

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

SEDE EN ESMERALDAS



ESCUELA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL

TEMA:

**“CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO TEAONE
UTILIZANDO MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS COMO
BIOINDICADORES”.**

AUTOR (A):

MICHELLE MABEL GUIJARRO VITERI

ASESORA:

Ph. D. OLGA CARNICER CASTAÑO

ESMERALDAS, 2015

Trabajo de tesis aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos por el reglamento de Grado de la PUCESE previo a la obtención del título de INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL.

Presidente Tribunal de Graduación

Lector 1

Lector 2

Mgt. Carlos Torres Alvarado

Director de la Escuela de Gestión Ambiental

Ph. D. Olga Carnicer Castaño

Directora de Tesis

Esmeraldas, 2015

AUTORIA

Yo, Michelle Mabel Guijarro Viteri, declaro que la presente investigación enmarcada en el actual trabajo de tesis es absolutamente original, auténtica y personal.

En virtud que el contenido de ésta investigación es de exclusiva responsabilidad legal y académica de la autora y de la PUCESE.

Michelle Mabel Guijarro Viteri

C.I. 080271577-1

AGRADECIMIENTO

Agradezco a las personas que hicieron posible la realización de este trabajo de investigación. A la Ph. D. Olga Carnicer Castaño por su apoyo y tutoría en el desarrollo de este estudio y en especial al Dr. Jon Molinero Ortiz, por haber compartido sus conocimientos en ecología fluvial y guiar acertadamente la dirección de esta investigación.

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas, por ofrecer el apoyo necesario para la realización del estudio y a la Universidad del País Vasco por brindarnos las herramientas necesarias para aplicar en el campo de investigación.

A mi tía y abuela por haberme apoyado incondicionalmente a lo largo del trayecto de esta etapa de vida.

DEDICATORIA

Dedico la culminación de esta etapa de mi vida a las personas que me han impulsado a no desmayar ante las adversidades. A mi mamá por creer en mí y apoyarme en mi carrera profesional y a mis hijos.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. METODOLOGÍA	5
2.1. Área de estudio	5
2.2. Caracterización del hábitat	9
2.3. Muestreo físico-químico.....	10
2.4. Análisis de muestras de agua en el laboratorio	10
2.5. Muestreo de macroinvertebrados	11
2.6. Análisis estadístico	17
3. ANALISIS DE RESULTADOS.....	18
3.1. Caracterización del hábitat	18
3.2. Parámetros físico-químicos	20
3.3. Macroinvertebrados.....	22
4. DISCUSIÓN	36
5. CONCLUSIONES	41
6. RECOMENDACIONES.....	42
7. BIBLIOGRAFÍA	43

Lista de Gráficos

Gráfico 1.- Resumen climatológico de la zona de estudio	5
Gráfico 2.- Zona de estudio dentro de la ciudad Esmeraldas- Ecuador: estaciones de muestreo	8
Gráfico 3.- Angulo de apertura (a), número de piezas de madera (b) y composición del sustrato (c) en las estaciones de muestreo.	19
Gráfico 4.- Índice BMWP hallado en las estaciones de muestreo.....	26
Gráfico 5.- Porcentaje de EPT presentes en las estaciones del río Teaone.....	27
Gráfico 6.- Análisis de los grupos tróficos	29
Gráfico 7.- Análisis canónico de correspondencias de los parámetros que explican la variabilidad de la comunidad de macroinvertebrados presentes en el cauce.....	34

Lista de tablas

Tabla 1.- Estaciones de muestreo	7
Tabla 2.- Tipos de sustrato según la escala de Wentworth (1922)	9
Tabla 3.- Puntuación de las familias de macroinvertebrados según Zamora, H. (1999).	15
Tabla 4.- Rangos de valores para el índice BMWP.....	15
Tabla 5.- Rango de valores para el índice EPT.....	16
Tabla 6.- Grupos tróficos de macroinvertebrados	17
Tabla 7.- Parámetros físico-químicos en las estaciones de muestreo y afluentes considerados para el estudio	21
Tabla 8.- Parámetros químicos analizados en las estaciones y los afluentes principales del cuerpo de agua de estudio.....	21
Tabla 9.- Abundancias de las familias presentes en los puntos de muestreo.....	23
Tabla 10.- Riqueza, abundancia y diversidad halladas en los puntos de muestreo	24
Tabla 11.- Valores índice BMWP.....	25
Tabla 12.- Valores índice EPT.....	26
Tabla 13.- Calidad en todo el cuerpo de agua según índice EPT	28

Tabla 14.- Correlaciones entre la abundancia de macroinvertebrados y las variables físicoquímicas.	31
Tabla 15.- Resultados del análisis de correspondencias canónicas de la abundancia de macroinvertebrados.....	32
Tabla 16.- Clasificación de las familias de macroinvertebrados según los resultados del análisis de correspondencias.....	35

Lista de imágenes

Imagen 1.- Familias representativas de la estación P1	51
Imagen 2.- Familias representativas de la estación P2	53
Imagen 3.- Familias representativas de la estación P3	55
Imagen 4.- Familias representativas de la estación P4	57
Imagen 5.- Familias representativas de la estación P5	59
Imagen 6.- Familias representativas de la estación P6	61
Imagen 7.- Familias representativas de la estación P7	63
Imagen 8.- Limpieza de piedras grandes en el muestreo de macroinvertebrados	64
Imagen 9.- Muestreo de macroinvertebrados	64
Imagen 10.- Toma de parámetros físico-químicos in situ con sonda	65
Imagen 11.- Análisis de las muestras de macroinvertebrados en el laboratorio.....	65

TITULO

Caracterización de la calidad de agua del río Teaone utilizando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores.

RESUMEN

Los macroinvertebrados bentónicos son organismos bioindicadores, que en las últimas décadas han tomado auge en la evaluación de la calidad de agua de cuerpos hídricos, en conjunto con el uso de parámetros físico-químicos. En base a ellos se puede determinar si los ríos se encuentran alterados. En el presente estudio se ubicaron 7 estaciones a lo largo del río Teaone, desde el tramo alto hasta el tramo bajo, donde se realizó la caracterización del sustrato, se registraron parámetros físico-químicos y se colectaron muestras de macroinvertebrados durante el mes de agosto 2015; con la finalidad de establecer un nivel de calidad de agua para el recurso hidrológico. Se recolectaron 1194 especímenes, integrados en 11 órdenes y 27 familias, teniéndose como taxones más abundantes Leptophlebiidae (orden Ephemeroptera), Baetidae (orden Ephemeroptera) y Elmidae (orden Coleoptera). Se aplicaron índices de diversidad Shannon, Biological Monitoring Working Party (BMWP) y % Ephemeroptera Plecoptera Trichoptera (EPT) para determinar el estado de calidad de las aguas de este río. Se determinó que la calidad de agua en el tramo alto es “buena” y “aceptable” y a medida que se avanza en el gradiente longitudinal, estaciones pertenecientes al tramo bajo arrojaron una calidad “dudosa”, según el BMWP. El índice de diversidad de Shannon presenta resultados similares en donde la mayor diversidad se presenta en las estaciones del tramo alto (2,9) y la menor diversidad en las estaciones del tramo bajo (1,7). Sin embargo el % EPT de taxones pertenecientes a los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, presenta respuestas distintas debido a la abundancia de organismos pertenecientes a los órdenes Ephemeroptera y Trichoptera, dando como resultado que la calidad del río es “buena” y “muy buena” en todas las estaciones sin presentar respuestas al gradiente longitudinal ni a la intervención de las poblaciones.

TITLE

Characterization of water quality in Teaone river using benthic macroinvertebrates as bioindicators.

ABSTRACT

Benthic macroinvertebrates are organisms biomarkers, which in recent decades have taken boom in assessing the water quality of water bodies, in conjunction with the use of physical and chemical parameters. Based on them can be determine if rivers are altered. In the present study, 7 stations were located along the Teaone river from headwaters to the downstream, where the characterization of the substrate was performed, physico-chemical parameters were recorded and macroinvertebrate samples were collected during the month of August 2015; in order to establish a level of water quality for the water resource. The total of 1194 individuals was collected, represented by 11 orders and 27 families, with the most abundant taxa Leptophlebiidae (Order Ephemeroptera), Baetidae (Order Ephemeroptera) and Elmidae (order Coleoptera). Shannon diversity index, Biological Monitoring Working Party Index (BMWP) and % Ephemeroptera Plecoptera and Trichoptera (EPT) were applied to determine the status of water quality of the river. These indices helped determine that the quality of water in the upper stream is "good" and "acceptable" and as the progress through the longitudinal gradient was verified in P5 and P7 belonging to the lower section, the quality decreases and is "doubtful "according to the BMWP score. The diversity index Shannon has similar results where the greatest diversity occurs in the headwaters stations (2.9) and the least diversity in the downstream stations (1.7). However the % EPT taxa belonging to Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera orders, presented different answers due to the abundance of organisms belonging to Ephemeroptera and Trichoptera orders, resulting in river quality is "good" and "very good" in all stations without providing answers to the longitudinal gradient or town

1. INTRODUCCIÓN

Los ríos son ecosistemas dinámicos fluviales de gran complejidad, pues comprenden varios componentes (bosque ripario, zonas de inundación, cauce, etc.) que son fundamentales en su estructura. El dinamismo de los cauces se expresa en dimensión espacio-temporal y el equilibrio en el funcionamiento de los mismos se da por el papel que desempeñan cada uno de sus elementos (Sabater y Elozegi, 2009).

Los ecosistemas fluviales son susceptibles de contaminación, que se origina principalmente por actividades antrópicas que se desarrollan en zonas aledañas a los cuerpos de agua. Los asentamientos humanos se ubican en estas franjas por la presencia del recurso y la prosperidad de las tierras. Actividades como la agricultura, ganadería, deforestación, introducción de especies, etc., provocan impactos en los cauces hídricos afectando el equilibrio de las funciones ecológicas de estos cuerpos de agua (Kauffman, 1992).

La calidad de aguas se refiere a los distintos atributos que presenta el agua, de modo que pueda ser destinada para múltiples usos, tales como el consumo humano, aguas recreativas, riego, conservación de ecosistemas, etc. Incluye factores que intervienen en la determinación de los usos del recurso: físicos, químicos y biológicos. (Chang, 2009).

La aplicación de parámetros físico-químicos ha sido uno de los métodos más utilizados a nivel global para la evaluación de la calidad de aguas, pues permite determinar los posibles usos del recurso. Sin embargo, existen métodos complementarios que se basan en criterios ecológicos como el uso de bioindicadores, que permiten proteger o restaurar el estado ecológico de los ecosistemas fluviales porque integran la calidad del agua en un periodo de tiempo más largo que un análisis físico-químicos, que refleja únicamente información de la situación en el momento que se ha tomado la muestra (Martínez, 2012).

Los parámetros físico-químicos ayudan a determinar la “calidad” del agua en lo que se refiere al consumo humano, pero al combinar estos análisis con los de bioindicadores se puede inferir en conclusiones muchos más amplias sobre un ecosistema acuático, ya que éstos

últimos requieren que la calidad del agua se mantenga a través del tiempo, para poder completar su ciclo vital (Bartram y Ballance, 1996).

Los bioindicadores son seres vivos que son sensibles a la polución y presentan respuestas específicas cuando el hábitat donde viven se ve afectado. Permiten establecer una correspondencia entre los organismos y el lugar en el que habitan (Oscóz, 2006). Los índices bióticos basados en bioindicadores permiten asignar un nivel de calidad al estado ecológico de los ecosistemas fluviales apoyándose en la riqueza y abundancia de los individuos hallados. Se han creado índices para fitobentos, macrófitos, vegetación de ribera, macroinvertebrados acuáticos, peces, anfibios, aves y mamíferos (Ordéix *et al.*, 2012).

Los macroinvertebrados bentónicos son organismos indicadores de la calidad de los ecosistemas fluviales porque viven en hábitats acuáticos y se adaptan a las condiciones específicas del ambiente en el que se encuentran; algunos taxones presentan niveles de tolerancia muy bajos ante perturbaciones, mientras que la presencia de otros puede indicar degradación. Estos organismos se encuentran en los niveles primarios de la cadena trófica, y cumplen funciones elementales para el buen funcionamiento del ecosistema (Diehl y Korników, 1997).

En el Ecuador, los estudios de calidad de agua basados en bioindicadores han tomado auge y en la actualidad ya están presentes en la legislación ecuatoriana para el control y seguimiento ambiental (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2015). El estudio más reciente en la provincia de Esmeraldas fue publicado en 2014 por docentes del área de Gestión Ambiental de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Esmeraldas (P.U.C.E.S.E.), en el cual se investigó sobre la importancia de la riqueza de macroinvertebrados y su aplicación en la gestión ambiental (Martínez-Sanz *et al.*, 2014). Los resultados de este estudio registraron el primer reporte de invertebrados acuáticos de la región y se demostró que los índices biológicos BMWP (adaptado para Colombia) y Shannon presentan un buen desempeño para la determinación del estado de la comunidad de macroinvertebrados de la zona.

El Cantón Esmeraldas cuenta con el río Teaone como principal vertiente del río Esmeraldas, el mismo que es aprovechado para varias actividades antropogénicas como la ganadería,

agricultura y labores domésticas, que se realizan desde su origen hasta su desembocadura en el río Esmeraldas. Este cauce abastece a las poblaciones asentadas en sus riberas como es el caso de las parroquias rurales Carlos Concha, Tabiazo y Vuelta Larga que no cuentan con sistema de agua potable. Es de relevante importancia en el sistema hidrológico del cantón por ser el principal tributario de la cuenca del río Esmeraldas y su conservación es fundamental. Sin embargo, el bajo nivel de educación y concienciación en las personas acerca de la importancia de la conservación de este río a nivel ambiental y sanitario, la falta de información y un plan de manejo por parte de las autoridades; así como estudios científicos sobre la dinámica fluvial, dificultan el desarrollo sustentable de este recurso natural (Mosquera, 2013).

Las zonas aledañas al río tienen rico potencial agrícola por la buena calidad de sus suelos, motivo por el que los pobladores se dedican a actividades de agricultura aprovechando terrenos al margen del cauce, destruyendo el bosque de ribera. Los fertilizantes que se utilizan para promover el crecimiento de las especies cultivadas también constituyen un inconveniente en la calidad del agua del río, pues con el riego y las lluvias, los nutrientes que no son aprovechados por las plantas son arrastrados hasta el curso de agua y se convierten en un problema para las especies que habitan en el ecosistema, provocando eutrofización de las aguas superficiales (FAO, 2003).

A causa de estos factores de origen antrópico, el recurso hídrico se ha convertido en receptor de los residuos a través de su paso por los asentamientos humanos. El conjunto de estas actividades humanas y su intensificación por el incremento demográfico en la zona y la mala gestión del recurso, provocan degradación de hábitats de los ecosistemas de agua dulce con la consecuente pérdida de biodiversidad autóctona.

La determinación de la calidad de agua mediante la evaluación de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, es una herramienta eficaz para analizar los niveles de calidad en los recursos hídricos como el río Teaone. Este método, permite observar cambios a lo largo del tiempo de acuerdo a la presencia o ausencia de algunos taxones que sólo pueden vivir en aguas que tengan una buena calidad de agua, ya que son organismos muy sensibles a las perturbaciones que sufre el medio en el que viven (Martínez, 2012)

Los índices biológicos que se aplican para determinar la calidad de agua son métodos abordables que no requieren de grandes inversiones de dinero para llevarse a cabo, y están disponibles para ser aplicados.

Para la realización de este estudio se seleccionó el tramo alto del río Teaone, pues nace en la reserva Mache-Chindul y se podría considerar un recurso hidrológico poco afectado en esa zona porque no existe una población extensa y conserva remanentes de bosques de ribera. Sin embargo, a lo largo de su trayecto se observa la influencia de actividades antropogénicas, por lo que también se ha considerado importante realizar un análisis en los tramos medio y bajo en donde existe mayor densidad demográfica, con la finalidad de comparar el cambio en la calidad del agua y determinar la degradación de hábitats.

Para la realización del presente estudio se estableció como objetivo general determinar el estado de la calidad del agua en la cuenca del río Teaone, mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores, para lo cual se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Identificar la comunidad de macroinvertebrados utilizando parámetros como: riqueza específica, abundancia relativa y diversidad,
- Analizar los cambios de abundancia y composición de macroinvertebrados asociados a las actividades que se realizan en los alrededores de los puntos muestreados,
- Realizar un análisis de grupos tróficos dentro de la comunidad de macroinvertebrados.
- Evaluar la calidad del agua en las estaciones muestreadas mediante parámetros físico-químicos y contrastar los resultados a los de bioindicadores

2. METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

El río Teaone, es el principal afluente del río Esmeraldas dentro del cantón Esmeraldas. Su extensión es de 504,89 Km², tiene una anchura media de 38 ±10 metros, profundidad entre 0.8 – 1.0 m. y caudal aproximado de 7 m³/seg. Su longitud es de alrededor de 30 km desde su nacimiento y desemboca en el río Esmeraldas con un aporte anual de 700 Hm³ (Biósfera, 2011).

La zona de estudio posee un clima húmedo tropical, con una temperatura promedio de 26 ± 7 °C y una precipitación media de 55 ± 15 mm (Gráfico 1).

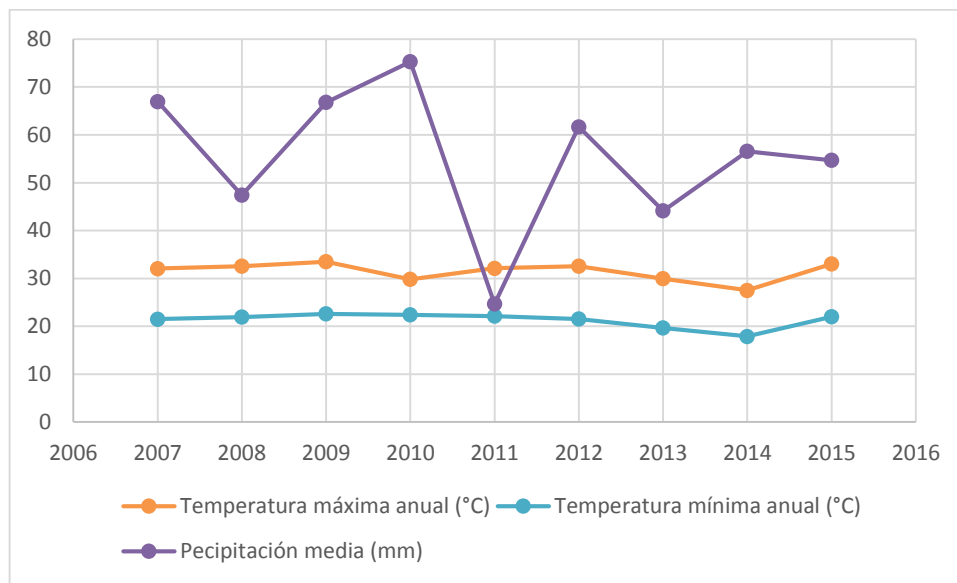


Gráfico 1.- Resumen climatológico de la zona de estudio Fuente: Estación meteorológica Esmeraldas INOCAR www.inocar.mil.ec

En el tramo alto de la subcuenca se encuentra la parroquia “Cnel. Carlos Concha Torres”, la cual está ubicada al sureste del cantón, aproximadamente a 32 kilómetros de distancia desde el centro de la ciudad de Esmeraldas. Esta parroquia se encuentra entre los 90 y 800 m.s.n.m. y su precipitación anual es de 1000 a 3000 mm. Tiene 2.354 habitantes y no cuenta con un sistema de alcantarillado. El abastecimiento de agua se da por un sistema de agua entubada

que satisface las necesidades del 82% de la población, el resto de ellos recurren a pozos comunitarios, captación y acumulación de agua de lluvia y esteros. Las aguas residuales son vertidas directamente al río (GAD Cnel. Carlos Concha, 2014).

La parroquia Tabiazo, población ubicada en el tramo medio, tiene una superficie de 846 Km², cuenta con 2660 habitantes y está ubicada a 12 kilómetros de la “Y” de Vuelta Larga – Atacames. Su precipitación promedio anual es de 1500 mm. El suministro de agua se obtiene a partir de un sistema de perforación de 30 metros que abastece al 70% de la población y el resto recurre a los ríos Teaone y Tabiazo (GAD Tabiazo, 2012).

En el tramo bajo, encontramos la parroquia Vuelta Larga con superficie de 77,22 Km² y población de 2.997 habitantes que se encuentra cercana a la zona urbana de Esmeraldas, es dotada de agua potable proveniente del río Esmeraldas. Con respecto al sistema de recolección de aguas residuales, existe una piscina de filtrado y fitorremediación para la depuración de dichas aguas, sin embargo el sistema no recibe el mantenimiento que requiere para su óptimo funcionamiento y no se realizan los análisis pertinentes con la periodicidad necesaria antes de ser vertidas al río Teaone (Mosquera, 2013).

2.1.1. Determinación de estaciones

Para la realización del estudio se consideraron 6 estaciones (con características físicas homogéneas) más un punto de control. Se estableció como criterio para la determinación de estaciones la influencia de los centros poblados en la calidad del río, por lo que se ubicaron estaciones antes y después de cada núcleo de población.

Se seleccionó el punto de control en el tramo alto ubicado en la comunidad Morachigüe (P1).

En la parroquia “Carlos Concha” se ubicó una estación antes (P2) y otra después del centro poblado (P3). La cuarta estación se estableció entre Carlos Concha y Tabiazo, en la localidad “Moncaume” (P4). En la parroquia “Tabiazo” se consideraron 2 estaciones, una antes del centro poblado (P5) y otra después del mismo, una vez que desemboca el río Tabiazo en el río Teaone (P6) y la última estación se asignó después de la parroquia “Vuelta Larga” (P7). Teniendo un total de 7 estaciones a lo largo del cauce (Tabla 1, Gráfico 2).

Tabla 1.- Estaciones de muestreo *Puntos considerados para el análisis químico del cuerpo de agua principal

Ubicación	Nombre estación	Tramos seleccionados	
		UTM inicial	UTM final
Morachigüe	P 1	17N 0641937 0076339	17N 0641857 0076173
Carlos Concha antes	P2	17N 0645653 0078790	17N 0645721 0078419
Carlos Concha después	P3	17N 0646224 0079796	17N 0646146 0079626
Puente Moncaume	P4	17N 0644997 0087157	17N 0644771 0086835
Tabiazo antes	P5	17N 0644029 0090173	17N 0644278 0090231
Tabiazo después	P6	17N 0644232 0091756	17N 0643984 0091268
Puente Vuelta larga	P7	17N 0645319 0099967	17N 0645295 0099800
Río Huele*	A1	--	--
Río Moncaume*	A2	--	--
Río Tabiazo*	A3	--	--

Además, se consideraron 3 afluentes principales, para analizar de qué manera influyen en la química del agua del río Teaone: río “Huele” (A1), río “Moncaume” (A2), río “Tabiazo” (A3), mas no se realizaron muestreos biológicos en dichos puntos.

La toma de muestras se realizó en una campaña de muestreo en el mes de agosto 2015, durante la estación seca, en los días 27 y 28.

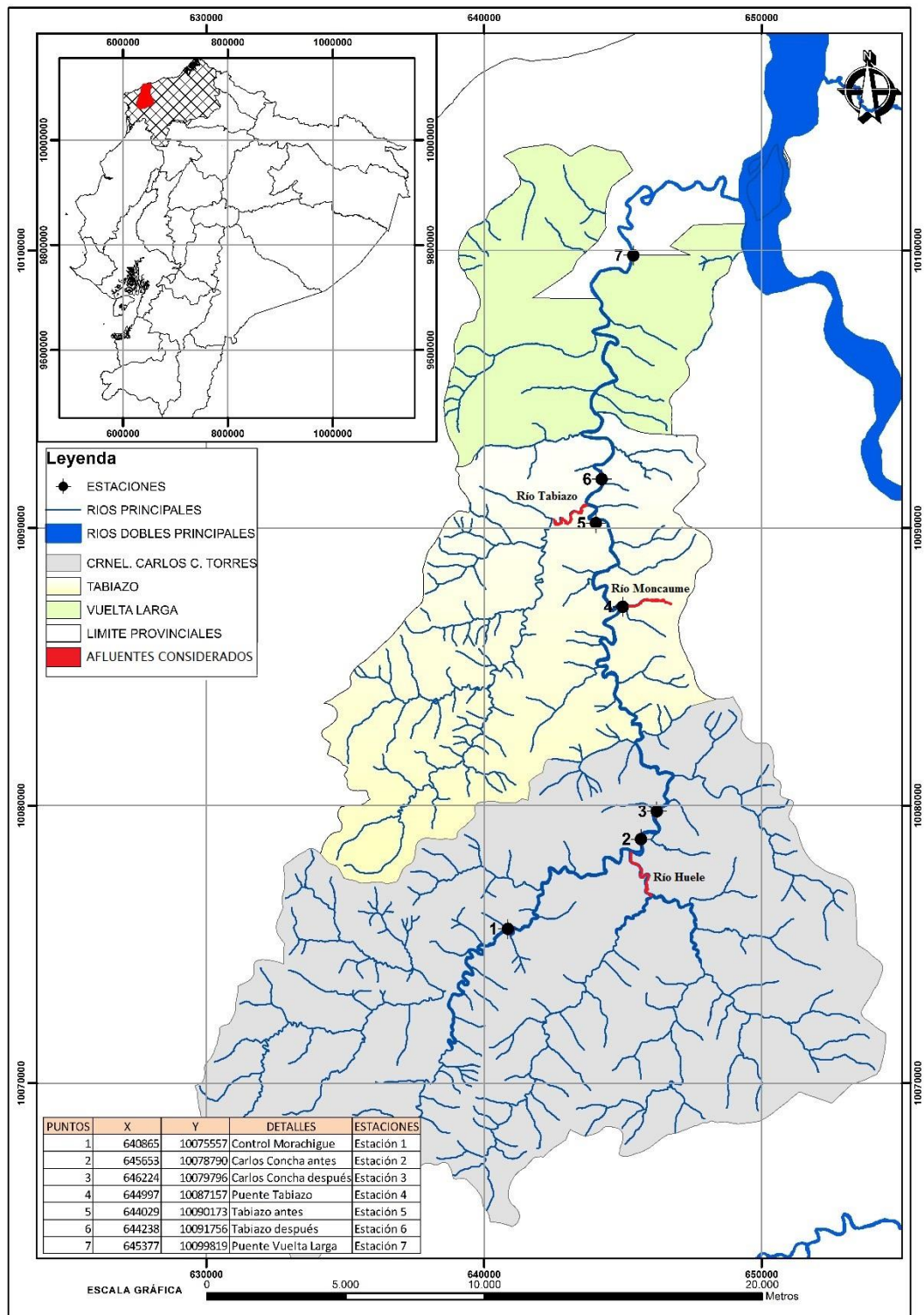


Gráfico 2.- Zona de estudio dentro del cantón Esmeraldas- Ecuador: Estaciones de muestreo

2.2. Caracterización del hábitat

Se realizó la caracterización del sustrato con la finalidad de conocer la geomorfología y distribución espacial del sustrato en el cauce hídrico, previo a la ejecución del muestreo de macroinvertebrados.

La caracterización física del sustrato se llevó a cabo según Elosegi y Díez, 2009. Se midió la anchura del cauce activo y multiplicando este número por 10 se estableció la longitud del tramo a considerar. Una vez determinada la longitud del tramo se establecieron 10 transectos perpendiculares al cauce, entre las dos orillas y espaciados de forma regular en donde se midieron: cauce activo, canal húmedo y tipo de sustrato a intervalos variables. La medida del sustrato se realizó según la escala de granulometría de Wentworth, 1922, como se presenta en la tabla 2.

Tabla 2.- Tipos de sustrato según la escala de Wentworth (1922)

Tipo de sustrato	Diámetro (mm)	Detalles
Roca madre	--	Incluir también bloques mayores de 1 m
Bloques o roca	> 250	Mayores que la palma de la mano
Cantos	60 - 250	Entre un puño y una palma
Guijarros	20 - 60	Entre una uña del pulgar y un puño
Grava	0,2 - 20	Menor que la uña del pulgar
Arena	0,006 – 0,2	Tacto áspero, no mancha
Limo	< 0,006	Tacto suave, mancha

Además se cuantificó el número de troncos y piezas de madera con un diámetro mayor a 5 cm dentro del cauce húmedo y este valor se expresó como número de piezas de madera para 100 m de cauce.

Con el clinómetro se midió el ángulo de apertura del cauce, que depende de la anchura del río y la altura de la vegetación riparia y sirve como un indicador de la cantidad de luz (más luz cuando el ángulo aumenta) y de materia orgánica en forma de hojarasca (menos materia orgánica cuando el ángulo aumenta).

Todas las características mencionadas anteriormente fueron anotadas en hojas de campo, junto con las características del entorno y datos generales como fecha, hora y coordenadas geográficas.

2.3. Muestreo físico-químico

Se realizó el registro de datos físico-químicos *in situ*: temperatura (°C), turbidez (NTUs), pH, oxígeno disuelto (mgO₂/L) y conductividad (μS/cm), por medio de un Oxímetro HANNA HI 9146 y turbidímetro HANNA HI 93102. Esta práctica se realizó previamente en la cercanía de los puntos de muestreo de macroinvertebrados, para que no afecte la resuspensión del material del lecho fluvial.

También se tomaron muestras de agua en botellas plásticas de 1 litro, etiquetadas previamente con los puntos de muestreo, para posteriormente analizar nutrientes: orto fosfato y fosfato total, nitritos, nitratos y hierro. Además, se tomaron muestras en 3 de los afluentes más representativos del río Teaone: Huele, Moncaume y Tabiazo, antes de su desembocadura en el Teaone.

Las muestras fueron conservadas en frío en coolers y posteriormente transportadas al laboratorio donde se mantuvieron refrigeradas.

2.4. Análisis de muestras de agua en el laboratorio

Se utilizaron kits de marca NANOCOLOR. Para orto fosfato y fosfato total se utilizó el test 985 076, cuyo método es la determinación fotométrica como azul de molibdeno tras hidrólisis ácida y oxidación a 100 a 120°C. Para nitritos se usó el test 985 068, cuyo método es la determinación fotométrica mediante sulfanilamida y *N*-(1-naftil) etilendiamina. En el caso de nitratos se utilizó el test 918 65, cuyo método es la determinación fotométrica con 2,6-dimetilfenol, en una mezcla de ácido sulfúrico / ácido fosfórico.

Se analizaron las muestras en un espectrofotómetro de marca UNICAM 8625, para determinar la concentración de los nutrientes en las muestras de agua.

2.5. Muestreo de macroinvertebrados

2.5.1. Colección de macroinvertebrados

La toma de muestras se realizó siguiendo el método del hábitat simple (Plafkin *et al.*, 1989), con una red de muestreo estándar de 300 µm de luz de malla removiendo el sustrato con el pie a contracorriente, para evitar revolver el punto siguiente y perder muestras de macroinvertebrados que pueden ser arrastrados por la corriente al pisar el terreno. Se realizaron 4 arrastres a lo largo de cada estación.

En cada muestreo se tomó notas de las características físicas del medio en una hoja de campo que se observa en el Anexo 1. Las muestras se limpiaron en el campo, liberándolas de hojarasca y otros elementos que no fueran de interés, antes de colocarlas en frascos plásticos de boca ancha para su transporte al laboratorio.

Las muestras tomadas fueron rotuladas con el lugar y fecha del muestreo, ulteriormente se fijaron con alcohol etílico al 70% y transportadas en frío para su conservación y posterior análisis en laboratorio.

2.5.2. Análisis en laboratorio

Se limpiaron las muestras colocándolas en bandejas de plástico color blanco, apoyadas sobre una mesa amplia con la presencia de una lámpara. Se retiraron con pinzas los organismos visibles al ojo humano y fueron colocados en cajas petri según el taxón al cual pertenecían.

Una vez separados y ordenados los distintos organismos, se procedió a su identificación hasta el nivel taxonómico de familia con lupa binocular Optika Microscopes (10x) y con guías o claves dicotómicas (Martínez- Sanz, 2013; Tufiño P. y Páliz M., 2012; Roldán, 1996; Domínguez y Fernández, 2009) para la identificación de macroinvertebrados.

2.5.3. *Aplicación de índices*

2.5.3.1. **Índice de diversidad de Shannon (H')**

El índice de Shannon (Shannon y Weaver, 1949), H', se basa en la teoría de la información (mide el contenido de información por símbolo de un mensaje compuesto por S clases de símbolos discretos cuyas probabilidades de ocurrencia son pi...pS) y es el de mayor empleo en ecología de comunidades.

$$H' = -\sum (P_i * \ln P_i)$$

Donde

$P_i = n_i/N$ (proporción de individuos de la especie i en el total de individuos colectados),

N= Total de todas las especies,

n_i = abundancia para la especie i,

$\ln P_i$ = logaritmo natural de P_i .

El valor de este índice se halla entre 1,5 y 3,5 y ocasionalmente excede 4,5.

2.5.3.2 **Índice BMWP**

El BMWP es un índice cualitativo basado en la presencia o ausencia de varios taxones (por lo general familias) y en la sensibilidad a la contaminación de cada uno de esos taxones, expresada mediante un valor numérico, para lo cual:

- Se desarrolló un listado de los taxones presentes en la muestra.
- Se estableció el valor de sensibilidad a la contaminación que el índice asigna a cada uno de esos taxones.
- Se sumaron los valores de sensibilidad de todos los taxones presentes en la muestra. El valor resultante es el BMWP (Armitage, 1983), adaptado por Zamora, H. (1999) para latitudes cercanas (Colombia) al área de estudio (Tabla 3).
- Se ubicó el valor en los rangos de calidad establecidos por Alba-Tercedor et al., (2002) (Tabla 4).

Tabla 3.- Puntuación de las familias de macroinvertebrados según Zamora, H. (1999).

Orden	Familia	Puntaje
Plecoptera	Perlidae	10
Ephemeroptera	Oligoneuridae, Euthyplociidae, Polymtarciidae	
Trichoptera	Odontoceridae, Glossosomatidae,	
Coleoptera	Rhyacophilidae, Calamoceratidae,	
Odonata	Hydroptilidae, Anomalopsychidae,	
Díptera	Atriplectididae	
Unionoida	Psephenidae, Ptolodactylidae, Lampyridae	
Acari	Polythoridae	
Hidroida	Blepharoceridae	
	Unionidae (Cl: Bivalvia o Pelecypoda) Lymnessiidae (Cl: Arachnoidae o hidracarina) Hidridae (Cl:Hydrozoa)	
Ephemeroptera	Leptophlebiidae, Efemeridae	9
Trichoptera	Hydrobiosidae, Philopotamidae,	
Coleoptera	Xiphocentronidae	
Odonata	Gyrinidae, Scirtidae	
Diptera	Gomphidae, Megapodagionidae,	
Gordioidae	Coenagrionidae	
Lepidoptera	Simulidae	
Mesogastropoda	Gordiidae, Chordodidae	
Hirudiniformes	Pylaridae	
	Ampullariidae (Cl:Gastropoda) Hirudinae (Cl: Hirudinea)	







Continuación de la Tabla 3.- Puntuación de las familias de macroinvertebrados según Zamora, H. (1999).

Orden	Familia	Puntaje
Ephemeroptera	Baetidae, Caenidae	8
Trichoptera	Hidropsychidae, Leptoceridae, Helicopsychidae	
Coleóptera	Dysticidae, Dryopidae	
Odonata	Lestidae, Calopterygidae	
Hemiptera	Pleidae, Saldidae, Guerridae, Veliidae, Hebridae	
Diptera	Dixidae	
Decápoda	Paleomonidae, Psedothelpusidae. (Cl: Crustácea)	
Basommatophora	Chilinnidae (Cl: Gatrópoda)	
Ephemeroptera	Tricorythidae, Leptohiphidae,	7
Trichoptera	Polycentropodidae	
Coleóptera	Elmidae, Staphylinidae	
Odonata	Aeshnidae	
Hemiptera	Naucoridae, Notonectidae, Mesolveiidae,	
Díptera	Corixidae	
Basommathopora	Psychodidae	
Mesogastropoda	Ancylidae, Planorbidae. (Cl: Gastropoda)	
Archeogastrópoda	Melaniidae, Hidrobiidae. (Cl: Gastropoda)	
	Netiridae (Cl: Gastropodo)	
Coleoptera	Limnichidae, Lutrochidae.	6
Odonata	Libellulidae	
Hemiptera	Belostomatidae, Hidrometridae, Galostocoridae,	
Megaloptera	Nepidae	
Decápoda	Dolichopodidae	
Anphipoda	Corydalidae, Sialidae	
Triciada	Atydae. (Cl: Crustácea)	
	Hyalellidae. (Cl: Crustácea)	
	Planariidae, Dugesiidae	

Continuación de la Tabla 3.- Puntuación de las familias de macroinvertebrados según Zamora, H. (1999).

Orden	Familia	Puntaje
Coleóptera	Chrysomelidae, Haliplidae, Curculiconidae.	5
Díptera	Tabanidae, Stratiomyidae, Empididae.	
Basommatophora	Thriaridae. (Cl: Gastrópoda)	
Coleóptera	Hidrophilidae, Noteridae, Hydraenidae.	4
Díptera	Tipulidae, Ceratopogonidae.	
Basommatophora	Limnaeidae, Spharidae. (Cl: Gastrópoda)	
Díptera	Culicidae, Muscidae, Sciomizidae	3
Basommatophora	Physidae. (Cl: Gastrópoda)	
Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae, Cyclobselidae, Cylicobdellidae.	
Díptera	Chironomidae, Ephydriidae, Syrphidae.	2
Heploptaxida	Todas las familias (Excepto tubifex)	
Heploptaxida	Tubificidae (tubifex).	1

Tabla 4.- Rangos de valores para el índice BMWP

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

2.5.3.3 Índice EPT

Para el cálculo del índice EPT, se determinaron en cada estación las familias presentes pertenecientes a los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera. La sumatoria de sus abundancias se dividió por el total de la abundancia de individuos obtenidos en la estación y se multiplicó dicho valor por 100 para obtener un porcentaje que se ubique en el rango de valores del índice (Tabla 5).

Tabla 5.- Rango de valores para el índice EPT

Calidad de agua	
70-100%	Muy buena
50-74%	Buena
25-49%	Regular
0-24%	Mala

Además se clasificaron las familias por su grupo trófico según Cummins *et al.*, 2005 y se estudió la contribución de cada grupo trófico al total de la comunidad. Las abreviaturas de los grupos funcionales se presentan a continuación en la tabla 6.

Tabla 6.- Grupos tróficos de macroinvertebrados

Grupo trófico	Abreviatura
Colectores- recogedores	CR
Colectores- recogedores- ramoneadores	CR-R
Fragmentadores	F
Colector- filtrador	CF
Depredador	D
Ramoneador	R

2.6. Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados mediante el programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versión 15.0, se realizó un análisis de correlaciones entre las abundancias de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y las variables físico químicas, por medio del coeficiente Pearson.

Con el programa R versión 3.2.0 (R Core Team, 2015), se efectuó un análisis canónico de correspondencias, el cual agrupa las estaciones en función de los taxones presentes y sirve para identificar las variables físicas o físico químicas que están influenciando la distribución de los taxones.

Las representaciones gráficas de los resultados de los índices BMWP, EPT y análisis de grupos tróficos se realizaron con el programa SigmaPlot 10.0.

3. ANALISIS DE RESULTADOS

3.1. Caracterización del hábitat

En el gráfico 3 se observan los resultados de la caracterización del sustrato, en donde con respecto al ángulo de apertura se evidencia que éste es menor en P1 y va aumentando a lo largo del río, principalmente en P2 y P6.

En cuanto a las piezas de madera, es notorio que su cantidad aumenta significativamente en las estaciones P3 con un total de 25 por cada 100 metros y en P7 con 21 cada 100 metros. Las cuales son estaciones ubicadas después de los centros poblados Carlos Concha y Vuelta Larga respectivamente.

La composición del lecho se conforma principalmente de arenas y limos en la mayoría de las estaciones con un porcentaje de 47 ± 18 %, a excepción de P2 y P5 cuyo sustrato mayor es la grava con un porcentaje de 28 ± 13 %, en conjunto con arenas y limos y cantos rodados. El porcentaje de rocas se presenta en menor cantidad, con mayor presencia en P1 con un porcentaje de 11% y en P5 con 10, 4%.

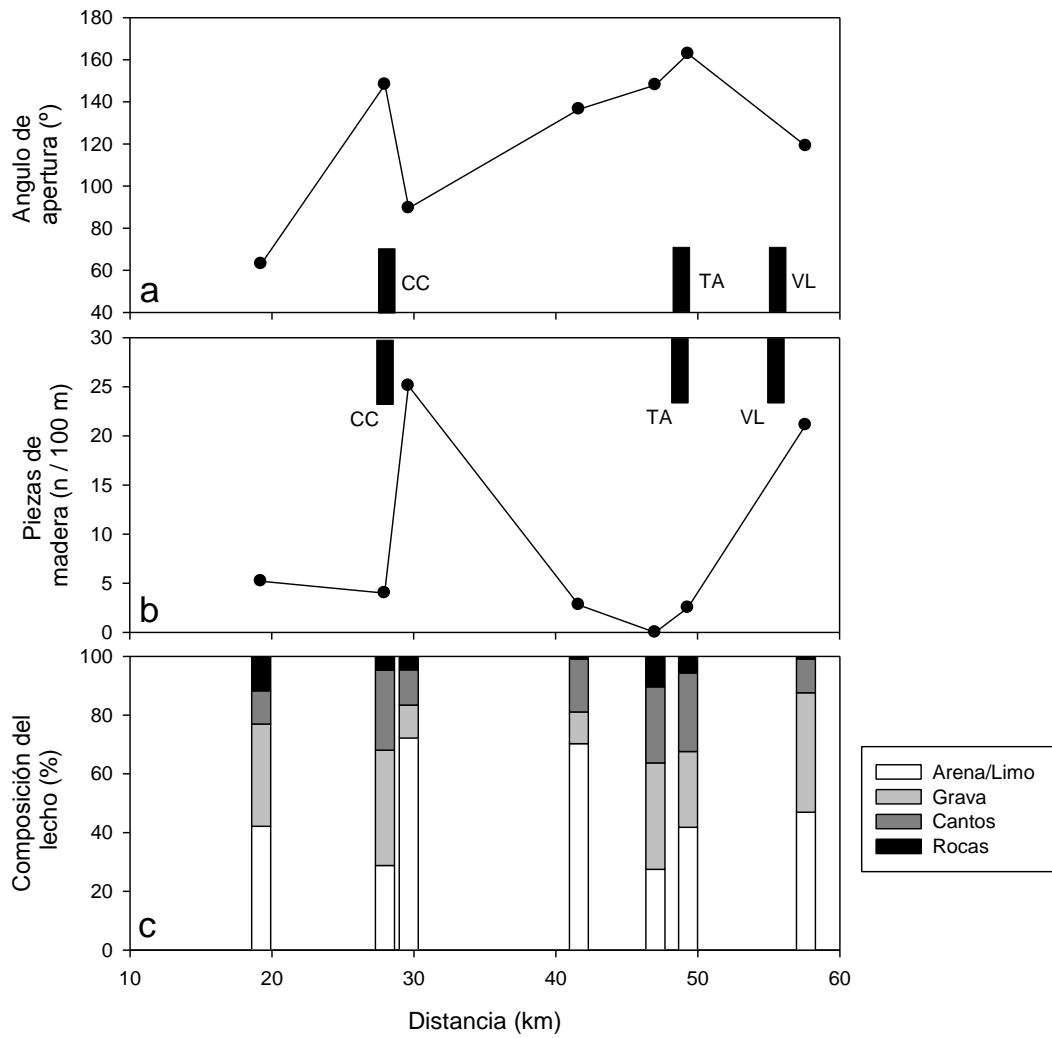


Gráfico 3.- Angulo de apertura (a), número de piezas de madera (b) y composición del sustrato (c) en las estaciones de muestreo.

Se muestra además la situación de los centros de población (CC, Carlos Concha; TA, Tabiazo; VL, Vuelta Larga)

3.2. Parámetros físico-químicos

En la tabla 7 se presentan los resultados de los parámetros medidos in situ en los puntos de muestreo. El caudal a lo largo del cauce presentó una media de $2130 \pm 1361,5$ l/s, con un máximo de 4274 l/s en P4 y un caudal mínimo de 352 l/s en A3, en los afluentes fue menor que en el resto de estaciones de muestreo. La temperatura promedio fue de 30 ± 2 °C, con una temperatura máxima de 33,5°C en A1 y temperatura mínima de 26,3°C en P1. La conductividad media fue de $373,3 \pm 196,7$ uS/cm en todo el cuerpo de agua, con un valor máximo de 900 uS/cm en A3 y mínimo de 250 uS/cm en P5.

Con respecto al oxígeno disuelto en agua se observaron valores que van entre 7 mg/l hasta 9 mg/l en porcentajes de saturación entre 90% y 110%. El valor de potencial de hidrógeno fue constante a lo largo del gradiente longitudinal 7 y 7,5, presentando un cambio en el A3 en donde fue de 8,5. La turbidez en el P1 fue de 0 y fue variando en las estaciones intermedias, posteriormente se observó un notable aumento en las dos últimas estaciones P6 y P7 y en el A1.

Tabla 7.- Parámetros físico-químicos en las estaciones de muestreo y afluentes considerados para el estudio

Estaciones	Caudal (l/s)	Temperatura (°C)	Conductividad (uS/cm)	O2 (mg/l)	O2 (% sat)	pH	Turbidez (FAU)
P1	1244	26,3	270	7,29	90,7	7,0	0
P2	1834,8	31,2	293	6,27	106,0	7,0	4
P3	2256,5	31,4	296	7,36	106,7	7,5	6
P4	4274,3	28,7	309	8,95	106,0	7,0	4
P5	2654,5	29,8	250	6,87	91,6	7,0	3
P6	3947,1	29,4	412	9,08	109,9	7,5	7
P7	3012,8	31,9	472	6,78	108,0	7,5	8
A1	1345,3	33,5	277	6,00	99,5	7,0	9
A2	380	29,0	284	7,25	91,7	7,5	6
A3	352	29,9	900	8,46	109,6	8,5	4

Con respecto a los análisis químicos realizados en laboratorio que se muestran en la tabla 8, se halló que el nitrato tuvo valores bajos en la zona alta 0,05 mg/l, altos en la zona media 0,38 mg/l y al final en el tramo bajo volvió a disminuir 0,05 mg/l. Sin embargo en el A2 presentó un valor máximo de 1,12 mg/l.

Los valores del nitrito responden al gradiente longitudinal con valores mínimos de 3 ug/l en la zona alta y 15 ug/l en la estación P7 correspondiente a las zona baja, mientras que en el A2 se presentó un valor máximo de 22 ug/l.

El fosfato expresó valores ascendentes hasta P5 y posteriormente dichos valores decrecieron en la zona del tramo bajo de la subcuenca. El valor máximo se presentó en el A3 con 0,89 mg/l.

Tabla 8.- Parámetros químicos analizados en las estaciones y los afluentes principales del cuerpo de agua de estudio.

Estaciones	Nitrato (mg/l)	Nitrito (ug/l)	Fosfato (mg/l)	Hierro (mg/l)
P1	0,05	3	0,58	0,02
P2	0,18	3	0,74	0,08
P3	0,23	5	0,73	0,04
P4	0,38	9	0,79	0,09
P5	0,05	3	0,87	0,08
P6	0,05	11	0,60	0,05
P7	0,28	15	0,72	0,09
A1	0,73	16	0,58	0,12
A2	1,12	22	0,72	0,04
A3	0,05	3	0,89	0,00

3.3. Macroinvertebrados

En la tabla 9 se observa que en las muestras identificadas es notable la presencia constante de algunos taxones como Leptophlebiidae, Baetidae (Orden Ephemeroptera) y Elmidae (Orden Coleoptera), seguidos de otras familias con menor abundancia como Leptohyphidae (Orden Ephemeroptera), Hydropsichidae (Orden Trichoptera) y Chironomidae (Orden Diptera), siendo el taxón Leptophlebiidae aquel con la mayor abundancia total dentro de las muestras recogidas, con un total de 656 individuos de 1194.

En los distintos puntos muestreados se encontraron diferencias entre aquellas estaciones ubicadas en el tramo alto del cauce y las del tramo bajo. En el punto control P1 ubicado en Morachigue, se halló menor abundancia de individuos que en los puntos P3 y P4 pertenecientes a Carlos Concha, que fueron las estaciones con mayor abundancia de individuos hallados en el total de las muestras, pero presentaron menor número de taxones que en el punto control P1. Los puntos con menor abundancia de organismos fueron el P5 y el P7 ubicados en Tabiázo antes del centro poblado y Vuelta Larga respectivamente.

Tabla 9.- Abundancias de las familias presentes en los puntos de muestreo

Orden	Familia o Taxón	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	Total individuos por familia	Grupo trófico
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	49	128	162	120	57	109	31	656	CR
	Leptoxyphidae	5	28	21	7	2	4	1	68	CR
	Baetidae	17	17	40	14	14	13	6	121	CR-R
Trichoptera	Hydropsichidae	10	18	51	8	2	6	-	95	CF
	Leptoceridae	1	-	-	-	-	-	-	1	CR
	Policentropodidae	-	1	-	-	-	-	-	1	D
	Philopotamidae	2	-	-	-	-	-	-	2	CF
Odonata	Coenagrionidae	2	2	7	3	-	1	-	15	D
	Libellulidae	2	-	-	1	-	-	-	3	D
	Aeshnidae	-	1	-	-	-	-	-	1	D
	Gomphidae	-	1	2	1	-	-	-	4	D
Coleoptera	Psephenidae	1	2	1	-	-	-	-	4	R
	Elmidae	10	42	18	22	9	11	3	115	CR-R
	Hydrophilidae	2	-	-	1	-	-	-	3	D
	Ptylodactilidae	1	-	-	-	-	-	-	1	F
Heteroptera	Naucoridae	4	-	1	-	-	1	-	6	D
	Corixidae	1	-	-	-	-	-	-	1	D
Megalóptera	Corydalidae	2	3	3	3	1	-	-	12	D
Lepidóptera	Pyralidae	1	-	-	-	-	-	-	1	F
Veneroidea	Corbiculidae	1	1	-	1	1	-	3	7	CF
Basommatophora	Thiaridae	-	1	-	-	2	3	4	10	F
Diptera	Chironomidae	29	6	2	8	6	3	1	55	CR
	Ceratopogonidae	1	1	-	-	-	-	-	2	D
	Tipulidae	-	-	-	1	-	-	1	2	F
	Limonidae	-	3	-	-	1	-	-	4	F
	Psichodidae	-	-	-	-	-	-	1	1	CR
Decapoda	Palaemonidae	-	-	-	-	-	-	3	3	F
Total Individuos por muestra		141	255	308	190	95	151	54	1194	

3.3.1. *Abundancia, Riqueza y Diversidad (H')*

En el análisis de abundancia, riqueza y diversidad presentado en la tabla 10, se halló que P1 tuvo la mayor riqueza con un valor de 19 especies dentro del estudio; posteriormente la riqueza desciende hasta llegar a 9 especies en P6. La abundancia mayor se encontró en P3, en donde la familia representativa fue Leptophlebiidae con mayor cantidad de individuos y se observa que la mayor abundancia se concentra en las estaciones pertenecientes al tramo alto de la subcuenca. El índice de diversidad de Shannon mostró que el P1 cuenta con la mayor diversidad 2,9. De igual manera la mayor diversidad se encuentra en los puntos altos del cauce P1 y P2 y desciende en respuesta al gradiente longitudinal en P5, P6 Y P7.

Tabla 10.- Riqueza, abundancia y diversidad halladas en los puntos de muestreo

Estaciones	Riqueza	Abundancia	Diversidad H'
P1	19	141	2,9
P2	16	255	2,3
P3	11	308	2,1
P4	13	190	2
P5	10	95	2
P6	9	151	1,7
P7	10	54	1,8

3.3.2. *Índice BMWP*

De acuerdo con el índice BMWP, se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 11 que establecen que en el P1 la calidad del agua es “muy buena”, mientras que en Carlos Concha solo es “buena”. Los P3, P4 Y P6 tienen un nivel de calidad “aceptable”, lo cual nos ayuda a determinar que las aguas se encuentran medianamente contaminadas. Por último, el P5 y el P7, tienen una calidad de agua “dudosa”, que nos advierte que las aguas están contaminadas según la presencia y ausencia de ciertos taxones.

Tabla 11.- Valores índice BMWP

Estaciones	BMWP	Interpretación	Calidad del agua
P1	130	Aguas muy limpias	Muy buena
P2	102	Aguas limpias	Buena
P3	82	Aguas medianamente contaminadas	Aceptable
P4	79	Aguas medianamente contaminadas	Aceptable
P5	56	Aguas contaminadas	Dudosa
P6	62	Aguas medianamente contaminadas	Aceptable
P7	54	Aguas contaminadas	Dudosa

Según los valores del índice BMWP, los niveles de calidad decrecen a lo largo del gradiente longitudinal entre las estaciones ubicadas en el tramo alto y aquellas ubicadas en el tramo bajo, principalmente después de la localización de los núcleos de población (Gráfico 5).

En el BMWP se muestra que existe un pequeño decrecimiento del valor después de los centros poblados, en el caso de Carlos Concha y Vuelta Larga.

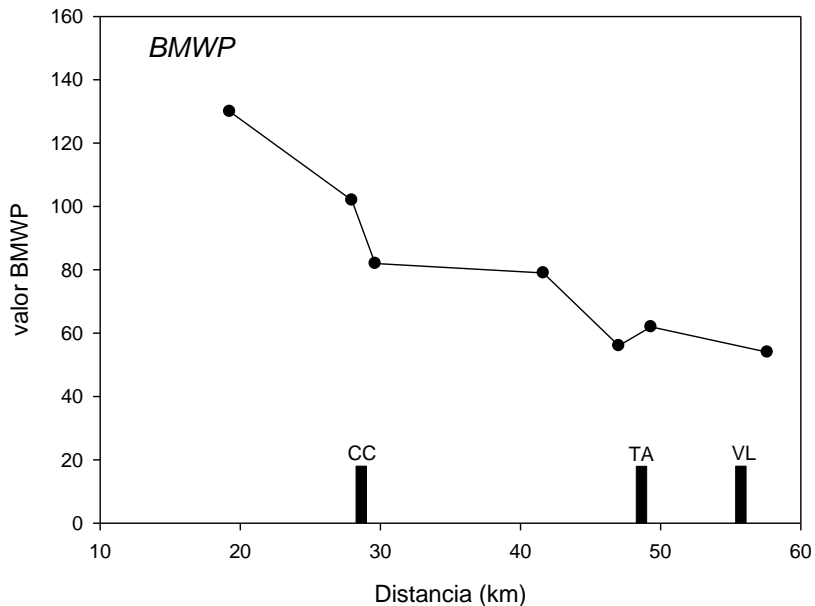


Gráfico 4.- Índice BMWP hallado en las estaciones de muestreo

(CC. Carlos Concha, TA. Tabiazo, VL. Vuelta Larga)

3.3.3. Índice EPT

Los valores obtenidos del índice EPT expresan que la calidad de agua en el P1 y el P7 es “buena” y en las estaciones restantes P2, P3, P4 y P5 es “muy buena” (Tabla 12).

Tabla 12.- Valores índice EPT

Estaciones	ETP	Calidad del agua
P1	59,57	Buena
P2	75,29	Muy buena
P3	88,96	Muy buena
P4	78,42	Muy buena
P5	78,94	Muy buena
P6	87,41	Muy buena
P7	70,37	Buena

Según los valores del índice EPT los porcentajes de individuos pertenecientes a las familias Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera son menores en las estaciones P1 y P7. Además se observó (Gráfico 6) que los porcentajes de las familias EPT presentes en el cuerpo de agua ascendieron a lo largo del gradiente longitudinal, presentando un mayor porcentaje en el P3 ubicado después del núcleo de población “Carlos Concha” y en el P6 ubicado después del centro poblado “Tabiazo”; posteriormente los valores descendieron.

Después de la ubicación de los centros poblados existe un aumento del índice, los valores más altos se observan después de haber pasado los núcleos de población.

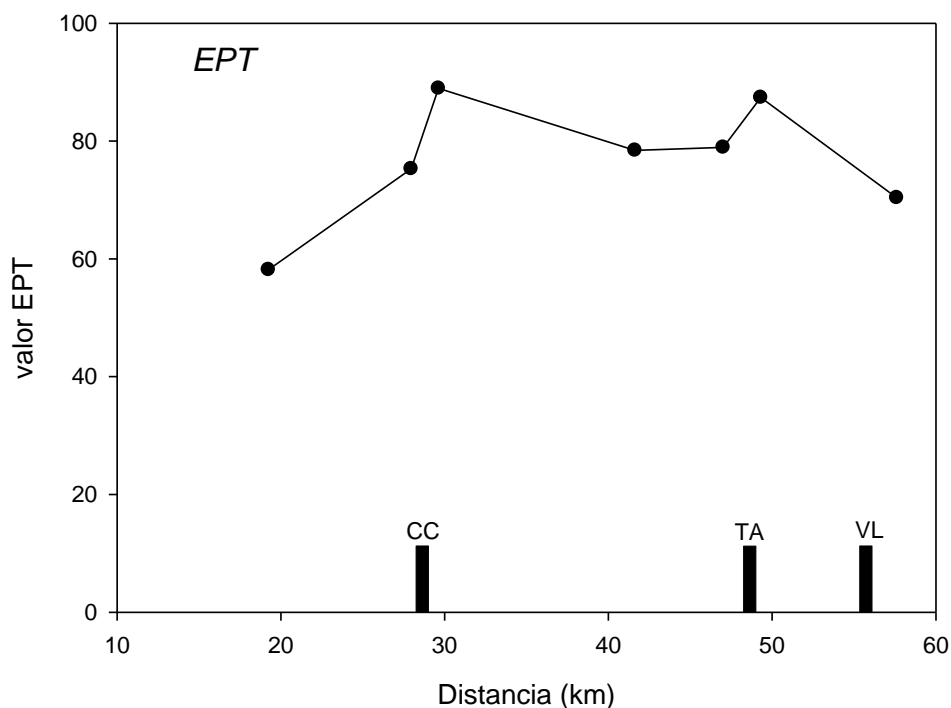


Gráfico 5.- Porcentaje de EPT presentes en las estaciones del río Teane

En la tabla 13 se muestran los resultados del análisis del índice EPT en el cauce estudiado. Presenta un porcentaje del 79%, indicando que la calidad del agua en todo el recurso hídrico es “muy buena” en base al porcentaje de familias EPT presentes en el mismo.

Tabla 13.- Calidad en todo el cuerpo de agua según índice EPT

Orden	Familia o Taxón	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	7	Total individuos por familia	EPT presentes	
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	49	128	162	120	57	109	31	656	656	
	Leptohyphidae	5	28	21	7	2	4	1	68	68	
	Baetidae	17	17	40	14	14	13	6	121	121	
Trichoptera	Hydropsichidae	10	18	51	8	2	6	-	95	95	
	Leptoceridae	1	-	-	-	-	-	-	1	1	
	Policentropodidae	-	1	-	-	-	-	-	1	1	
	Philopotamidae	2	-	-	-	-	-	-	2	2	
Odonata	Coenagrionidae	2	2	7	3	-	1	-	15		
	Libellulidae	2	-	-	1	-	-	-	3		
	Aeshnidae	-	1	-	-	-	-	-	1		
	Gomphidae	-	1	2	1	-	-	-	4		
Coleoptera	Psephenidae	1	2	1	-	-	-	-	4		
	Elmidae	10	42	18	22	9	11	3	115		
	Hydrophilidae	2	-	-	1	-	-	-	3		
	Ptylodactilidae	1	-	-	-	-	-	-	1		
Heteroptera	Naucoridae	4	-	1	-	-	1	-	6		
	Corixidae	1	-	-	-	-	-	-	1		
Megaloptera	Corydalidae	2	3	3	3	1	-	-	12		Calidad de agua
Lepidoptera	Pyralidae	1	-	-	-	-	-	-	1		70-100% Muy buena
Bivalvia	Corbiculidae	1	1	-	1	1	-	3	7		50-74% Buena
Basommatophora	Thiaridae	-	1	-	-	2	3	4	10		25-49% Regular
Diptera	Chironomidae	29	6	2	8	6	3	1	55		0-24% Mala
	Ceratopogonidae	1	1	-	-	-	-	-	2		
	Tipulidae	-	-	-	1	-	-	1	2		
	Limonidae	-	3	-	-	1	-	-	4		
	Psichodidae	-	-	-	-	-	-	1	1		
Decápoda	Palaemonidae	-	-	-	-	-	-	3	3		
Total Individuos por muestra		141	255	308	190	95	151	54	1194	944	
EPT total									944/1194=0,7906		
									0,7906x100=79,06%		

3.3.4. Análisis de grupos tróficos

En el análisis de los grupos tróficos (Gráfico 7), se observa que la composición funcional de la comunidad es uniforme a lo largo de todo el cauce y el grupo trófico que concentra el mayor número de taxones dentro de la comunidad de macroinvertebrados es el de los “Colectores- recogedores” con un porcentaje de 66%. Entre ellos se identificaron a Leptophlebiidae, Leptohyphidae y Chironomidae como las familias más representativas de este grupo dietario. Los ramoneadores son el grupo que se encuentra en menor porcentaje de biomasa con una media de $0,26 \pm 0,33$ % del total de las muestras obtenidas en todos los puntos y aparecen únicamente en las estaciones P1, P2 y P3, la única familia presente de este grupo funcional es Psephenidae. Los “depredadores” componen la comunidad de macroinvertebrados del río Teaone en un 3,54% encontrándose principalmente las familias pertenecientes a los órdenes Odonata y Heteroptera. Los “Colectores- recogedores-ramoneadores”, grupo representado por los taxones Elmidae y Baetidae dentro de las muestras, presentan un porcentaje medio de $19,55 \pm 2,86$ % y están presentes en todas las estaciones, por último los fragmentadores tienen una media del $3,35 \pm 4,81$ % y los colectores filtradores 7,24%.

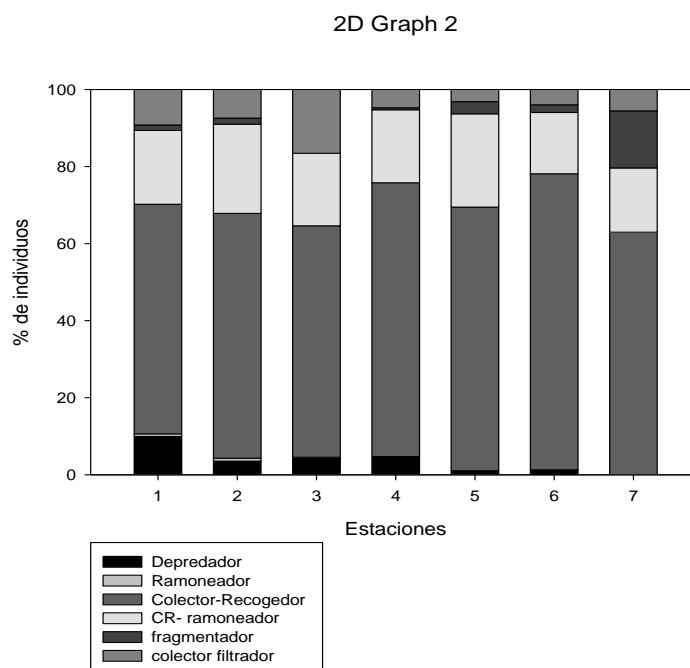


Gráfico 6.- Análisis de los grupos tróficos

3.3.5. *Correlaciones*

Con respecto al análisis de correlaciones se muestra en la tabla 16 que existen pocos taxones que se relacionan con las variables físico-químicas, como es el caso de Leptoceridae, Philopotamidae, Ptylodactilidae, Corixidae y Pyralidae que tienen una correlación significativa ($p < 0.05$) inversamente proporcional de -0,75 con el ángulo de apertura del cauce y la turbidez; Libellulidae e Hydrophilidae presentan correlación significativa ($p < 0.05$) inversamente proporcional de -0,76 con respecto a la turbidez. La familia Naucoridae se relaciona con el ángulo de apertura del cauce de modo inversamente proporcional -0,76. La familia Thiaridae tiene una correspondencia significativa ($p < 0.05$) de 0,79 con la conductividad y Chironomidae presenta una correlación significativa ($p < 0.05$) inversamente proporcional de -0,87 con respecto a la turbidez. La familia Tipulidae se relaciona con la variable química nitrato con 0,81 y con la variable de composición física del hábitat “Roca” se relaciona de manera inversamente proporcional con un valor de -0,75. Los taxones Psychodidae y Palaemonidae, asociados a P7 se relacionan con la variable de conductividad en un 0,77.

Tabla 14.- Correlaciones entre la abundancia de macroinvertebrados y las variables físico-químicas.

(APE, ángulo de apertura del cauce; COND, conductividad; O2, oxígeno disuelto; OSAT, porcentaje de saturación de oxígeno; NITA, nitrato; NITI, nitrito; FOSF, ortofosfato; TURB, turbidez; CANT, porcentaje de cantos rodados; ROCA, porcentaje de rocas; AREN, porcentaje de arenas; MADH, densidad de piezas de madera)

	APE	COND	O2	OSAT	pH	NITA	NITI	FOSF	TURB	CANT	ROCA	AREN	MADH
Leptophlebiidae	0.15	-0.26	0.28	0.51	0.13	0.29	-0.24	0.07	0.19	0.21	-0.32	0.49	0.14
Leptohyphidae	-0.02	-0.35	-0.36	0.30	-0.09	0.18	-0.48	0.07	-0.02	0.16	-0.16	0.08	0.20
Baetidae	-0.44	-0.45	-0.06	0.06	0.21	0.04	-0.47	0.01	-0.05	-0.26	0.10	0.51	0.48
Hydropsichidae	-0.41	-0.32	-0.11	0.23	0.29	0.17	-0.36	-0.02	0.08	-0.29	-0.07	0.54	0.59
Leptoceridae	-0.75	-0.32	-0.09	-0.66	-0.35	-0.42	-0.37	-0.60	-0.75	-0.45	0.65	-0.12	-0.15
Policentropodidae	0.30	-0.19	-0.50	0.18	-0.35	0.02	-0.37	0.09	-0.09	0.48	-0.09	-0.45	-0.20
Philopotamidae	-0.75	-0.32	-0.09	-0.66	-0.35	-0.42	-0.37	-0.60	-0.75	-0.45	0.65	-0.12	-0.15
Coenagrionidae	-0.46	-0.34	0.12	0.24	0.20	0.34	-0.29	-0.04	0.01	-0.39	-0.17	0.74	0.52
Libellulidae	-0.64	-0.36	0.19	-0.55	-0.51	-0.07	-0.27	-0.43	-0.76	-0.45	0.39	0.16	-0.27
Aeshnidae	0.30	-0.19	-0.50	0.18	-0.35	0.02	-0.37	0.09	-0.09	0.48	-0.09	-0.45	-0.20
Gomphidae	-0.19	-0.32	-0.02	0.39	0.11	0.52	-0.27	0.24	0.13	-0.18	-0.38	0.65	0.47
Psephenidae	-0.27	-0.42	-0.56	-0.04	-0.28	-0.09	-0.62	-0.18	-0.34	0.05	0.18	-0.19	0.08
Elmidae	0.25	-0.40	-0.20	0.26	-0.42	0.23	-0.46	0.17	-0.16	0.43	-0.20	-0.07	-0.22
Hydrophilidae	-0.64	-0.36	0.19	-0.55	-0.51	-0.07	-0.27	-0.43	-0.76	-0.45	0.39	0.16	-0.27
Ptylodactilidae	-0.75	-0.32	-0.09	-0.66	-0.35	-0.42	-0.37	-0.60	-0.75	-0.45	0.65	-0.12	-0.15
Naucoridae	-0.76	-0.26	0.05	-0.52	-0.12	-0.49	-0.33	-0.74	-0.61	-0.45	0.65	0.00	-0.04
Corixidae	-0.75	-0.32	-0.09	-0.66	-0.35	-0.42	-0.37	-0.60	-0.75	-0.45	0.65	-0.12	-0.15
Corydalidae	-0.30	-0.69	-0.11	-0.05	-0.48	0.40	-0.61	0.22	-0.44	-0.12	-0.06	0.41	0.02
Pyralidae	-0.75	-0.32	-0.09	-0.66	-0.35	-0.42	-0.37	-0.60	-0.75	-0.45	0.65	-0.12	-0.15
Corbiculidae	-0.07	0.48	-0.44	-0.01	0.00	0.36	0.49	0.18	0.19	-0.35	-0.32	-0.19	0.24
Thiaridae	0.49	0.79	-0.07	0.31	0.52	-0.15	0.69	-0.03	0.66	0.21	-0.23	-0.43	0.09
Chironomidae	-0.64	-0.47	-0.04	-0.72	-0.57	-0.37	-0.48	-0.47	-0.87	-0.31	0.66	-0.14	-0.35
Ceratopogonidae	-0.35	-0.40	-0.46	-0.37	-0.55	-0.31	-0.57	-0.39	-0.65	0.03	0.43	-0.44	-0.28
Tipulidae	0.07	0.52	0.22	0.37	0.09	0.81	0.72	0.25	0.36	-0.38	-0.75	0.44	0.22
Limoniidae	0.40	-0.34	-0.59	-0.02	-0.47	-0.12	-0.49	0.31	-0.18	0.62	0.08	-0.61	-0.33
Psichodidae	-0.06	0.77	-0.30	0.29	0.47	0.36	0.74	0.01	0.56	-0.44	-0.48	0.00	0.55
Palaemonidae	-0.06	0.77	-0.30	0.29	0.47	0.36	0.74	0.01	0.56	-0.44	-0.48	0.00	0.55
	6	3	-	-	-	1	-	-	8	-	1	-	-

3.3.6. Análisis canónico de correspondencias

En este análisis los tres primeros ejes de correspondencia explican el 88% de la variabilidad en la distribución de los macroinvertebrados. El primer eje está correlacionado con el ángulo de apertura del cauce, el segundo con la conductividad y el tercero con variables representativas del hábitat físico del río (Tabla 14).

Tabla 15.- Resultados del análisis de correspondencias canónicas de la abundancia de macroinvertebrados.

(COND, conductividad; TURB, turbidez; FOSF, ortofosfato; APER, ángulo de apertura; variables no correlacionadas con los ejes: NITA, nitrato). 90 % de la inercia total explicada por los cca.

	CCA1	CCA2	CCA3
Eigenvalor explicado	0.44	0.30	0.14
Eigenvalor acumulado	0.44	0.75	0.88
	(0.596) APER	(0.614) COND	(0.795) GRUE (0.764) APER
			(-0.946) MADE (-0.669) AREN

El análisis de correspondencias muestra una separación entre la estación de control P1 y las demás estaciones a lo largo del eje CCA1, correlacionado con el ángulo de apertura (APER), indicando que la diferencia de anchura entre P1 y las demás estaciones es un factor importante que determina la distribución de los macroinvertebrados (Gráfico 8a). También muestra que la estación P7 se encuentra separada del resto de estaciones a lo largo del eje CCA2, correlacionado con la conductividad (COND), indicando que la carga de solutos totales sería el segundo factor más importante a la hora de explicar la distribución de los macroinvertebrados en este sistema. El tercer eje del análisis de correspondencias CCA3 está correlacionado con variables que describen el hábitat físico del río (GRUE, APER, AREN,

MADH) y segrega las estaciones P2 y P7 del resto de estaciones, aunque se trata de un factor menor que sólo explica menos del 15 % de la variabilidad en la distribución de los macroinvertebrados (Gráfico 8b).

En el cauce existen cinco grupos definidos de macroinvertebrados (Gráfico 8c, Tabla 15). El grupo I de taxones sólo aparecen en P1 donde el cauce tiene menor ángulo de apertura. El grupo II es independiente del tamaño del cauce pero están limitados a las zonas donde el ángulo de apertura es mayor y donde la conductividad es baja. El grupo IV aparece en las estaciones del cauce principal pero no se ven limitados por la conductividad y finalmente el grupo V está asociado a la estación P7 donde la conductividad es alta. En el Gráfico 8d se observa que los taxones no se encuentran asociados a ninguna de las estaciones con respecto al hábitat físico.

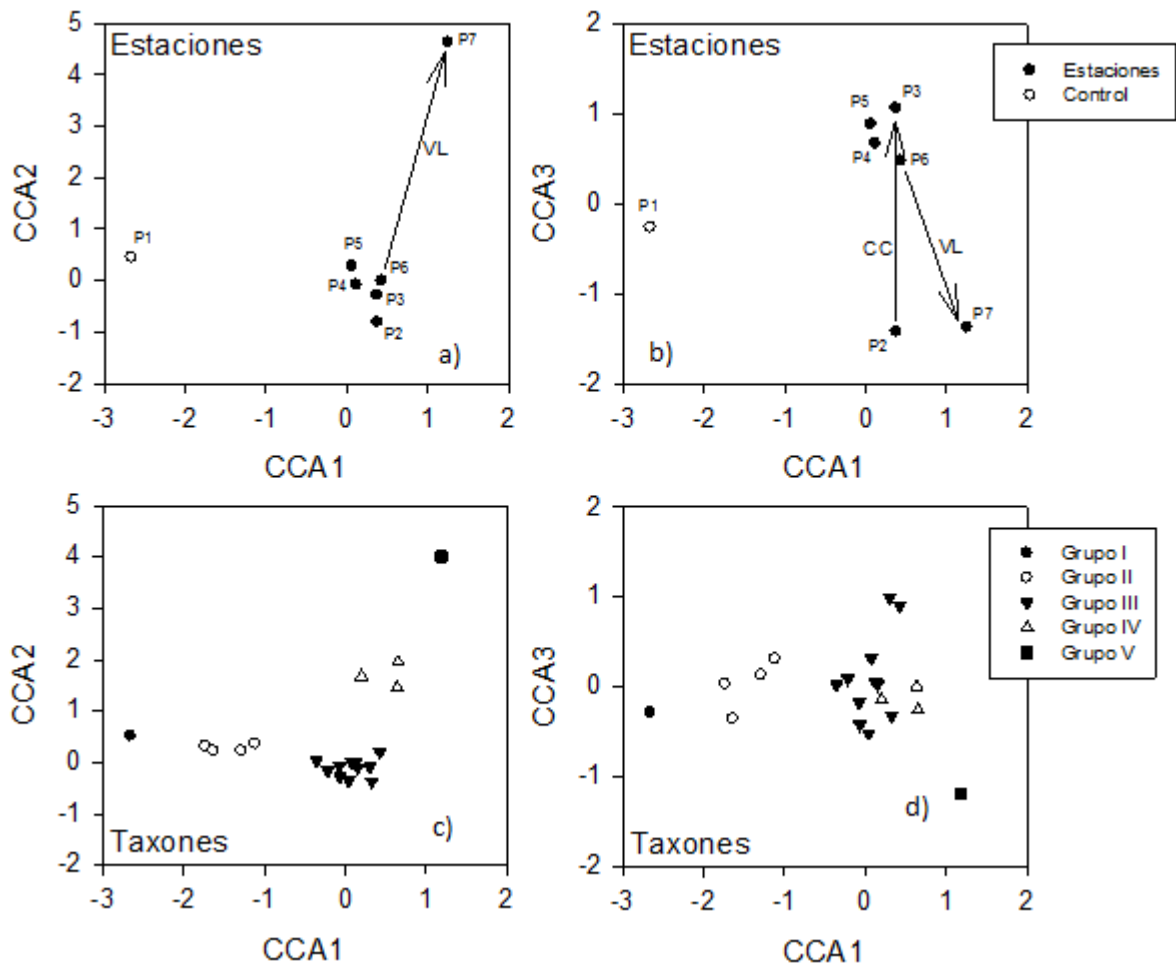


Gráfico 7.- Análisis canónico de correspondencias de los parámetros que explican la variabilidad de la comunidad de macroinvertebrados presentes en el cauce

Tabla 16.- Clasificación de las familias de macroinvertebrados según los resultados del análisis de correspondencias.

	Tributario	Sin preferencia	Cauce principal
Conductividad baja	Grupo I Leptoceridae Philopotamidae Ptylodactilidae Corixidae Pyralidae	Grupo II Libellulidae Hydrophilidae Naucoridae Chironomidae Ceratopogonidae	Grupo III Leptophlebiidae Leptohyphidae Baetidae Hydropsichidae Policrotopodidae Coenagrionidae Aeshnidae Gomphidae Psephenidae Elmidae Corydalidae Limonidae
Sin preferencia	---	---	Grupo IV Corbiculidae Thiaridae Tipulidae
Conductividad alta	---	---	Grupo V Psychodidae Palaemonidae

4. DISCUSIÓN

Los recursos hídricos de aguas corrientes están bajo constante presión como resultado de su requerimiento para el abastecimiento de reservas de agua, suministro, riego y sumidero de descarga de efluentes no tratados provenientes de actividades domésticas e industriales. Es fundamental identificar de manera temprana la calidad que tienen los recursos y los factores que podrían afectarlos, de manera que se pueda mantener la buena calidad del agua (Armitage, *et al.*, 2007).

Los indicadores biológicos representan una herramienta simple y de gran utilidad a la hora de evaluar la calidad de los recursos hídricos, ya que sólo requieren la identificación y cuantificación de los organismos hallados en las muestras, basándose en índices de diversidad adaptados a intervalos de calidad de agua (Vásquez *et al.*, 2006). Pero es importante realizar la evaluación biótica en conjunto con la caracterización físico-química (Reinoso *et al.*, 2007).

Uno de los objetivos planteados en este estudio fue el de observar el efecto de los centros poblados en la calidad de agua del río. Entre P2 y P3 se observó una ligera influencia del núcleo de población Carlos Concha, en la disminución del índice BMWP de 102 a 82 en el puntaje de las familias presentes; al igual que en Vuelta Larga de 62 a 54. No obstante en Tabiazo se evidenció un pequeño aumento de 56 a 62, lo cual no es significativo y podría indicar que la comunidad de macroinvertebrados no se ve tan influenciada por la población aledaña, pues la comunidad de macroinvertebrados es muy parecida. Sin embargo en el caso de P2 y P3 la diferencia es mayor, lo que nos indica que Carlos Concha está teniendo mayor impacto en la comunidad de macroinvertebrados del río en esa zona. Aunque en P3 se haya encontrado mayor abundancia de individuos, el número de familias disminuyó de 16 en P2 a 11 en P3. Según Domínguez *et al.*, (2005); Bahar *et al.*, (2008), existen condiciones naturales en los ríos y aquellas ocasionadas por el hombre como el vertido de aguas domésticas, la agricultura, la ganadería y actividades industriales, que pueden intervenir en la estructura de la comunidad de estos organismos. Por este motivo se pueden evidenciar variaciones después de las poblaciones.

En los resultados presentados en este estudio se observa también que la calidad de agua que existe en el río Teaone coincide cuando se aplican los índices BMWP y de diversidad de Shannon, al igual que en el estudio realizado por Martínez *et al.*, (2014), en el cual se probó el funcionamiento de distintos índices para determinar la calidad de agua de varios esteros de la provincia de Esmeraldas. Como resultado se determinó que ambos índices son los que expresan de mejor manera la realidad de los recursos hídricos en latitudes cercanas.

Sin embargo el índice EPT no refleja la realidad de lo que se observa directamente en el cauce, dado que se basa en la presencia de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, de los cuales el primero y el último son órdenes a los que pertenecen las familias que tienen gran abundancia de individuos dentro de las muestras, como Leptophlebiidae (Ephemeroptera) e Hydropsichidae (Trichoptera). Según Roldán, 2003, una comunidad bajo la presión de la contaminación se caracteriza por poseer un bajo número de especies con un gran número de individuos por especie, lo que podría explicar la abundante presencia de individuos de la familia Leptophlebiidae, Baetidae y Elmidae dentro de las muestras. No obstante, Carrera y Fierro, (2001), explican que existen especies que en su mayoría se encuentran en ríos con ciertas condiciones y tienden a disminuir conforme aumenta el grado de contaminación, por lo que el cauce estudiado al poseer condiciones aptas para su supervivencia, propicia la abundancia de estos órdenes. Por otro lado, no se halló ningún taxón del orden Plecoptera, ya que en corrientes fluctuantes son menos abundantes, motivo por el cual el uso de este tipo de métricas no puede ser adecuado en zonas con estas condiciones (Domínguez y Fernández, 1998).

Otra de las familias más abundantes, son los elmidos, con 115 individuos de un total de 1194 organismos. Estos insectos pertenecientes al orden Coleóptera, poseen mecanismos fisiológicos y morfológicos que les permiten desarrollarse principalmente en hábitats acuáticos (Caupaz, 2006). La mayoría están presentes en cuerpos de aguas corrientes y viven ligados a distintos sustratos hídricos (Arias, 2007). Por lo que el cauce hídrico les proporciona las condiciones para habitar asociados al sustrato acuático.

En un estudio realizado en Colombia (Longo *et al.*, 2010), se presentaron taxones con gran abundancia como Leptophlebiidae, Elmidae, Hydropsichidae y Chironomidae, al igual que en la presente investigación. Según Robson *et al.*, (2005) existen algunas especies que tienen

características que les permiten resistir a los cambios en el hábitat y poseen gran habilidad como colonizadores. Esto se refleja al estudiar la dinámica de la comunidad de macroinvertebrados en estas zonas tropicales. Resultados similares también se presentaron en un estudio realizado entre 1999 y 2001 por Giacometti y Bersosa, 2006, en el río Alambi, ubicado en la provincia de Pichincha en Ecuador. Donde las familias más abundantes fueron Leptophlebiidae, Leptohyphidae, Baetidae pertenecientes al orden Ephemeroptera. Sin embargo, al realizar análisis durante las tres estaciones presentes en la zona (lluviosa, transición y seca), se determinó que el aumento del caudal influye de manera relevante en la presencia de macroinvertebrados, disminuyendo tras las precipitaciones. En nuestro caso, la estación con mayor caudal fue P4, que tiene parte de lecho rocoso y debido a la presencia de una falla geológica aumenta su caudal después de la misma, en donde se realizó la medida del parámetro. En esta estación disminuyó la cantidad de macroinvertebrados, con respecto a las estaciones anteriores cuyo caudal es menor, lo cual concuerda con la conclusión obtenida en el estudio realizado en el río Alambi.

Con respecto al análisis de grupos tróficos que se realizó, se pudo constatar que la composición funcional de la comunidad es uniforme a lo largo de la subcuenca del Teaone. Según Vannote *et al.*, (1980), la estructura física junto con el ciclo hidrológico forma una galería para las respuestas biológicas y resultan en patrones consistentes de la estructura y función de la comunidad a lo largo de la longitud de un río. El grupo funcional más abundante es el de los “colectores”, debido a que son generalistas y se alimentan de lo que logran filtrar de los sedimentos, como materia orgánica particulada fina y ultra fina. Dependen de la biomasa microbiana asociada a las partículas y productos del metabolismo microbiano para su nutrición (Vannote *et al.*, 1980). Son condiciones que encuentran a lo largo del río y logran sobrevivir gracias a la existencia de su alimento y a la facilidad que tienen para acceder a éste.

Los resultados obtenidos de las medidas de parámetros físico-químicos, no presentan valores anormales con respecto a la tabla 3 del anexo 1 del libro VI de calidad ambiental (TULSMA, 2003), que es la normativa vigente y contiene los criterios de calidad de aguas para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios. Sin embargo es necesario realizar análisis de otros parámetros que no se realizaron

en este estudio, para verificar que no existe contaminación por parte de las actividades que se realizan en las cercanías de los centros poblados, como la agricultura, la ganadería, etc.

En lo concerniente a las variables físicas medidas, se halló que el ángulo de apertura del cauce es un factor determinante en la distribución de los macroinvertebrados. El ángulo de apertura es menor en P1 respecto al resto de estaciones, ya que P1 se encuentra ubicada en el tramo alto, antes de que el cauce reciba el caudal del afluente A1, a partir del cual se vuelve más ancho, aumentando su ángulo de apertura. Posteriormente se verifica que la estructura de la comunidad de macroinvertebrados es muy parecida y presenta pocas diferencias en zonas en las que el cauce es más ancho. Otra de las variables físicas importantes es la presencia de piezas de madera, principalmente en P3 Y P7, estaciones ubicadas después de Carlos Concha y Vuelta Larga respectivamente. En Carlos Concha se realiza la tala de árboles forestales, por lo que se hallaron troncos con corte artificial y en menor cantidad con corte natural, paralelos al cauce en las orillas y dentro del mismo. La presencia de éstos representa aportes orgánicos terrestres y tienen importancia en el flujo de energía e influye en la estructura física del cauce (Elosegi et al., 2007). En Vuelta Larga, se encontraron troncos principalmente con corte natural, que probablemente han sido arrastrados por la corriente hasta el tramo bajo. Los troncos de madera ayudan a estabilizar el cauce, reducen el impacto de crecidas sobre los seres que habitan en los ecosistemas acuáticos y proporcionan hábitats para invertebrados y peces (Gregory et al., 2003). Por lo que la presencia de las piezas de madera contribuye positivamente en la comunidad de macroinvertebrados en el río estudiado como se presenta en el análisis canónico de correspondencias.

Otro de los factores determinantes en la distribución de los macroinvertebrados es la conductividad, ya que existen organismos que no soportan altos valores de conductividad, otros que sólo están presentes cuando ésta es alta y otros a los cuales no les afecta su valor. Algunos autores mencionan que las fluctuaciones en la conductividad pueden relacionarse con el flujo de agua, que puede mezclar aguas con distinta composición química (Robson *et al.*, 1992). El aumento de la conductividad se podría ocasionar por vertidos domésticos, de actividades agropecuarias y por el tipo de fondo.

En base a estos datos se puede concluir que los centros poblados influyen de manera poco significativa en esta zona, ya que el río logra mantener la calidad de sus aguas y la inocuidad

de sus hábitats para los seres que residen en ellos. Pero es fundamental que se continúen realizando estudios, que abarquen más estaciones de muestreo y más parámetros físicos, químicos y biológicos en base a la legislación, para poder caracterizar toda la subcuenca y obtener mayor información sobre los factores que podrían llegar a afectar la calidad de estas aguas. Para realizar un manejo sustentable de la subcuenca del río Teaone, es necesario contar con registros y estudios periódicos que indiquen el nivel de calidad de aguas y permitan compararla a través del tiempo. Con esta información se puede tomar decisiones y aplicar medidas de regulación para el aprovechamiento del recurso y de recuperación para la conservación de los ecosistemas degradados.

5. CONCLUSIONES

En la campaña de muestreo se hallaron 1194 individuos, 19 familias pertenecientes a 11 órdenes. La familia más abundante y presente en todas las estaciones fue Leptophlebiidae (orden ephemeroptera) que forma parte de los órdenes en que se basa el índice EPT para obtener el porcentaje de calidad de agua y es una de las familias con mayor puntuación en el índice BMWP. Los resultados obtenidos en base al índice BMWP y el índice de diversidad de Shannon, demostraron que la calidad de agua y la diversidad en las estaciones pertenecientes al tramo alto son mayores que las de las estaciones ubicadas en el tramo bajo.

Se hallaron cinco grupos definidos de macroinvertebrados asociados a las distintas estaciones. El primer grupo es característico del tramo alto en donde el cauce es menos ancho. El segundo grupo tiene como limitante niveles bajos de conductividad, sin importar la anchura del cauce. El tercer grupo aparece en zonas donde el cauce es ancho y la conductividad es baja. El cuarto grupo no se ve limitado por los niveles de conductividad, ya que están presentes en donde es alta y baja. Por último el quinto grupo es característico en los puntos donde la conductividad presentó niveles altos con respecto a las demás estaciones.

Según el análisis de los grupos tróficos se logró determinar que el grupo dietario con mayor representatividad dentro de las muestras es el de los “colectores recogedores”, al cual pertenece el taxón leptophlebiidae que fue el más abundante en todas las estaciones. Esta familia es generalista y se alimenta de lo que encuentra en su hábitat.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar más muestreos por año en el cauce hídrico para mantener registros que indiquen la calidad de agua y contribuyan a un mejor manejo y uso de la subcuenca, ya sea para el mantenimiento y conservación de hábitats del cauce que para el consumo humano. Los índices BMWP y de diversidad de Shannon H' , presentan un buen desempeño en la determinación de la calidad de agua en el Teaone, por lo que se recomienda su aplicación en futuros estudios para poder realizar comparaciones temporales.

Los núcleos poblacionales ubicados en la zona rural no cuentan con sistemas de recolección de aguas residuales, por lo que es necesario implementar un servicio de canalización de aguas grises y negras para que reciban tratamiento previo a su descarga al río para que no afecten la calidad del mismo. Un tratamiento de bajo costo e impacto en el medio ambiente son los humedales artificiales, que son indicados para poblaciones poco extensas como las de este estudio. Este tipo de sistema permite depurar las aguas residuales cargadas con contaminantes principalmente orgánicos, su construcción no requiere mano de obra tecnificada y sus costos de mantenimiento son bajos. Las especies adecuadas para estos sistemas de tratamiento de aguas residuales son los juncos, carrizos, enneas, etc., que actúan como filtro de material suspendido y precipitado y reciclan y transforman los nutrientes presentes.

Se recomienda además la creación de un plan de manejo de la subcuenca para evitar que se degrade y contribuir con su restauración. Regular las actividades forestales en el tramo alto y las actividades agropecuarias en los tramos medio y bajo, para que no afecten la calidad del río.

El uso de los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores es una herramienta sencilla de usar y no requiere de grandes inversiones, sin embargo es fundamental realizar de manera paralela la caracterización físico-química del hábitat en el que se realicen los muestreos, para poder relacionar los resultados e inferir en conclusiones más precisas. Para la realización de estudios de calidad de agua más completos se recomienda abarcar más estaciones e incluir más parámetros físico- químicos dentro de los análisis, de acuerdo con la finalidad de la investigación.

7. BIBLIOGRAFÍA

Alba-Tercedor, J., P. Jáimez-Cuéllar, M. Álvarez, J. Avilés, N. Bonada, J. Casas, A. Mellado, M. Ortega, I. Pardo, N. Prat, M. Rieradevall, S. Robles, C. Sáinz-Cantero, A. Sánchez-Ortega, M. L. Suárez, M. Toro, M. R. Vidal-Abarca, S. Vivas & C. Zamora-Muñoz. (2002). Caracterización de cuencas mediterráneas españolas en base al índice español SBMWP como paso previo al establecimiento del estado ecológico de sus cursos de agua. Libro de Resúmenes del XI Congreso de la Asoc. Esp. Limnología. Madrid, España.

Arias, D, G. Reinoso, G. Guevara & F. Villa. (2007). Distribución espacial y temporal de los coleópteros acuáticos en la cuenca del río Coello (Tolima, Colombia). *Caldasia* 29 (1):177-194.

Armitage, P.D., D. Moss, J.F. Wright & M.T. Furse. (1983). The performance of a new Biological Water Quality Score System based on Macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Wat. Res.* 17: 333-347.

Armitage, P.D. Pardo. Fursel, M.T. Wright, J.F. (2007). Evaluación y predicción de la calidad biológica. Aplicación en dos ríos españoles de un método inglés basado en los macroinvertebrados. Institute of Freshwater Ecology, River Laboratory, East Stoke, Wareharn, Dorset BH20 6BB, England. Departamento de Biología Animal, Facultad de Biología, Universidad de Santiago. Spain.

Bahar, M.M.; H. Ohmori & M. Yamamuro. (2008). Relationship between river water quality and land use in a small river basin running through the urbanizing area of Central Japan. *Limnology* 9: 19-26.

Bartram, J. Ballance, R. (1996). Monitoreo de la calidad del agua: una guía práctica para diseñar e implementar estudios y programas de monitoreo de la calidad de aguas dulces. PNUMA/OMS.

Biósfera, Consultora Ambiental. (2011). Estudio de Impacto Ambiental Ex - Post Centro De Acopio De Cilindros De Glp – Esmeraldas.

Carrera C. y Fierro K. (2001). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua: Manual de monitoreo. EcoCiencia. Quito, Ecuador. 67 p.

Caupaz, F. (2006). Estudio de los coleópteros acuáticos de las cuencas de los ríos Prado y la parte baja de Amoyá en el departamento del Tolima. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad del Tolima. Facultad de Ciencias. Programa de Biología. Ibagué. 202p.

Chang, José. (2009). Calidad de Agua. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar. Guayaquil – Ecuador.

Cummins, Kenneth W. Merrit, Richard W. Andrade, Priscila. (2005). The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil. Studies on neotropical fauna and environment. Taylor & Fancis group Ltd.

Diehl, S. & R. Kornijów. (1997). Influence of submerge macrophytes on trophic interactions among fish and macroinvertebrates.

Domínguez, Eduardo. Fernández, Hugo. (1998). Calidad de los ríos de la Cuenca del Salí (Tucumán, Argentina) medida por un índice biótico, Serie Conservación de la Naturaleza. No. 12, Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina.

Domínguez, Eduardo. Fernández, Hugo. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo. Tucumán- Argentina. 656 p.

Domínguez L., Goethals P. y De Pauw N. (2005). Aspectos del ambiente físico - químico del río Chaguana: un primer paso en el uso de los macroinvertebrados bentónicos en la evaluación de su calidad de agua. Revista Tecnológica ESPOL no. 18: 127-134.

Elosegi, Arturo. Díez, Joserra. Pozo, J. (2007). Contribution of dead Wood to the carbon flux in forested streams. Earth surface processes and landsforms 32: 1219-1228.

Elosegui, Arturo. Díez, Joserra. (2009). Conceptos y técnicas en Ecología fluvial: la estructura física de los cauces fluviales. Primera edición, pág. 77-81. Fundación BBVA, País Vasco- España.

FAO. (2003). Los fertilizantes, en cuanto contaminantes del agua: lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Depósito de documentos de la FAO.

Kauffman, L., (1992). Catastrophic change in species-rich freshwater ecosystems. The lessons of lake Victoria Bioscience.

GAD Cnel. Carlos Concha. (2014). Plan De Trabajo 2014 – 2019. Parroquia Rural Crol. Carlos Concha Torres, Cantón y Provincia Esmeraldas.

GAD Tabiazo (2012). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2012- 2022. Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Tabiazo.

Giacometti, Juan. Bersosa, Fabián. (2006). Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. Escuela de Biología Universidad Central del Ecuador. Boletín Técnico 6, Serie Zoológica 2: 17-32. Sangolquí – Ecuador.

Longo, Magnolia. Zamora, Hilldier. Guisande, Cástor. Ramírez, John Jairo. (2010). Dinámica de la comunidad de macroinvertebrados en la quebrada Potrerillos (Colombia): Respuesta a los cambios estacionales de caudal. Asociacion Ibérica de Limnología, Madrid. Spain. ISSN: 0213-8409

Maroñas M. E., G. Marzorratti, A. Vilches, T. Legarralde y G. Garrigan. (2010). Guía para el estudio de macroinvertebrados. Serie Didáctica N.12. Buenos Aires (Argentina).

Martínez- Sanz, Carlos. (2012). Los macroinvertebrados bentónicos, una buena herramienta para el gestor ambiental. Revista de Gestión Ambiental Pontificia Universidad Católica del Ecuador, sede Esmeraldas.

Martinez-Sanz, Carlos. (2013). Guía para el reconocimiento de los principales grupos de macroinvertebrados fluviales de Esmeraldas- Ecuador. Escuela de Gestión Ambiental. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas. Número especial de anuario de Investigación y desarrollo (CID). ISSN: 1390-7212. 59 pp.

Martínez- Sanz, Carlos. Puente, Sara María. Rebolledo, Eduardo. Jiménez, Pedro. (2014). Macroinvertebrate Richness Importance in Coastal Tropical Streams of Esmeraldas (Ecuador) and its Use and Implications in Environmental Management Procedures. Faculty

of Environmental Science, Pontifical University Catholic of Ecuador in Esmeraldas (PUCESE).

Ministerio del Ambiente Ecuador. (2015). Acuerdo Ministerial 028. Registro oficial de la Administración del sr. Ec. Rafael Correa Delgado, Presidente Constitucional de la República. Edición Especial N° 270.

Medina- Tafur, César. (2008). El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), modificado y adaptado a tres microcuencas del Alto Chicama. La Libertad. Perú.

Mosquera Q., Guillermo. (2013). Las descargas de aguas residuales y la normativa en materia ambiental para evitar la contaminación de los ríos de esmeraldas. Gaceta Educativa Coordinadora Andina de los Derechos Humanos (Cadhu). Esmeraldas.

Ordeix, Marc. Camprodon, Jordi. Guixé, David. (2012). Metodologías de diagnosis y evaluación del estado ecológico y la biodiversidad en restauraciones fluviales. En: Restauración y gestión ecológica fluvial. Un manual de buenas prácticas de gestión de ríos y riberas.

Oscoz J., Campos F. & Escala M.C. (2006). Variación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en relación con la calidad de las aguas. Madrid, España.

Plafkin, J.L., M.T. Barbour, K.D. Porter, S.K. Gross & R.M. Hughes. (1989). Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: Benthic macroinvertebrates and fish. Report number EPA 444-4-89-001. US EPA, Washington, 170p.

R Core Team (2015). R: A Language and Environment for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>

Reinoso, G., G. Guevara, M. Vejarano, J. García & F. Villa. (2007). Evaluación del río Prado a partir de los macroinvertebrados y de la calidad del agua. Revista de la asociación Colombiana de Ciencias Biológicas 19:141-154.

Robson, A., C. Neal, C.J. Smith & S. Hill. (1992). Shortterm variations in rain and stream water conductivity at a forested site in mid-Wales: Implications for water movement. *Science of the Total Environment* 119(0): 1 - 18.

Robson, B. J., M. Hogan & T. Forrester. (2005). Hierarchical patterns of invertebrate assemblage structure in stony upland streams change with time and flow permanence. *Freshwater Biology*, 50: 944-953.

Roldán, G. (1996). Guía para el estudio de Macroinvertebrados Acuáticos en el Departamento de Antioquia. Pama Editores Ltda. Bogotá, Colombia. pg. 217.

Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad de agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col. Colombia. Editorial Universidad de Antioquia. 164 p.

Sabater S. & Elozegi A. (2009). La importancia de los Ríos, *Ecología Fluvial*, Primera Edición, pág. 15-21 Fundación BBVA, País Vasco- España.

Shannon, C.E.; Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana: University of Illinois Press. 125p.

Tufiño, Paúl. Páliz, María. (2012). Manual de campo para el monitoreo de macroinvertebrados acuáticos. SENAGUA, SIMBIOE. Quito, Ecuador. 135p.

TULAS. (2003). Libro VI de Calidad Ambiental: Anexo 1 Norma De Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Decreto Ejecutivo No. 1589, publicado en Registro Oficial 320 de 25 de Julio del 2006. Ecuador.

Vannote, R.L. Minshall, G. W. Cummins, K. W. Sedell, J. R. and Cushing, C. E. (1980). The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci* 37: 130 – 137.

Vázquez G., Castro G., González I., Pérez R. y Castro T. (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. 7 p.

Zamora, H. (1999). Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia. *Rev. Unicauca-Ciencia*, 4: 47-60. Colombia.

Wentworth, Chester K. (1922). A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. The University of Chicago Press. *The Journal of Geology*, Vol. 30, No. 5 (Jul. - Aug., 1922), pp. 377-392

Anexo I. Tablas de abundancia de macroinvertebrados por estación e imágenes de las estaciones de muestreo

Tabla 1.- Cálculo de los índices BMWP y EPT en P1

Orden	Familia	P 1	BMWP	EPT Presentes
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	49	9	49
	Leptohyphidae	5	7	5
	Baetidae	17	8	17
Trichoptera	Hydropsichidae	10	8	10
	Leptoceridae	1	8	1
	Philopotamidae	2	9	2
Odonata	Coenagrionidae	2	9	-
	Libellulidae	2	6	-
Coleoptera	Psephenidae	1	10	-
	Elmidae	10	7	-
	Hydrophilidae	2	4	-
	Ptylodactilidae	1	10	-
Heteroptera	Naucoridae	4	7	-
	Corixidae	1	7	-
Megaloptera	Corydalidae	2	6	-
Lepidoptera	Pyralidae	1	9	-
Veneroida	Corbiculidae	1		-
Diptera	Chironomidae	29	2	-
	Ceratopogonidae	1	4	-
Total individuos por muestra		141	-	84
Total BMWP y EPT			130	84/141=0.5957 0,5957x100=59,57%



Imagen 1.- Familias representativas de la estación P1

Tabla 2.- Cálculo de los índices BMWP y EPT en P2

Orden	Familia	P 2	BMWP	EPT presentes
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	128	9	128
	Leptohyphidae	28	7	28
	Baetidae	17	8	17
Trichoptera	Hydropsichidae	18	8	18
	Policentropodidae	1	7	1
Odonata	Coenagrionidae	2	9	-
	Aeshnidae	1	7	-
	Gomphidae	1	9	-
Coleoptera	Psephenidae	2	10	-
	Elmidae	42	7	-
Megaloptera	Corydalidae	3	6	-
Veneroida	Corbiculidae	1	-	-
Gastropoda	Thiaridae	1	5	-
Diptera	Chironomidae	6	2	-
	Ceratopogonidae	1	4	-
	Limonidae	3	4	-
Total individuos por muestra		255	-	192
Total BMWP			102	192/255=0,7529 0,7529x100=75,29%



Imagen 2.- Familias representativas de la estación P2

Tabla 3.- Cálculo de los índices BMWP y EPT en P3

Orden	Familia	P 3	BMWP	EPT presentes
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	162	9	162
	Leptohyphidae	21	7	21
	Baetidae	40	8	40
Trichoptera	Hydropsichidae	51	8	51
Odonata	Coenagrionidae	7	9	-
	Gomphidae	2	9	-
Coleóptera	Psephenidae	1	10	-
	Elmidae	18	7	-
Heteroptera	Naucoridae	1	7	-
Megalóptera	Corydalidae	3	6	-
Díptera	Chironomidae	2	2	-
Total Individuos por muestra		308	-	274
Total BMWP y EPT			82	274/308=0,8896 0,8896x100=88,96%



Imagen 3.- Familias representativas de la estación P3

Tabla 4.- Cálculo de los índices BMWP y EPT en P4

Orden	Familia	P 4	BMWP	EPT presentes
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	120	9	120
	Leptohyphidae	7	7	7
	Baetidae	14	8	14
Trichoptera	Hydropsichidae	8	8	8
Odonata	Coenagrionidae	3	9	
	Libellulidae	1	6	
	Gomphidae	1	9	
	Elmidae	22	7	
	Hydrophilidae	1	4	
Megalóptera	Corydalidae	3	6	
Veneroida	Corbiculidae	1		
Díptera	Chironomidae	8	2	
	Tipulidae	1	4	
Total individuos por muestra		190		149
Total BMWP y EPT			79	$149/190=0,7842$ $0,7842 \times 100=78,42\%$



Imagen 4.- Familias representativas de la estación P4

Tabla 5.- Cálculo de los índices BMWP y EPT en P5

Orden	Familia	P 5	BMWP	EPT presentes
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	57	9	57
	Leptohyphidae	2	7	2
	Baetidae	14	8	14
Trichoptera	Hydropsichidae	2	8	2
Coleóptera	Elmidae	9	7	-
Megaloptera	Corydalidae	1	6	-
Veneroida	Corbiculidae	1		-
Basommatophora	Thiaridae	2	5	-
Díptera	Chironomidae	6	2	-
	Limonidae	1	4	-
Total Individuos por muestra		95		75
Total BMWP y EPT			56	75/95=0,7894 0.7894x100=78,94%



Imagen 5.- Familias representativas de la estación P5

Tabla 6.- Cálculo de los índices BMWP y EPT en P6

Orden	Familia	P 6	BMWP	EPT presentes
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	109	9	109
	Leptohyphidae	4	7	4
	Baetidae	13	8	13
Trichoptera	Hydropsichidae	6	8	6
Odonata	Coenagrionidae	1	9	-
Coleóptera	Elmidae	11	7	-
Heteroptera	Naucoridae	1	7	-
Basommatophora	Thiaridae	3	5	-
Díptera	Chironomidae	3	2	-
Total Individuos por muestra		151		132
Total BMWP y EPT			62	132/151=0,8741 0,8741x100=87,41%



Imagen 6.- Familias representativas de la estación P6

Tabla 7.- Cálculo de los índices BMWP y EPT en P7

Orden	Familia	P 7	BMWP	EPT presentes
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	31	9	31
	Leptohyphidae	1	7	1
	Baetidae	6	8	6
Coleóptera	Elmidae	3	7	-
Veneroida	Corbiculidae	3		-
Basommatophora	Thiaridae	4	5	-
Diptera	Chironomidae	1	2	-
	Tipulidae	1	4	-
	Psichodidae	1	4	-
Decápoda	Palaemonidae	3	8	-
Total Individuos por muestra		54		38
Total BMWP y EPT			54	$38/54=0,7037$ $0,7037 \times 100=70,37\%$



Imagen 7.- Familias representativas de la estación P7

Anexo II. Imágenes de las salidas de campo



Imagen 8.- Limpieza de piedras grandes en el muestreo de macroinvertebrados



Imagen 9.- Muestreo de macroinvertebrados



Imagen 10.- Medida de parámetros físico-químicos *in situ* con sonda



Imagen 11.- Análisis de las muestras de macroinvertebrados en el laboratorio