 Clasificación de la calidad del agua según el índice de BMWP

Clase	Puntuación	Calidad del agua
I	>150	Muy buena calidad
	101-150	Muy buena calidad
II	61-100	Buena calidad
III	36-60	Calidad media
IV	16-35	Baja calidad
V	<16	Calidad mala

BMWP: Biological Monitoring Working Party

Fuente: (Leiva, 2004)

Cuadro 3.3 Clasificación de la calidad del agua según el esquema de Wilhm y Dorris

Esquema de Wilhm y Dorris 1968	
H'	Calidad del agua
>3	Agua limpia
1-3	Contaminación moderada
<1	Contaminación severa

Fuente: (Segnini, 2003)

Cuadro 3.4 Porcentajes de la calidad del agua de acuerdo al índice EPT

Porcentaje	Calidad del agua
75 - 100 %	Muy buena
50 - 74 %	Buena
25 - 49 %	Regular
0 - 24 %	Mala

Fuente: Carrera y Fierro, 2001

3.5.3. FASE 3. RELACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL ÍNDICE BMWP VERSUS LOS PARÁMETROS FÍSICOS EVALUADOS

3.5.3.1. Actividad 7. CORRELACIÓN DE LOS RESULTADOS

Para conocer la influencia de las características físicas pH, temperatura, oxígeno disuelto sobre la distribución y presencia de los macroinvertebrados se realizó una correlación de Pearson entre el índice biológico BMWP y las variables físicas evaluadas con ayuda de un programa estadístico (González *et al.*, 2014).

3.6. TÉCNICAS

3.6.1. OBSERVACIÓN

La técnica de observación permitió definir las estaciones de muestreo y los hábitats de los bioindicadores a muestrear, además del papel importante que tuvo esta técnica en la identificación de los macroinvertebrados bentónicos a través de claves dicotómicas.

3.6.2. TÉCNICA DE RED DE SURBER

Se empleó la red surber para la recolección de los macroinvertebrados acuáticos en ríos poco profundos.

3.6.3. TÉCNICA DE HOJARASCA Y SEDIMENTO

Se examinó la hojarasca y sedimento presentes en el tramo a muestrear con el fin de recolectar los organismos que se encontraran o estuviesen adheridos a ellas.

3.6.4. CONSULTA BIBLIOGRÁFICA

La consulta bibliográfica se utilizó en la búsqueda de datos que permitan referenciar los resultados obtenidos en la ejecución del trabajo de investigación, se la realizó durante cada una de las fases previstas, pues sirvió para conseguir precedentes del trabajo presentado.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Identificación de los macroinvertebrados bentónicos encontrados en la subcuenca del río Carrizal

La entomofauna acuática recolectada en las 6 estaciones de muestreo establecidas en la subcuenca del río Carrizal, fue de 1741 individuos, de los cuales 648 corresponden a la época lluviosa y 1093 a la época seca. Se identificaron 33 familias, agrupadas en 6 órdenes de la clase *Insecta*, distribuidos de la siguiente manera: *Coleoptera*, que presentó la mayor variedad de familias (12), seguido de *Ephemeroptera* con 6 familias, *Hemiptera* y *Odonata* con 5 familias de cada orden, *Trichoptera* con 4 familias y *Diptera* con la menor variedad de familias (1) (Cuadro 4.1).

El orden con mayor abundancia de individuos durante la investigación fue el *Ephemeroptera* (861 individuos), con las familias *Ephemerellidae* (1), *Leptohyphidae* (178), *Isonychiidae* (1), *Caenidae* (13), *Leptophlebiidae* (49) y *Baetidae* (619). Los insectos del orden *Ephemeroptera* presentan metamorfosis incompleta es decir son hemimetábolos, se encuentran en casi todos los ambientes de agua dulce, pero son más abundantes y diversos en los fondos más rocosos de los ríos (Hanson *et al.*, 2010), además prefieren vivir en sitios con buena oxigenación (Baptista *et al.*, 2006). La presencia de *Leptophlebiidae*, *Caenidae* y *Baetidae* concuerda con los resultados reportados por Bravo y Loor (2015), quienes encontraron estas tres familias pertenecientes al orden *Ephemeroptera* en la microcuenca alta del río Carrizal.

El segundo orden con mayor abundancia fue el *Coleoptera* con 589 individuos, con las familias: *Limnychidae* (145), *Elmidae* (9), *Hydraenidae* (4), *Hydrophilidae* (19), *Dytiscidae* (1), *Hygrobiidae* (3), *Heteroceridae* (1), *Noteridae* (10), *Naucoridae* (6), *Lutrochidae* (5), *Chrysomelidae* (2) y *Staphylinidae* (384). Los *Coleóptera* son holometábolos (metamorfosis completa), habitan en casi todo tipo de aguas lólicas, adheridos a diversos sustratos (Hanson *et al.*, 2010).

Cuadro 4.1 Diversidad y abundancia total de insectos acuáticos encontrados en la subcuenca del río Carrizal, en época lluviosa (EL) y época seca (ES)

Orden	Familia	EL	ES	E1		E2		E3		E4		E5		E6		Total EL	Total ES	Total EL + ES
				EL	ES	EL	ES	EL	ES	EL	ES	EL	ES	EL	ES			
Odonata	<i>Libellulidae</i>		x				2								0	2	2	
	<i>Coenagrionidae</i>		x				5				13				0	18	18	
	<i>Calopterygidae</i>	x	x							3	7				2	3	9	12
	<i>Aeshnidae</i>	x	x	1	12					2	6					3	18	21
	<i>Lestidae</i>	x	x			2				5	5					7	5	12
Ephemeroptera	<i>Ephemerellidae</i>	x								1					1	0	1	
	<i>Leptohyphidae</i>	x	x			8	61	3	3	2	68			1	32	14	164	178
	<i>Isonychiidae</i>	x						1							1	0	1	
	<i>Caenidae</i>	x	x			3					10				3	10	13	
	<i>Leptophlebiidae</i>	x	x			12	36			1					13	36	49	
	<i>Baetidae</i>	x	x	42	72	46	82	55	67	33	69	37	38	36	42	249	370	619
Tricoptera	<i>Hydropsychidae</i>	x	x				9	2	19	6	7	3	12	3	6	14	53	67
	<i>Psychomyiidae</i>	x	x						11			4			4	11	15	
	<i>Polycentropodidae</i>	x						4		1		4			9	0	9	
	<i>Apataniidae</i>	x								2					2	0	2	
Coleoptera	<i>Limnychidae</i>	x	x	9	12	5		5	6		37		5	42	24	61	84	145
	<i>Elmidae</i>		x		9											0	9	9
	<i>Hydraenidae</i>	x		4											4	0	4	
	<i>Hydrophilidae</i>	x	x			2	16							1	3	16	19	
	<i>Dytiscidae</i>	x				1									1	0	1	
	<i>Hygrobiidae</i>	x				3									3	0	3	
	<i>Heteroceridae</i>	x		1											1	0	1	
	<i>Noteridae</i>	x	x			1	7	2							3	7	10	
	<i>Naucoridae</i>	x	x	1			5								1	5	6	
	<i>Lutrochidae</i>	x						3		2					5	0	5	
	<i>Chrysomelidae</i>	x	x	1					1						1	1	2	
	<i>Staphylinidae</i>	x	x	36	45	55	33	29	36	24	2	49	36	23	16	216	168	384
Hemiptera	<i>Hebridae</i>	x	x	6	8		1	3						1	1	10	10	20
	<i>Hydrometridae</i>		x								7					0	7	7
	<i>Mesoveliidae</i>	x	x	4	7		2	2	2		2		7		6	20	26	
	<i>Gerridae</i>	x	x	4	9	1			1	1	9		11		4	6	34	40
	<i>Veliidae</i>	x	x				3		7	4					4	10	14	
Diptera	<i>Chironomidae</i>		x				7				11		1		7	0	26	26
Total	33 Familias	28	24	109	174	139	269	109	153	87	253	97	110	107	134	648	1093	1741

EL: Época lluviosa ES: Época seca

E1: Quiroga; E2: Sarampión; E3: Paraíso; E4: Calceta; E5: La Estancilla y E6: Tosagua

El orden *Hemiptera* presentó un total de 107 individuos distribuidos en familias de la siguiente manera: la familia con mayor variedad de insectos fue *Gerridae* con 40 taxones, seguido de la familia *Mesoveliidae* con 26 individuos, *Hebridae* con 20 individuos, *Veliidae* (14), *Hydrometridae* (7).

El orden *Odonata* (con 65 individuos), estuvo representado por las siguientes familias: *Aeshnidae* fue la familia más abundante con 21 individuos, seguida de la familia *Coenagrionidae* con 18 individuos, *Calopterygidae* y *Lestidae* con 12 individuos cada una. La familia *Libellulidae* presentó la menor abundancia de individuos (2). Los individuos de este orden son afectados por los cambios ambientales ocasionados al medio acuático, sugiriéndolas como indicadores de la calidad del agua en ríos (Simaika y Samways, 2009), prefieren los fondos rocosos con aguas rápidas y limpias, debido a su forma alargada y a la presencia de traqueobránqueas caudales largas, cuya función es la de una fuente de oxigenación (Pino y Bernal, 2009).

El orden *Trichoptera* (con 93 individuos), estuvo representada por la familia *Hydropsychidae* (67), *Psychomyiidae* (15), *Polycentropodidae* (9), también se encontró la familia *Apataniidae* con 2 individuos. La familia *Hydropsychidae* fue la más abundante dentro de este orden, probablemente porque poseen la capacidad de sobrevivir en diferentes tipos de hábitats, que le ofrezcan el sustrato necesario como rocas, piedras, hojas, arena y grava. Estos estudios coincidieron con los realizados por Bravo y Loor (2015), para quienes la familia *Hydropsychidae* presentó el mayor número de individuos, en comparación con las otras familias. La mayoría de las larvas usan ceda para armar casas de piedras, materia vegetal y hasta conchas de caracoles; otros construyen una red de seda para filtrar el agua (Hanson *et al.*, 2010), además los tricópteros son indicadores de aguas limpias (Rodríguez *et al.*, 2001) y constituyen un importante componente de las comunidades bénticas y base de la cadena trófica de los ecosistemas acuáticos (Ortega *et al.*, 2010).

El orden con menor abundancia de individuos durante el desarrollo de toda la investigación fue *Diptera* con 26 individuos, con la familia *Chironomidae*. La

familia *Chironomidae* fue la única encontrada dentro de toda la investigación, estos individuos son capaces de sobrevivir en diferentes tipos hábitats y tolerar ambientes enriquecidos de carga orgánica residual (Colla *et al.*, 2013).

Cuadro 4.2 Número de insectos encontrados en las seis estaciones de muestreo, en época lluviosa y seca

Estaciones	E1		E2		E3		E4		E5		E6	
	EL	ES										
# individuos por época	109	174	139	269	109	153	87	253	97	110	107	134
Total de individuos	283		408		262		340		207		241	

EL: Época lluviosa ES: Época seca

E1: Quiroga; E2: Sarampión; E3: Paraíso; E4: Calceta; E5: La Estancilla y E6: Tosagua

La mayor abundancia de individuos recolectados en ambas época del año se encontró en la estación 2 “Sarampión” (408), con 139 individuos correspondientes a la época lluviosa y 269 de la época seca, seguidas de las estaciones 4 “Calceta” (340), estación 1 “Quiroga” (283), estación 3 “Paraíso” (262), estación 6 “Tosagua” (241) y por ultimo estación 5 “La Estancilla” (207) (Cuadro 4.2). La mayor abundancia encontrada en la estación 2 pudo estar influenciada posiblemente por aspectos, tales como: tipo de sustrato, grado de alteración del medio, disponibilidad de vegetación sumergida, etc., (Vásquez y Reinoso, 2012), lo que es mencionado en el cuadro 3.1, donde se encuentran las características físicas de cada estación.

De acuerdo al cuadro 3.1 las estaciones 1, 2, 3 y 4 poseen vegetación en los márgenes del río, por otro lado las estaciones 5 y 6 presentan escasa vegetación ribereña, según Scalley y Aide (2003), la eliminación de la vegetación ribereña en gran parte de los ríos representa una presión antropogénica que reduce la estabilidad térmica de la columna del agua, incrementa la frecuencia de sedimento y de macrófitas acuáticas, lo que facilita la entrada de contaminantes a los cuerpos de agua. Entre las consecuencias más importantes de esta presión es el deterioro de la calidad del agua y la reducción de los estadios adultos de la entomofauna acuática (Munn *et al.*, 2009; Egler *et al.*, 2012).

En la estación 5 se depositan residuos solidos urbanos, además de la descarga de aguas residuales. El desarrollo de este tipo de actividades sin criterios

ambientales da lugar al vertido de cargas excesivas de contaminantes orgánicos, ocasionando procesos que reducen cada vez más la capacidad de los ecosistemas acuáticos de eliminar estos desechos (Alonso y Camargo, 2005), lo que pone en peligro la sostenibilidad del suministro de alimentos y la biodiversidad de ese recurso.

Las estaciones 2, 3 y 4 poseen un sustrato arenoso-rocoso (donde predominó el sustrato rocoso) con gran cantidad de hojarasca, troncos y macrófitas (*Eichhornia crassipes*), por otro lado las estaciones 1, 5 y 6 presentaron un sustrato arenoso con escasa presencia de hojarasca y macrófitas. Según Rivera (2004), los fondos arenosos albergan pocas especies, mientras que los fondos pedregrosos suelen ser más rico, en especial cuando las rocas son grandes, además cuando existe vegetación riberaña, la entomofauna es aún más diversa y difiere considerablemente de la fauna de otros sustratos según lo expuesto por Burdet y Watts (2009).

Araúz *et al.* (2000), mencionan que las precipitaciones pluviales juegan un papel importante en la distribución de los insectos en un río e influye sobre la abundancia de individuos, ya que el aumento del caudal favorece el arrastre de los macroinvertebrados acuáticos por las corrientes y su deposición en distintas partes del río, influenciando en su distribución, lo que concuerda con lo expuesto en el cuadro 4.2, que muestra que el número de individuos por estaciones de muestreo fue mayor en la época seca (1093 individuos) y menor en la época lluviosa (648 taxones).

Por su parte Junk y Wantzen (2004), mencionan que los ecosistemas acuáticos se encuentran sometidos a la estacionalidad de las descargas hídricas, donde los organismos que allí habitan responden a sobrevivir a una serie de disturbios ocasionados por las sequías y las inundaciones.

4.2. Diagnóstico de la calidad del agua de la subcuenca del río Carrizal a través de parámetros físicos e índices biológicos

4.2.1. Calificación de la calidad del agua de acuerdo a los índices biológicos

Índice de biodiversidad Shannon-Weaver

Según el esquema de Wilhm y Dorris basados en el índice de diversidad la subcuenca del río Carrizal presenta una contaminación moderada. Gonzáles (2012), menciona que se puede hacer una aproximación del estado de las aguas con el valor del índice: valores superiores a tres implicarían aguas limpias; valores entre uno y tres, aguas más o menos contaminadas, y valores inferiores a uno, aguas muy contaminadas. Frente a lo expuesto por Gonzáles (2012), tenemos que para las seis estaciones de muestreo, en ambas épocas los valores coincidieron en indicar diversidad media para este ecosistema. Dentro de la investigación el oxígeno disuelto, la temperatura y el pH fueron las variables evaluadas por su influencia sobre la riqueza y composición de las especies de invertebrados acuáticos y en los procesos abióticos del ecosistema como los procesos fotosintéticos, remineralización de la materia orgánica y liberación de nutrientes y metales desde los sedimentos (Betancourt *et al.*, 2009).

Según el gráfico 4.1 la mayor diversidad en las seis estaciones de muestreo fue durante la época seca y por el contrario la menor diversidad fue registrada en la época lluviosa, esto se debe a que las precipitaciones pluviales favorecen la deriva y el arrastre de los macroinvertebrados acuáticos e influye en la disminución de la diversidad (Borja y Carvajal, 2005). La estación 4 “Calceta” fue la única en presentar diversidad alta en las dos épocas, seguida de la estación 2 “Sarampión”, con diversidad media en la época lluviosa y alta para la época seca. Las demás estaciones de muestreo (1, 3, 5, y 6), según el índice poseen diversidad media. En concordancia con lo expuesto por algunos autores como Alonso (2006) y Guevara *et al.* (2006), quienes encontraron que en lugares donde existe una reducción de la vegetación ribereña por actividades antrópicas como ganadería y agricultura, presentan un descenso de la biodiversidad

acuática y terrestre, característica que poseen las estación Quiroga (1), Estancilla (5) y Tosagua (6).

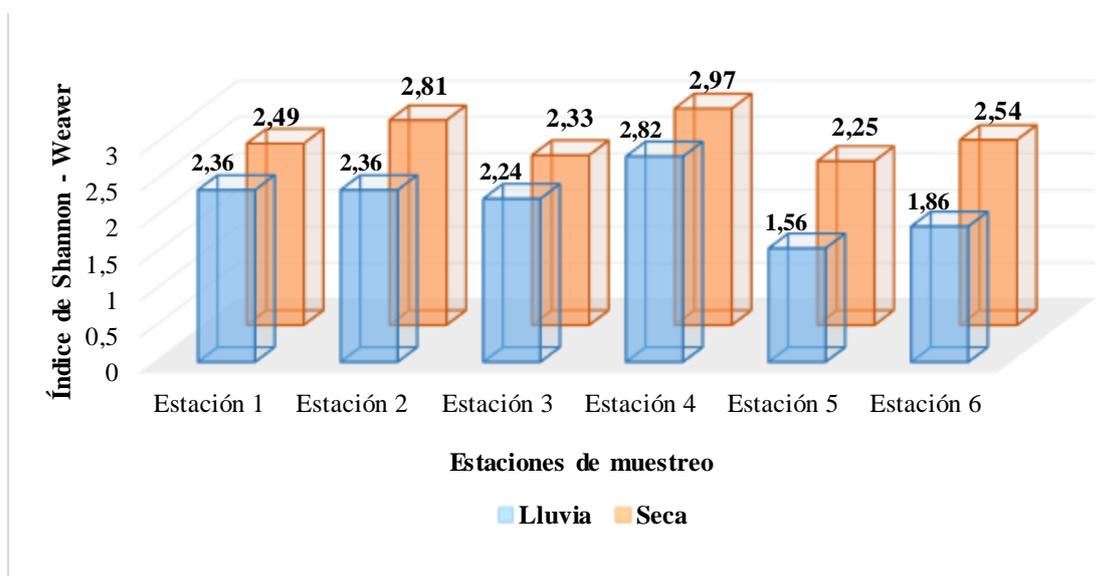


Gráfico 4.1 Valores del índice de Diversidad y Abundancia de los macroinvertebrados acuáticos encontrados en la subcuenca del río Carrizal, en la época lluviosa y seca

E1: "Quiroga"; E2: "Paraíso"; E3: "Sarampión"; E4: "Calceta"; E5: "Estancilla"; E6: "Tosagua"

$H' < 1,5$: diversidad baja, $1,5 < H' < 2,7$: diversidad media, $H' > 2,7$: diversidad alta

Índice EPT

El índice EPT calcula la calidad de agua basado en la riqueza de *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera*, lo que hace que este análisis sea útil en la detección de perturbaciones (Álvarez y Pérez, 2007).

De acuerdo al índice EPT las estaciones 2 "Sarampión", 3 "Paraíso" y 4 "Calceta" poseen buena calidad del agua, por otra parte las estaciones 1 "Quiroga", 5 "Estancilla" y 6 "Tosagua" presentaron calidad regular (Cuadro 4.2), esto probablemente se debe a las características de las estaciones tales como: tipo de sustrato, remoción de la vegetación ribereña, presencia de vegetación sumergida, grado de intervención, etc., que ocasionan cambios drásticos en el flujo natural de la materia y la energía, además de modificaciones en el ciclo de nutrientes, especialmente del nitrógeno y el fósforo, y en la disponibilidad de sustratos orgánicos (Jorcín y Nogueira, 2008).

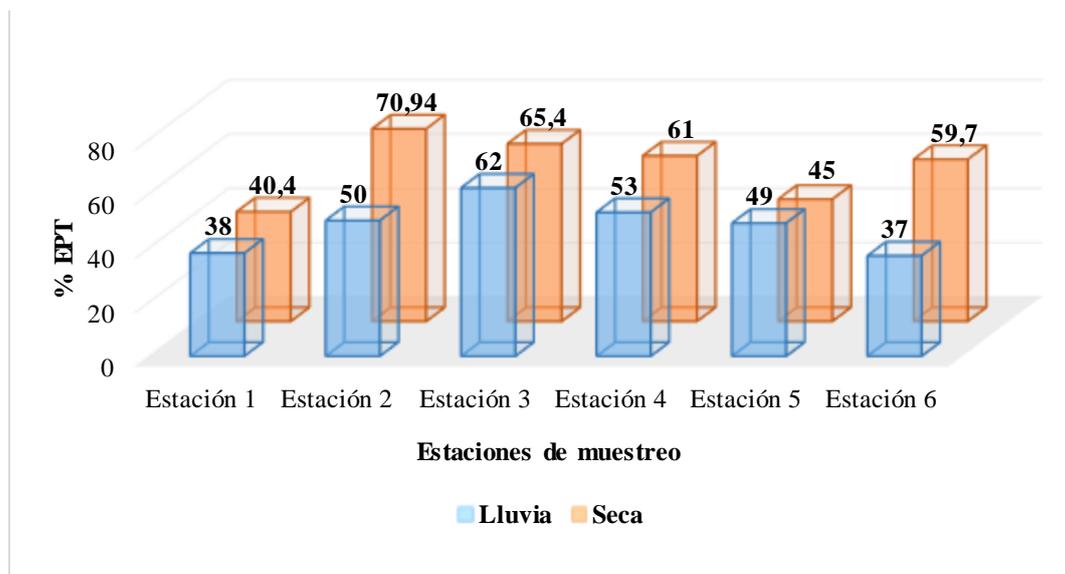


Gráfico 4.2 Calidad del agua de la subcuenca del río Carrizal según el porcentaje EPT

E1: "Quiroga"; E2: "Paraíso"; E3: "Sarampión"; E4: "Calceta"; E5: "Estancilla"; E6: "Tosagua"

En el análisis EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera), se encontró 954 taxones en las seis estaciones de muestreo (época lluviosa y seca), pertenecientes al orden *Trichoptera* (93 individuos) y al *Ephemeroptera* (861 individuos). Dentro del orden *Trichoptera* se recolectaron individuos de las familias *Hydropsychidae*, *Psychomyiidae*, *Polycentropodidae* y *Apataniidae*, mientras que del orden *Ephemeroptera* se colectó individuos de las familias *Ephemerellidae*, *Leptohyphidae*, *Isonychiidae*, *Caenidae*, *Leptophlebiidae* y *Baetidae*.

A pesar de que en diversos estudios elaborados en nuestro país, se ha reportado la presencia de individuos pertenecientes a la familia *Perlidae* del orden *Plecoptera* (Giacometti y Bersosa, 2006), dentro de esta investigación no se encontró individuos de ese orden, lo que concuerda con los resultados de Bravo y Loor (2015), en la microcuenca del río Carrizal. Según Gutiérrez (2010), esto puede ser porque los *Plecoptera* se encuentran en ríos con corrientes fuertes (presentan un par de uñas bien desarrolladas que utilizan para aferrarse al sustrato y evitar ser arrastrados por la corriente), además de ser el orden más exigente de todos los grupos de macroinvertebrados por vivir en aguas limpias y

bien oxigenadas (Terneus *et al.*, 2003), características que no presentan las 6 estaciones de muestreo establecidas en la subcuenca del río Carrizal.

Índice BMWP

Según Ocon y Rodrigues (2004), los cambios ambientales tienen una fuerte influencia en la distribución, abundancia y riqueza de insectos acuáticos en los cuerpos de agua. El BMWP es un índice que calcula la calidad del agua a través de la presencia o ausencia y nivel de tolerancia de familias de macroinvertebrados (Álvarez y Pérez, 2007).

Según el gráfico 4.3 las estaciones de muestreo 2 “Sarampión”, 3 “Paraíso” y 4 “Calceta” presentaron aguas de calidad buena o no alteradas (valores entre 61-100), la cual se mantuvo en época lluviosa y seca, a diferencia de la estación 5 “Estancilla”, la que mostró una calidad del agua baja, rango comprendido entre 16-35, por otra parte para las estaciones 1 “Quiroga” y 6 “Tosagua”, según el índice biótico mostraron calidad media del agua o moderadamente contaminada (valor comprendido entre 36-60), para las dos épocas.

La calidad buena de las estaciones 2 “Sarampión” y 4 “Calceta”, se ve reflejado en la recolección de especímenes de algunas familias (por ejemplos del orden *Ephemeroptera*: *Baetidae*, *Leptophlebiidae* y *Leptohyphidae*, del orden *Odonata*: *Aeshnidae*, *Calopterygidae* y *Coenagrionidae* y del orden *Trichoptera* familias como: *Polycentropodidae* e *Hydropsychidae*), que son exigentes y viven en aguas rápidas y muy oxigenadas (Ríos *et al.*, 2014). La calidad media de agua de las estaciones 1 y 6 puede ser causada por factores antropogénicos tales como, el represamiento, remoción de la vegetación ribereña y actividades agropecuarias que ocasionan cambios drásticos en el flujo natural de la materia y la energía (Coutinho *et al.*, 2009).

La estación 5 “Estancilla” fue el único sitio que reflejó una baja calidad de aguas, esto se debe posiblemente a que en el sitio la Estancillas se vierten aguas residuales directamente al cauce del río, cuyo efectos repercuten sobre la diversidad de las comunidades de insectos acuáticos (Ríos *et al.*, 2014), además

según el cuadro 3.1 la estación 5 presenta escasa vegetación en la ribera del río y un sustrato del tipo arenoso, por lo que Alonso (2006) menciona que donde existe una reducción de la vegetación ribereña por actividades antrópicas como agricultura, se presenta una reducción de la diversidad. De hecho la vegetación ribereña se encuentra más conectada a la vida que sucede dentro del río que a la que sucede fuera de él, ejerciendo un papel fundamental en la cadena trófica de estos ambientes (Corbacho *et al.*, 2003).

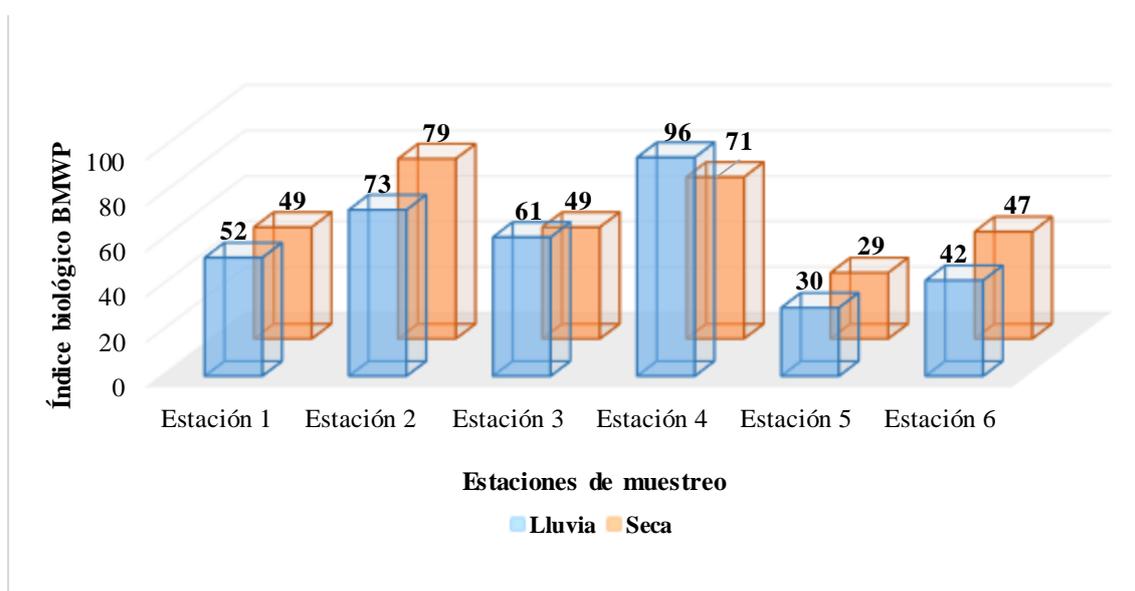


Gráfico 4.3 Calidad del agua de la subcuenca del río Carrizal, según el índice BMWP en época lluviosa y seca
E1: "Quiroga"; E2: "Paraíso"; E3: "Sarampión"; E4: "Calceta"; E5: "Estancilla"; E6: "Tosagua"

4.2.2. Calificación de la calidad del agua de acuerdo a parámetros físicos *in situ*

Diversos autores resaltan que los factores fisicoquímicos del medio acuático, como pH, temperatura y oxígeno disuelto, son determinantes en la distribución de los macroinvertebrados acuáticos y son, además, los parámetros a los que son más sensibles (Domínguez y Fernández, 2009; Carvacho, 2012). El pH del agua presentó variaciones, con medias que oscilaran desde 7,71 en época lluviosa a 7,86 en época seca. No obstante, estas variaciones se encuentran dentro de los rangos naturales (6,5 a 8,0) para la vida acuática (Flanagan, Parameters of water quality, 1992). Esta variación de pH estaría relacionada a las actividades agrícolas (Pérez y Rodríguez, 2008) y a las descargas de aguas residuales que se realizan directamente al cuerpo de agua (Córdova *et al.*, 2009).

La temperatura del agua para la época lluviosa presentó una media de 28°C, mientras que para la época seca fue de 27,2°C. Según Villanueva y Chanamé (2016), la escasa cobertura vegetal y el bajo caudal repercuten sobre la temperatura del agua. La temperatura es uno de los factores que limita la vida acuática y además es una de las variables que adquiere mayor importancia en el desarrollo de los distintos fenómenos, debido a que determina la tendencia de sus propiedades físicas, la riqueza y distribución de las familias de macroinvertebrados (Bustamante *et al.*, 2008).

Los valores de oxígeno disuelto en las seis estaciones de muestreo presentaron una media de 5 mg/L para la época lluviosa a 5,57 mg/L para la época seca. El oxígeno disuelto depende de las características del cauce, la turbulencia del agua y los procesos químicos y biológicos (Villanueva y Chanamé, 2016). Valores normales de oxígeno disuelto (≥ 5 mg/L) son importantes en los ecosistemas acuáticos, ya que están relacionados con los procesos metabólicos de los organismos aeróbicos y la productividad biológica, respectivamente (Nieves *et al.*, 2010).

Los parámetros temperatura, oxígeno disuelto y pH fueron comparados con los valores establecidos en la Legislación Ambiental del Ecuador (Libro VI, Anexo 1) y estos se encuentran por debajo de los límites máximos permitidos (Ministerio del Ambiente de la República del Ecuador, 2003).

Cuadro 4.3 Parámetros físicos medidos en la subcuenca del río Carrizal, en época lluviosa y seca

Parámetros físicos	E1 "Quiroga"		E2 "Sarampión"		E3 "Paraíso"		E4 "Calceta"		E5 " Estancilla"		E6 "Tosagua"	
	EL	ES	EL	ES	EL	ES	EL	ES	EL	ES	EL	ES
Oxígeno Disuelto (mg/L)	3,96	5,56	5,45	5,89	5,34	5,49	5,14	6,18	4,88	5,15	5,12	5,16
Potencial de Hidrógeno	7,4	7,5	7,46	7,7	7,56	7,7	7,7	7,82	8,1	8,15	8,01	8,15
Temperatura (°C)	27	26,5	26,5	26,5	27	27,3	28,4	26,8	29,5	28	29,4	28,3

EL: Época lluviosa ES: Época seca

4.3. Correlación del índice BMWP versus los parámetros físicos evaluados en la subcuenca del río Carrizal

Según Battle y Golladay (2001), el estudio de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos de la calidad del agua, permite estimar si estos han sido o no afectados por cambios físicos o químicos en su hábitat. Por lo expuesto, se ve necesario realizar un análisis de correlación por rangos de Pearson entre las variables físicas y el índice biológico BMWP. Entre las variables físicas del medio acuático consideradas dentro de la investigación se encuentran: pH, oxígeno disuelto y temperatura, siendo factores que ejercen una importante influencia sobre la distribución de los macroinvertebrados fluviales (Vivas *et al.*, 2002) y son a menudo los parámetros a los cuales los macroinvertebrados son más sensibles (Meza *et al.*, 2012).

4.3.1. Correlación entre el índice BMWP y el potencial de hidrógeno (pH)

De acuerdo a los gráficos 4.4 y 4.5 de dispersión en función de las varianzas entre las variables BMWP y pH, existe una correlación negativa moderada (-0,540) para la época lluviosa, y para la época seca una correlación negativa débil (-0,476), lo que indica que no existe una correlación clara, debido a que una correlación más próxima a cero indica que no hay relación lineal entre las dos variables (Fernández y Díaz, 2004). Según Nieves *et al.* (2010), los valores normales de pH se encuentran comprendidos entre 6,0-9,0; además consideran este rango importante en los ecosistemas acuáticos, ya que están relacionados con los procesos metabólicos de los organismos aeróbicos. Por su parte Prieto (2004), menciona que un pH menor de 7 indica una tendencia hacia la acidez, mientras que un pH mayor de 7 muestra una tendencia hacia la alcalinidad.

Talavera y Zapata (1998), indican que el pH posee una estrecha interdependencia entre las comunidades vegetales, animales y el medio acuático. Los organismos heterótrofos (macroinvertebrados), contribuyen a la disminución del pH debido a los intensos procesos de descomposición y respiración a través de los cuales existe la liberación de CO₂, que por hidrólisis origina ácido carbónico e iones de hidrógeno. Según Georgalis *et al.* (2006), el tejido braquial de los organismos acuáticos es afectado por la acidez del medio. El moco de las células neuroepiteliales de las branquias de los macroinvertebrados incrementa cuando estos son expuestos a niveles bajo de pH, interfiriendo así en el intercambio gaseoso e iónico, es decir un disturbio osmótico.

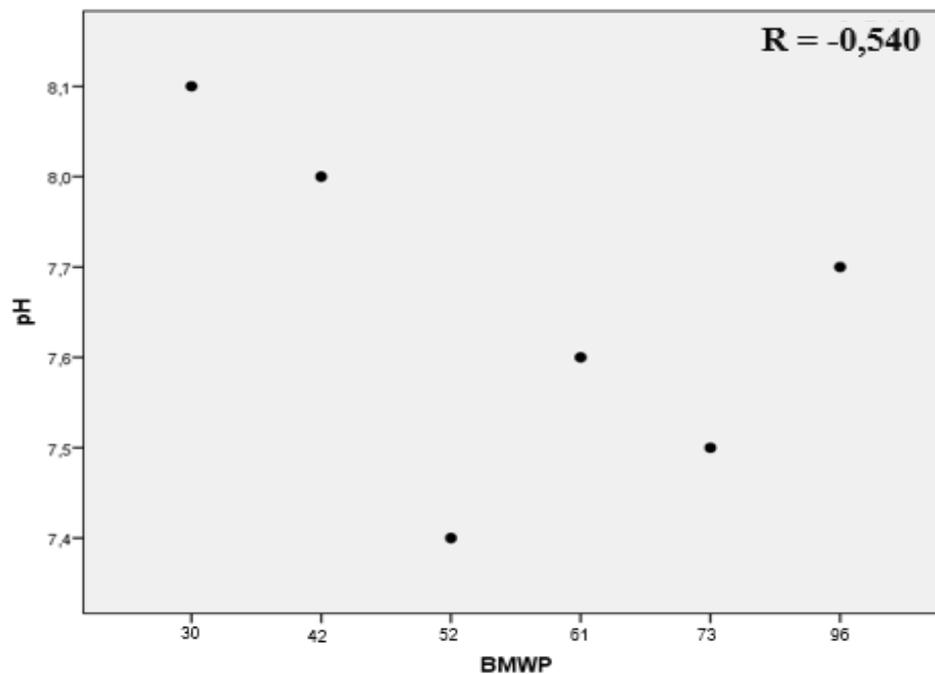


Gráfico 4.4 Gráfico de dispersión entre el índice biológico BMWP y el pH en la época de lluvia

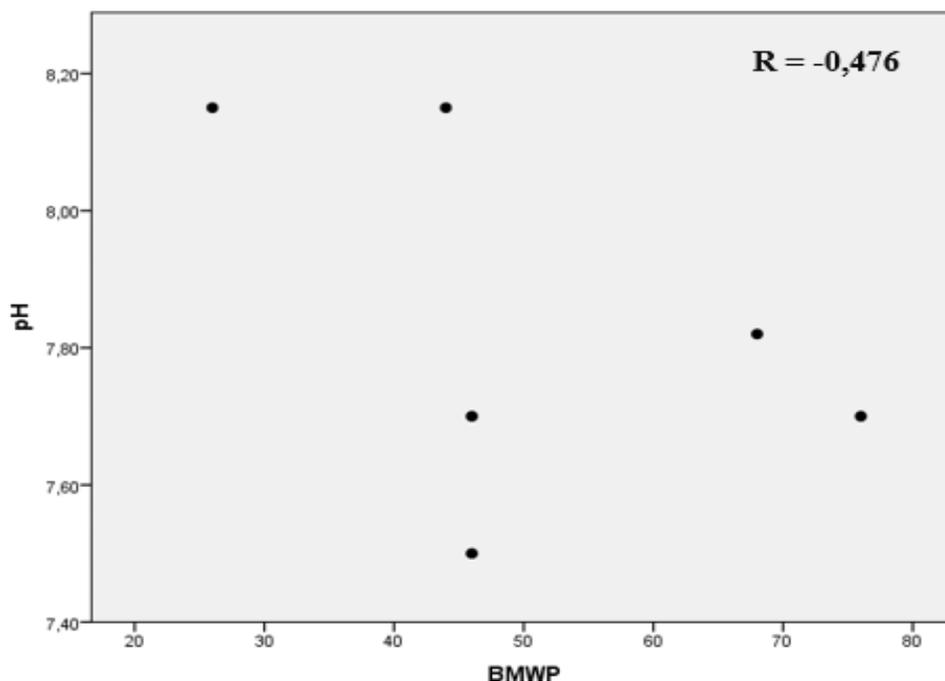


Gráfico 4.5 Gráfico de dispersión entre el índice biológico BMWP y el pH en la época seca

4.3.2. Correlación entre el índice BMWP y el oxígeno disuelto (OD)

Según el gráfico 4.6, la correlación entre el índice biológico BMWP y el oxígeno disuelto para la época de lluvia es positiva débil (0,317), por tal motivo no existe una correlación clara, debido a que una correlación más próxima a cero indica que no hay relación lineal entre las dos variables (Fernández y Díaz, 2004).

Como se puede observar en el gráfico 4.7, la varianza entre la variable física oxígeno disuelto y el índice biológico BMWP para la época seca indica que existe una correlación positiva fuerte (0,875), siendo así el índice BMWP proporcional al oxígeno disuelto. Según González *et al.* (2008), si $0 < r < 1$, existe una correlación lineal positiva, y será más fuerte cuanto más se aproxime r a 1. El oxígeno disuelto es una variable frente a la cual responden los organismos que dependen de ella para sobrevivir y cuya alteración se manifiesta por elementos externos de modificación del hábitat o de contaminación (Jill *et al.*, 2002), se encuentra influenciada por la actividad biológica, temperatura y turbulencia del agua (Roldán, 2003), los ambientes contaminados son los que más se relacionan

con bajos valores de oxígeno disuelto, en comparación con el rango normal de condiciones naturales (7,0-8,0mg/L) (Flanagan, 1992).

Los macroinvertebrados bentónicos juegan papeles importantes dentro de los procesos ecológicos de los sistemas acuáticos, consumen grandes cantidades de algas y otros microorganismos asociados al perifiton en ríos, esto permite aumentar la productividad primaria, ya que se elimina tejido productivo y se mineralizan los nutrientes (Allan y Castillo, 2007). Otra función que realizan los macroinvertebrados dentro de los sistemas acuáticos es la degradación de las hojas de árboles (partículas de gran tamaño), que caen al río para convertirlos en fragmentos pequeños de materia orgánica y sean accesibles a otros organismos, como los recolectores y filtradores (Malmqvist *et al.*, 2004). Para realizar estas funciones los macroinvertebrados necesitan tomar el oxígeno disuelto en el agua aumentando la demanda bioquímica de oxígeno, el contenido de CO₂ y a su vez la acidez del agua (Flanagan, 1992).

Guerrero *et al.* (2003), indican que este gas conjuntamente con la temperatura determinan la riqueza y los patrones de distribución de las familias de macroinvertebrados bentónicos.

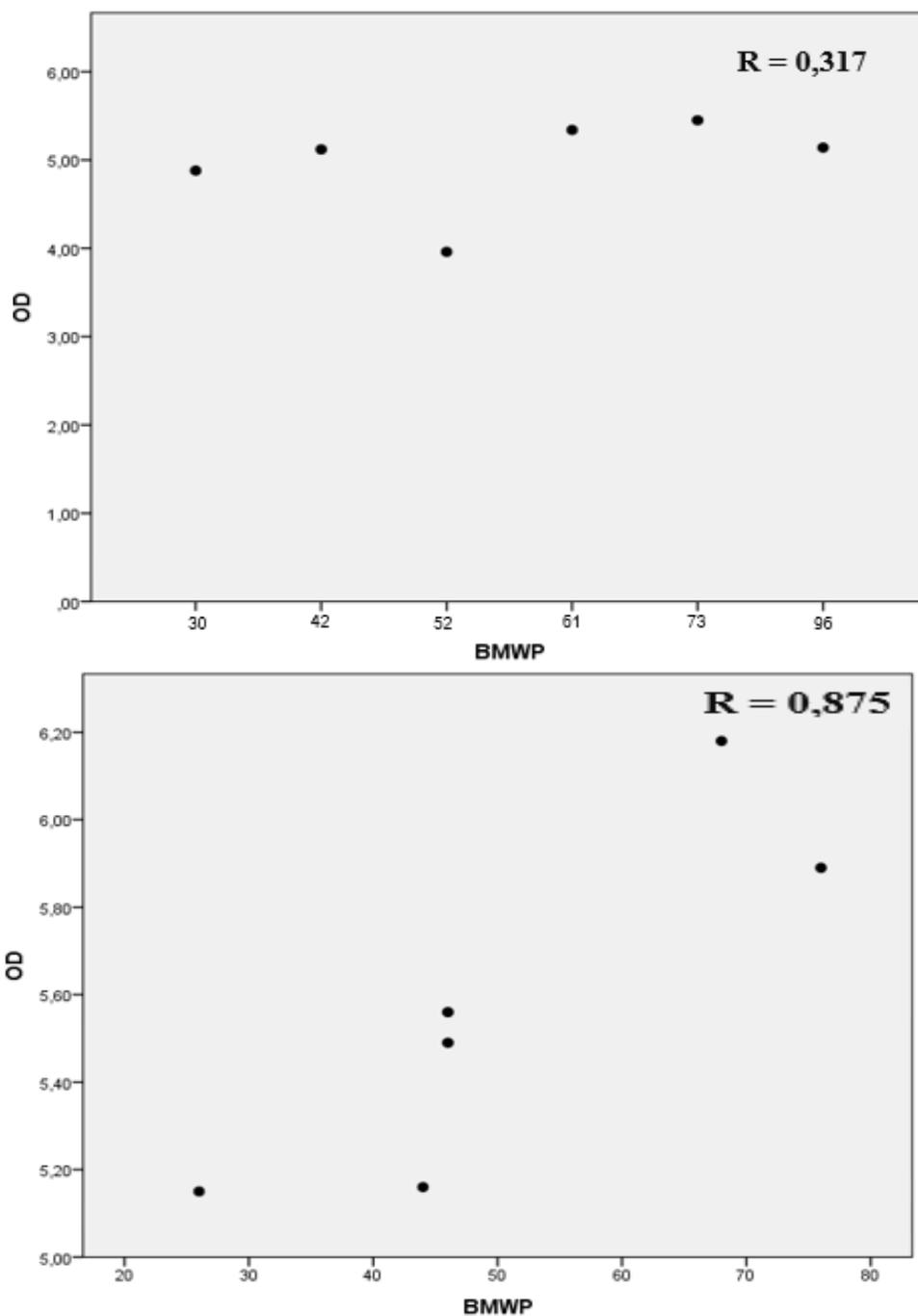


Gráfico 4.7 Gráfico de dispersión entre el índice biológico BMWP y el OD en la época seca

4.3.3. Correlación entre el índice BMWP y la temperatura

Según el gráfico 4.8 la correlación entre las variables BMWP y temperatura en la época lluviosa, indica que existe una correlación negativa débil (-0,434), por tanto no existe una correlación clara (Fernández y Díaz, 2004). El gráfico 4.9 muestra que existe una correlación negativa moderada (-0,700), entre el índice biológico

BMWP y la temperatura, es decir que estas dos variables son inversamente proporcionales (si la temperatura aumenta el BMWP disminuye y por el contrario). Varios autores enfatizan la temperatura del agua como un factor determinante en la distribución y presencia de los macroinvertebrados acuáticos (Domínguez y Fernández, 2009), además de ser uno de los parámetros a los que los organismos son más sensibles (Meza *et al.*, 2012). La temperatura influye en el comportamiento de otros parámetros de la calidad del agua como es el pH, el oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica entre otras variables fisicoquímicas (IDEAM, 2001). Tiene estrecha relación con el oxígeno disuelto, generalmente un nivel alto de este parámetro indica agua de mejor calidad, mientras que niveles bajos de OD (mala calidad del agua) son determinantes para la supervivencia de los organismos acuáticos (Lenntech, 2007), esta variación depende de la temperatura puesto que el agua fría puede contener más oxígeno que la caliente, esto basado en la solubilidad del oxígeno disuelto frente a variaciones en la temperatura (Peña, 2007).

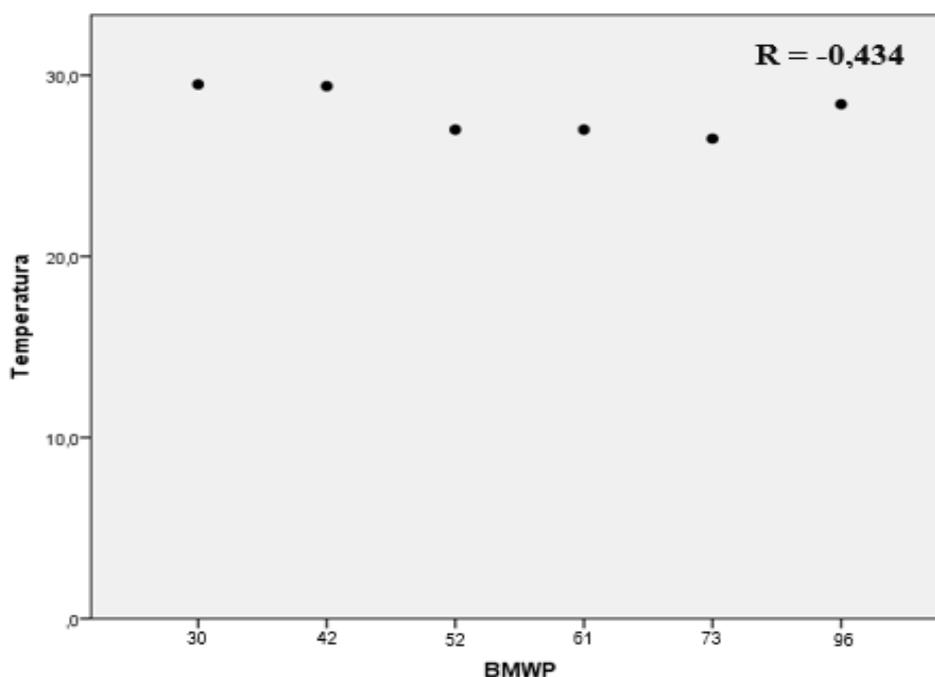


Gráfico 4.8 Gráfico de dispersión entre el índice BMWP y la temperatura en la época lluviosa

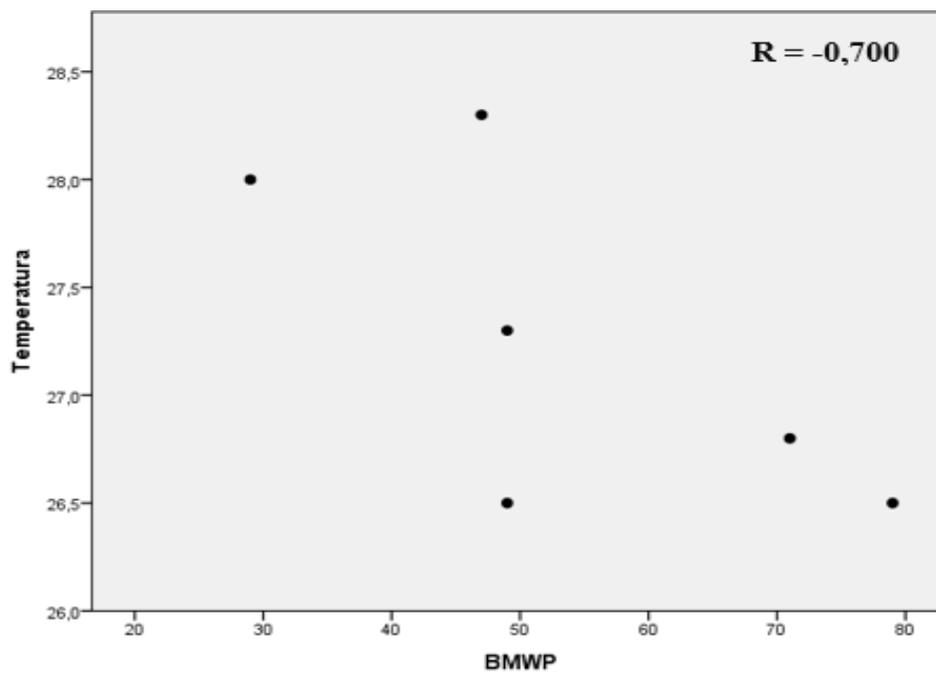


Gráfico 4.9 Gráfico de dispersión entre el índice BMWP y la temperatura en la época seca

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se identificó 1741 individuos pertenecientes a 33 familias de 6 órdenes de la clase *Insecta*, en las seis estaciones de muestreo establecidas en la subcuenca del río Carrizal, en época lluviosa y seca. La entomofauna acuática encontrada estuvo representada por órdenes como *Ephemeroptera*, *Coleoptera*, *Hemiptera*, *Odonata*, *Trichoptera*, *Diptera*. El número de individuos por estación de muestro fue mayor en la época seca (1093 individuos) y menor en la época lluviosa (648), debido a que el aumento del caudal del río generado por las precipitaciones pluviales favorece el arrastre de los macroinvertebrados acuáticos por las corrientes.
- Tomando en consideración el índice de Shannon-Weaver, se obtuvo que la subcuenca del río Carrizal presenta una contaminación moderada según el esquema de Wilhm y Dorris, además de indicar diversidad media para este ecosistema. Los índices biológicos BMWP y EPT concordaron en la calificación del agua de la subcuenca del río Carrizal durante las dos épocas indicando que las estaciones 2 (Sarampión), 3 (Paraíso) y 4 (Calceta), presentan calidad buena o poco alteradas, mientras que en las estaciones 1 (Quiroga) y 6 (Tosagua), muestran aguas de calidad regular o moderadamente alteradas, por su parte en la estación 5 (Estancillas), la calidad del agua es baja. Los parámetros físicos temperatura, pH y oxígeno disuelto se ubicaron dentro de los límites aceptables de acuerdo a la Legislación Ambiental del Ecuador (Libro VI, Anexo 1) en las dos épocas.
- El análisis de correlación de Pearson mostró que de los 3 parámetros físicos evaluados (pH, oxígeno disuelto y temperatura), solo el oxígeno disuelto y la temperatura correlacionaron con el índice biológico BMWP.

El oxígeno disuelto y la temperatura son parámetros indispensables para la supervivencia de los macroinvertebrados y el desarrollo de sus procesos metabólicos. La temperatura representa un factor determinante en la distribución y presencia de los macroinvertebrados acuáticos y junto con el oxígeno disuelto son las variables a las cuales los organismos acuáticos son más sensibles, además de influir sobre el comportamiento de varios parámetros de la calidad del agua.

5.2. RECOMENDACIONES

- Promover la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como herramienta para evaluar la calidad del agua, debido a su simplicidad por el nivel taxonómico requerido (orden-familia), ahorro de tiempo y mejor utilización de los recursos económicos disponibles para la gestión de los recursos hídricos.
- Dar continuidad al estudio con la implementación de biomonitoreos regulares a la subcuenca del río Carrizal complementados con más análisis físico-químicos y microbiológicos para así, conocer la variación de la calidad del agua y la influencia de estos factores sobre la presencia y distribución de los macroinvertebrados acuáticos.
- Incrementar el número de trabajos realizados sobre el uso de los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua para adaptar y modificar los índices biológicos a las características ecológicas y a la dinámica poblacional de los ríos de nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

- Alba, J., y Sánchez, A. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnetica* 4.
- Albariño, y Balseiro. 1998. *Biología de los Plecopteros*. Brasil.
- Allan, J., y Castillo, M. 2007. *Stream Ecology: structure and function of running waters*. Holanda: Springer.
- Alonso, A. 2006. Valoración del efecto de la degradación ambiental sobre los macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares. *Ecosistemas, Asociación española de ecología terrestre (Vol. 15)*.
- Alonso, A., y Camargo, J. 2005. Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicador del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles (Vol. 14). *Ecosistemas*.
- Alonso, J., y Camargo, J. 2005. Evaluating the effectiveness of five mineral artificial substrates for the sampling of benthic macroinvertebrates. *Journal of Freshwater Ecology* 20.
- Álvarez, S., y Pérez, L. 2007. Evaluación de la calidad de agua mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del Yeguaré, Honduras. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Araúz, B., Amores, B., y Medianero, E. 2000. Diversidad de distribución de insectos acuáticos a lo largo del cauce del río Chico (provincia de Chiriquí, república de Panamá). *Scientia*, 15(1), 27-45.
- Armitage, P., Moos, D., Wright, J., y Furse, M. 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running water sites. *Revista Water res*, 17, 30-347.
- Bahamondes, R., y Gaete, N. 2009. *Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Chile.
- Bailey, R., Norris, R., y Reynoldson, T. 2003. *Bioassessment of freshwater ecosystems using the reference condition approach*. USA: Springer Press.
- Baptista, D., Buss, D., Egler, M., Giovanelli, A., y Silveira, M. 2006. A multimetric index based on benthic macroinvertebrates for evaluation of Atlantic Forest Streams at Rio de Janeiro State, Brazil. *Hydrobiologia*, 575, 83-94.

- Bar, M. 2010. Biología de Artrópodos.
- Barber, J. 2007. Ephemeroptera. Características, Biología y Ecología Global diversity of mayflies (Ephemeroptera, Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia*.
- Bass, D. 1994. Community Structure and Distributon Patterns of Aquatic Macroinvertebrates in a Tall Grass Prairie Stream Ecosystem. *Proc. Okla. Acad.*
- Battle, J., y Golladay, S. 2001. Water Quality and Macroinvertebrate Assemblages in three Types of Seasonally Inundated Limesink Wetlands in Southwest Georgia. Georgia.
- Betancourt, C., Suarez, R., y Toledo, L. 2009. Patrones de distribución temporal de algunas variables físicas y químicas en el embalse Paso Borito, Cienfuegos. *Limnética*, 28(1), 23-24.
- Bonada, N., Prat, N., Resh, V., y Statzner, B. 2006. Developments in aquatic nsect biomonitoring: a comparative analysis of recent approache. *Annual Review of Entomology*, 495-523.
- Borja, F., y Carvajal, C. 2005. Factores que inciden en la disminucion de los organismos a lo largo de una cuenca. Colombia: Universidad de Tolima.
- Bravo, J., y Loor, I. 2015. Incidencia de la presencia de macroinvertebrados en la calidad del agua de la microcuenca del río Carrizal. Ecuador: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "MFL".
- Briñez, A., Karol, J., Guarnizo, G., Juliana, C., y Arias, V. S. 2012. Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolim. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 175-182.
- Burdet, A., y Watts, R. 2009. Modifying living space: an experimental study of the influences of vegetation on aquatic invertebrate community structure. *Hydrobiologia*.
- Bustamante, T., Monsalve, D., y García, R. 2008. Análisis de la calidad del agua en la cuenca media del río Quindío con base en índices físicos, químicos y biológicos. *Rev. Invest. Univ. Quindío*, 1, 22-31.
- Carrera, C., y Fierro, K. 2001. Manual de monitoreos acuáticos: Macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua. Quito-Ecuador: EcoCiencia.

- Carvacho, C. 2012. Estudio de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del Limari en Chile. Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Colla, M., César, I., y Salas, L. 2013. Benthic insects of the El Tala river (Catamarca, Argentina): longitudinal variation of their structure and the use of insects to assess water quality. *Braz J Biol.*, 73, 357-366.
- Commission for Environmental Cooperation. 2009. El mosaico de América del Norte: panorama de los problemas ambientales más relevantes-Calidad del agua. Commission for Environmental Cooperation: CEC.org.
- Conferencia Hidrográfica del Ebro. 2005. Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la Directiva Marco del Agua . Madrid.
- Corbacho, C., Sánchez, J., y Costillo, E. 2003. Patterns of structural complexity and human disturbance of riparian vegetation in agriculture landscapes of a Mediterranean area. (Vol. 13). Universidad de Extremadura.
- Córdova, S., Gaete, H., Aránguiz, F., y Figueroa, R. 2009. Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos. *Lat. Am. J. Aquat. Res*, 73, 199-209.
- Costa, C. 2000. Estado de conocimiento de los Coleoptera Neotropicales (Vol. 1). Madrid.
- Cotler, H., Garrido, A., Mondragón, R., y Díaz, A. 2007. Delimitación de las cuencas hidrográficas de México a escala 1: 250 000. México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Instituto Nacional de Ecología y Comisión Nacional del Agua.
- Couceiro, C., Hamada, N., Luz, S., Forsberg, B., y Pimentel, T. 2007. Deforestation and sewage effects on aquatic macroinvertebrates in urban streams in Manaus, Amazonas, Brazil. Brazil.
- Coutinho, H., Noellemeyer, E., Jobbagy, E., Jonathan, M., y Paruelo, J. 2009. Impacts of land use change on ecosystems and society in the Rio de la Plata basin. En: H. Tiessen & J.W.B. Stewart. *Applying Ecological Knowledge to Landuse Decisions*.
- De la Lanza, G., Hernández, S., y Carbajal, J. 2011. Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores). México: Plaza y Valdés Editores.

- Del C. Guinard, J., Ríos, T., y Bernal, J. 2013. Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua de las cuencas alta y baja del río Gariché, provincia de Chiriquí, Panamá. *Gestión y Ambiente*, 16(2), 61-70.
- Domínguez, E., y Fernández, H. 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología. Tucumán: Fundación Miguel Lillo.
- Durance, I., y Ormerod, J. 2007. Climate change effects on upland stream macroinvertebrates over a 25-year period. *Global Change Biology*.
- Egler, M., Buss, D., Moreira, J., y Baptista, D. 2012. Influencia de la agricultura, uso de la tierra y los plaguicidas sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en una cuenca agrícola en el Sudeste de Brasil (Vol. 72). Brasil: Braz J Biol.
- Elosegi, A., y Sabater, S. 2009. Conceptos y técnicas en ecología fluvial. (Primera ed.). Fundación BBVA.
- Etxeberria, J. 1999. Regresión Múltiple: cuadernos de estadística. Salamanca: La Muralla S.A. .
- Faustino, J. 1995. Gestión ambiental para el manejo de cuencas municipales. Nicaragua: CATIE.
- Fernández, C. 2011. Herramienta metodológica para la gestión ambiental de las aguas subterráneas en cuencas. *Revista Electrónica Ciencias Holguín*.
- Fernández, J. 2003. a recuperación de ríos en entornos urbanos: el caso del Río Zadorra en Vitoria-Gasteiz . Madrid: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal de la Universidad Politécnica de Madrid.
- Fernández, P., y Díaz, P. 2004. Relación entre variables cuantitativas. *Cad Aten Primaria*.
- Fernández, R. 2011. Ecosistemas acuáticos. España.
- Figuroa, R., Araya, E., Parra, O., y Valdovinos, C. 2007. Macroinvertebrados Bentónicos como indicadores de calidad de agua. Chile: EULA.
- Flanagan, P. 1992. Parameters of water quality. Irlanda: Environmental Research Unit.
- Flowers, R., y De la Rosa, C. 2010. Ephemeroptera. *Revista de Biología Tropical*, 58(4), 63-93.

- Galárraga, R. 2001. Estado y gestión de los recursos hídricos en el Ecuador. Ecuador : Escuela Politécnica Nacional.
- Georgalis, T., Perry, S., y Gilmour, K. 2006. The role of branchial carbonic anhydrase in acid–base regulation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *The Journal of Experimental Biology*, 209(3), 518-530.
- Giacometti, J., y Bersosa, F. 2006. Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi (Vol. 2). Sangolquí-Ecuador: IASA.
- Giller, P., y Malmqvist, B. 1998. *The Biology of Streams and Rivers*. Oxford: Oxford University Press.
- González, V. 2012. Los macroinvertebrados como bioindicadores.
- González, C., Llorente, J., y Ruiz, M. 2008. *Matemáticas*. España: Editex.
- González, L., y Lozano, L. 2004. Bioindicadores como herramienta de evaluación de la calidad ambiental en la parte alta de la microcuenca las delicias. *Umbral Científico*(5), 73-82.
- González, N., Sánchez, S., y Mairena, A. 2014. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua del trópico húmedo en las microcuencas de los alrededores de Bluefields, RAAS. Bluefields Indian & Caribbean University.
- Guerrero, B., Manjarréz, H., y Núñez, P. 2003. Los macroinvertebrados bentónicos de Pozo Azul (cuenca del río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua (Vol. 8). Colombia: Acta Biológica Colombiana.
- Guevara, G., Jara, C., Mercado, M., y Elliott, S. 2006. Comparación del macrozoobentos presente en arroyos con diferente tipo de vegetación ribereña en la reserva costera valdiviana, sur de Chile (Vol. 1). Chile: Asociación Colombiana de Limnología.
- Gutiérrez, M., y Marie, F. 2009. Insectos acuáticos: ciclo de vida, importancia, ubicación taxonómica, composición de las comunidades de insectos acuáticos asociados a la vegetación en la llanura de inundación de Moxos. Bolivia.
- Gutierrez, P. 2002. Caudales ecológicos de los ríos del Bajío (Vol. 6). *Aqua Forum*.
- Gutierrez, P. 2010. Plecoptera. *Revista de Biología Tropical*, 58.

- Hammond, J., Luttbeg, B., y Sih, A. 2007. Predator and prey space use: dragonflies and tadpoles in an interactive. *Ecology*.
- Hanson, P., Springer, M., y Alonso, R. 2010. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*, 58(4).
- Hendricks, D. 1984. Impacto de las represas en la calidad del agua. México: Shorr, T. S.
- Holst, E. 2000. Plecoptera Lake Tahoe benthic stonefly (*Capnia lacustra*). Lake Tahoe Watershed Assessment.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia). 2001. Temperatura, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia.
- IV FORO MUNDIAL DEL AGUA. 2006. México: Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible.
- Jill, S., Leroy, N., Angermeyer, L., Daham, C., Gleick, P., Hairston, N., y Steinman, A. 2002. Meeting ecological and societal needs for freshwater (Vol. 12). *Ecological Applications*.
- Jonsson, M., Malmqvist, B., y Hoffsten, P. 2001. ¿Leaf litter breakdown rates in boreal streams: does shredder species richness matter? (Vol. 46). *Freshwater Biology*.
- Jorcín, A., y Nogueira, M. 2008. Benthic macroinvertebrates in the Paranapanema reservoir cascade (southeast Brazil). (Vol. 68). *Brazilian Journal of Biology*.
- Jouravlev, A. 2003. Los Municipios y la gestión de los recursos hídricos. Santiago de Chile: CEPAL.
- Junk, W., y Wantzen, K. 2004. The Flood Pulse Concept: New Aspects Approaches and Applications-an Update. *Proceedings of the Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries* (Vol. 2). Bangkok: R. L. Welcomme & T. Petr.
- Karr, J., y Chu, E. 1999. Restoring life in running waters: Better biological.
- Lampert, W., y Sommer, U. 2007. *Limnoecology: The ecology of lakes and stream*. New York: Oxford University.

- Leiva, M. 2004. Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores de calidad de agua en la Cuenca del Estero Peu Peu Comuna de Lautaro. Temuco: Universidad Católica de Temuco.
- Lenntech. 2007. Nitritos y Nitratos.
- Llerena, C. 2003. Servicios ambientales de las cuencas y producción de agua, conceptos, valoración, experiencias y sus posibilidades de aplicación en el Perú. . Perú: FAO.
- Lozano, L. 2005. La bioindicación de la calidad del agua: importancia de los macroinvertebrados en la cuenca alta del río Juan Amarillo, cerros orientales de Bogota. Redalyc, 5-11.
- Maass, J., y Cotler, H. 2007. Protocolo para el manejo de ecosistemas en cuencas hidrográficas. En: El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental (. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Mafla, M. 2005. Guía para Evaluaciones Ecológicas Rápidas con Indicadores Biológicos en Ríos de Tamaño Mediano (Primera ed.). Talamanca-Costa Rica.
- Malmqvist, B., Adler, P., Kuusela, K., Merritt, R., y Wooton, R. 2004. Black flies in the boreal biome, key organisms in both terrestrial and aquatic environments: a review (Vol. 11). Ecoscience.
- Martinez, N. 2010. Macroinvertebrados acuaticos como sistema de evaluacion de contaminacion del balneario Hurtado, rio Guatapuri, Valedupar. Bucaramanga-Santander.
- McCafferty, W. 1981. Aquatic entomology. Boston: Science Books International. Boston.
- Merritt, R., y Cummins, K. 1996. An Introduction to the Aquatic Insects of North America (Third Edition ed.). Estados Unidos.
- Meza, S., Rubio, J., Dias, L., y Walteros, M. 2012. Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. Caldasia.
- Molina, C., Fossati, O., y Marín, R. 2006. Ensayo de un método para el estudio de macroinvertebrados acuáticos en un río contaminado de la ciudad de la Paz - Bolivia. Chile: Universidad de Chile.

- Moya, N., Tomanova, S., y Oberdorff, T. 2007. Initial development of a multi-metric index based on macroinvertebrates to assess streams condition in the Upper Isiboro-Sécure Basin, Cochabamba, Bolivia. Bolivia.
- Munn, M., Waite, I., Larsen, D., y Herlihy, A. 2009. The relative influence of geographic location and reach-scale habitat on benthic invertebrate assemblages in six ecoregions (Vol. 154). *Environ Monit Assess.*
- Muñoz, S., Naranjo, C., Garcés, G., D., G., Musle, Y., y Rodríguez, L. 2003. Evaluación de la calidad del agua utilizando los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores. *Revista Chapingo*, 9(2), 147-153.
- Nieves, G., Rosas, R., y Hornedo, M. 2010. Biodiversidad de insectos acuáticos asociados a la cuenca del río Grande de Manatí. Puerto Rico: Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.
- Ocon, C., y Rodrigues, A. 2004. Presence and abundance of Ephemeroptera and other sensitive macroinvertebrates in relation with habitat conditions in pampean streams (Vol. 159). Buenos Aires, Argentina: *Hydrobiol.*
- Ortega, H., Chocano, L., Palma, C., y Samanez, I. 2010. Biota acuática en la Amazonia Peruana: diversidad y usos como indicadores ambientales en el Bajo Urubamba (Cusco – Ucayali). *Rev. Peru. Biol*, 17, 29-35.
- Oscos, J., Campos, F., y Escala, M. 2006. Variación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en relación con la calidad de las aguas. Madrid: Asociación Española de Limnología.
- Palma, C., y Arana, J. 2014. Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. Lima-Perú: Zona Comunicaciones S.A.C.
- Peña, E. 2007. Calidad del Agua. Guayaquil-Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Pérez, C., y Rodríguez, A. 2008. Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Rev Biol Trop*, 56, 1905-1918.
- Pino, R., y Bernal, J. 2009. Diversidad, distribución de la comunidad de insectos acuáticos y calidad del agua de la parte alta y media del río David, provincia de Chiriquí, república de Panamá. *Gestión y Ambiente*, 12(3), 73-84.

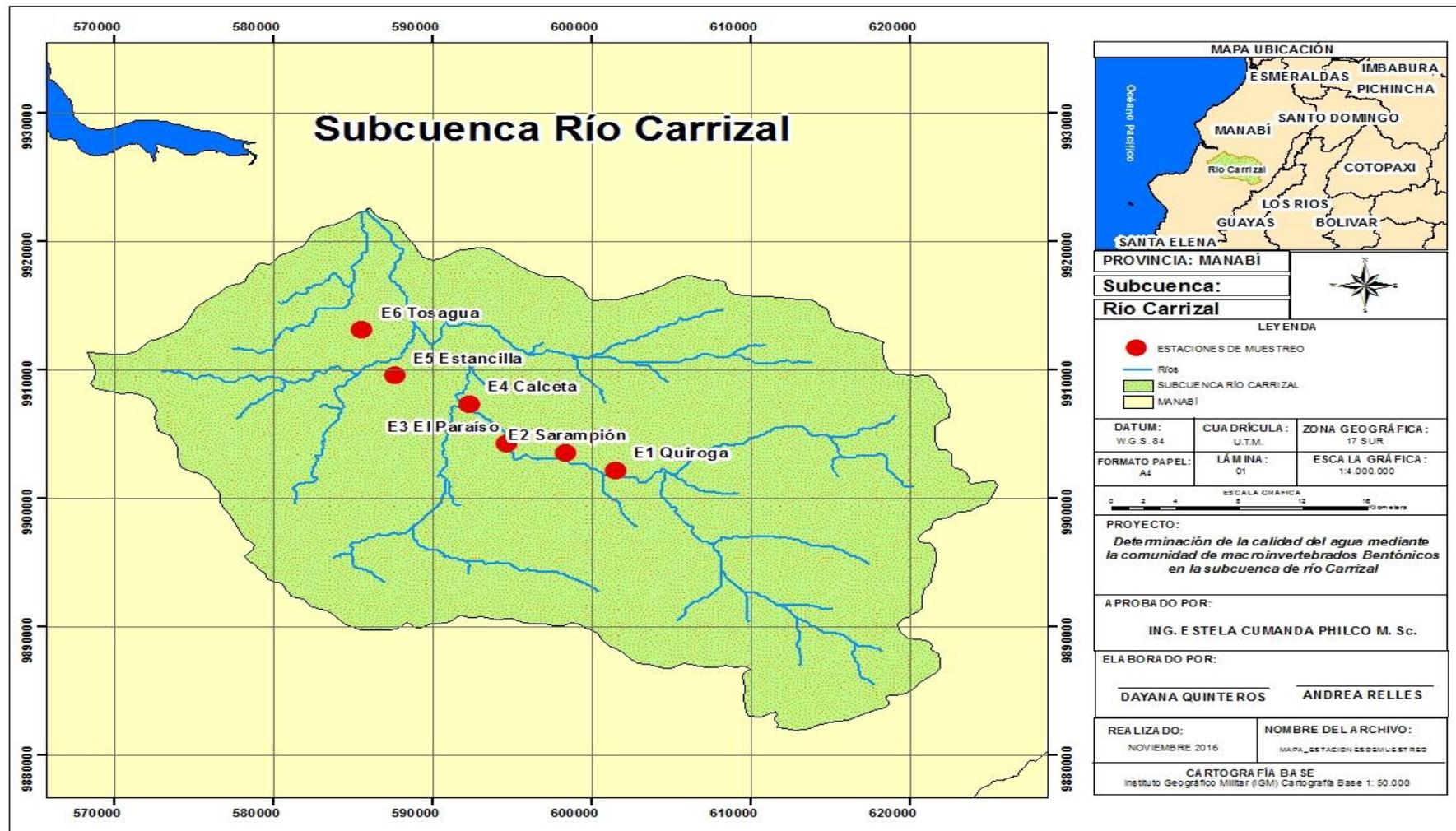
- Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., y Rieradevall, M. 2009. Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad de las aguas. *Revista Actual Biológica*, 20, 631-654.
- Prieto, J. 2004. El agua, sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación. Bogotá: Eco Ediciones.
- Puntí, T. 2007. Ecología de les comunitats de quironòmids en rius mediterranis de referència. España: Universidad de Barcelona.
- Ramírez, A. 2010. Métodos de recolección. *Revista Biológica Tropical*, 58.
- Ramírez, A. 2011. Instituto para Estudios de Ecosistemas Tropicales. Puerto Rico.
- Reinoso, M. 2006. Macroinvertebrados Acuáticos.
- Resh, V. 2008. Which group is best? Attributes of different biological assemblages used in freshwater biomonitoring programs.
- Ríos, T., González, G., y Bernal, J. 2014. Diversidad de insectos acuáticos y calidad del agua de los ríos David y Mula, provincia de Chiriquí, Panamá (Vol. 18). Panamá.
- Rivera, R. 2004. Estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en ríos de páramo y zonas boscosas, en los andes venezolanos. Mérida: Universidad de los Andes.
- Rodríguez, B., Ospina, T., y Turizo, C. 2001. Grupos funcionales de macroinvertebrados en el río Gaira, Colombia. *Rev Biol Trop*, 59, 1537-1552.
- Rogers, C., Garrison, G., Grober, R., y Hillis, M. 2001. Manual para el monitoreo de arrecifes de coral en el Caribe y el Atlántico occidental. E.E.U.U.
- Roldán, G. 2000. Los Macroinvertebrados como Bioindicadores de la Calidad de las Aguas en los Andes Colombianos. Medellín-Colombia: Universidad de Antioquia.
- Roldán, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Propuesta para el uso del método BMWP/Col. Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Roldán, P., y Ramírez, R. 2008. Fundamentos de limnología neotropical (Segunda ed.). Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.

- Samboni, N., Carvajal, Y., y Escobar, L. 2007. Parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua, estado del arte. Ingeniería e Investigación.
- Scalley, H., y Aide, T. 2003. Riparian vegetation and stream condition in a tropical agriculture-secondary forest mosaic (Vol. 13). Ecological Applications.
- Segnini, S. 2003. El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente (Vol. 16). Ecotropicos.
- SENPLADES (Secretaría Nacional de Planificación). 2013. Evaluación del Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017.
- Sepulveda, S., y Rojas, P. 2011. Elementos del Desarrollo Sostenible. San José: IICA.
- Sheng, T. 1992. Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas. En Estudio y planificación de cuencas hidrográficas. Roma: FAO.
- Simaika, J., y Samways, M. 2009. An easy-to-use index of ecological integrity for prioritizing freshwater sites and for assessing habitat quality. (Vol. 18). Biodivers. Conserv.
- Springer, M. 2006. Clave taxonómica para larvas de las familias del orden Trichoptera (Insecta) de Costa Rica. Rev. Biol. Trop., 54, 273-286.
- Springer, M. 2010. Biomonitorio acuático. Revista de Biología Tropical, 58.
- Springer, M. 2010. Trichoptera. Revista de Biología Tropical, 58.
- Talavera, V., y Zapata, L. 1998. Influencia del pH sobre los organismos acuáticos. Segunda ed. Tumpis.
- Terneus, E., Vásconez, J., Carrasco, C., y Rosero, D. 2003. Manual básico aplicado al estudio de la hidrobiología. Quito-Ecuador: Fundación para la investigación y conservación de los ecosistemas acuáticos.
- Torres, J. 2011. Experiencias desarrolladas en el país en materia de manejo integral de microcuencas. (Informe interno) . Quito, EC: FAO-Proyecto de Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático.
- Torres, M. 2004. Biología de ríos.

- Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). 2013. Revisión y Actualización de la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. Ecuador.
- Turizo, T., Turizo, R., y Zuñiga, M. 2007. Distribución espacio-temporal y hábitos alimentarios de ninfas de *Anacroneuria* (Insecta: Plecoptera: Perlidae) en el río Gaira (Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia). *Caldasia*.
- Valdovinos, C. 2008. Diversidad de especies de invertebrados acuáticos Invertebrados dulceacuícolas. (Tercera ed.). Chile: Conama.
- Vargas, C. 1996. La perspectiva del manejo de cuencas. Costa Rica: EFUNA.
- Vásquez, D., Flowers, R., y Springer, M. 2009. Life history of five small minnow mayflies (Ephemeroptera: Baetidae) in a small tropical stream on the slope of Costa Rica. Costa Rica.
- Vásquez, J., y Reinoso, G. 2012. Estructura de la fauna béntica en corrientes de los Andes Colombianos. *Revista Colombiana de Entomología*, 38(2), 351-358.
- Vázquez, G., Castro, G., González, I., Pérez, R., y Castro, T. 2006. Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua.
- Villanueva, M., y Chanamé, F. 2016. Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales, Junín-Perú. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 2-10.
- Vivas, S., Casas, J., Pardo, I., Robles, S., Bonada, N., Mellado, A., y Moyá, G. 2002. Aproximación multivariante en la exploración de la tolerancia ambiental de las familias de macroinvertebrados de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED. *Limnetica*.
- Wetzel, M. 1981. *Limnología*. Barcelona, España: Ediciones Omega, S.A.
- White, D., y Roughley, R. 2008. *Coleoptera*. USA: Merritt, Cummins, K.W. & M.B. Berg.

ANEXOS

Anexo 1 Ubicación de las seis estaciones de muestreo en la subcuenca del río Carrizal



Anexo 2 Recolección de los macroinvertebrados bentónicos en las seis estaciones de muestreo



Anexo 3 Medición de pH, OD y temperatura



Anexo 4 Orden Coleoptera, Hydrophilidae



Anexo 5 Orden Ephemeroptera, Caenidae



Anexo 6 Orden *Ephemeroptera*, *Leptophlebiidae*



Anexo 7 Orden *Odonata*, *Aeshnidae*



Anexo 8 Orden *Trichoptera*, *Hydropsychidae*



Anexo 9 Orden: *Diptera*, *Chironomidae*

