

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

MAESTRIA EN TOXICOLOGIA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL

“EVALUACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN SEDIMENTO VERSUS LOS BIOÍNDICES ECOLÓGICOS DENTRO DE UN GRADIENTE FLUVIAL A LO LARGO DE LA CUENCA DEL RÍO DAULE”

TRABAJO DE GRADUACION
PREVIO A LA OBTENCION DEL
TITULO DE MAGISTER EN
TOXICOLOGIA INDUSTRIAL Y
AMBIENTAL

AUTOR: Blgo. Edgar Gerardo Segovia Amador
C.I. 0103568234

DIRECTORA: Dra. María Elena Cazar Ramírez
C.I. 0602243800

Cuenca, Ecuador

2017



UNIVERSIDAD DE CUENCA

RESUMEN

El presente estudio es una comparación entre los valores de metales pesados en sedimento fluviales con varios parámetros de agua tomados in situ, y con varios índices ecológicos obtenidos de la biodiversidad de macroinvertebrados presente, a fin de establecer datos base para un monitoreo futuro de los ecosistemas lóticos y lénticos del área de estudio. Los metales cuantificados fueron Cromo, Cobre, Plomo, Zinc. Los sitios muestran un grado de intervención variable, principalmente influido por el índice QBR (calidad de vegetación de ribera), la turbidez del agua, la concentración de cobre en los sedimentos, y los nitratos en la columna de agua. La presencia de grandes monocultivos en el área de estudio es aparentemente el factor principal que causa las variaciones observadas en los sitios.

Palabras claves: metales pesados, sedimento, macroinvertebrados, cuenca del río Daule



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ABSTRACT

The present study is a comparison between the concentration of heavy metals in fluvial sediments with several water parameters monitored in situ, and some ecological indexes derived from the macroinvertebrate biodiversity. Copper, lead, cadmium and zinc were quantified. The aim was to raise useful information for future monitoring of lotic and lentic ecosystems in the area studied. The sites have a variable degree of intervention, mainly influenced for the QBR index (quality of riparian vegetation), water turbidity, copper present in the sediment, and nitrates in the water column. The presence of large monocultures in the study area is apparently the main factor behind the values variation in the sites.

Keywords: Heavy metals, sediment, macroinvertebrates, Daule river basin



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ÍNDICE DE CAPÍTULOS

RESUMEN.....	2
ABSTRACT.....	3
ÍNDICE DE CAPÍTULOS	4
CLÁUSULA DE DERECHOS DE AUTOR.....	6
CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL	7
AGRADECIMIENTO	8
DEDICATORIA	9
CAPÍTULO 1: Introducción:	10
1.1. Generalidades.....	10
1.2 Área de estudio	11
1.3 Infraestructura hidráulica de importancia ecológica.....	13
1.4. Descripción de los índices de calidad de hábitat	15
1.5. Parámetros analizados para estimar índices de calidad de hábitat.....	16
1.5.1 Obtención de índices bióticos.....	16
1.5.2. Caracterización de aguas mediante parámetros físico - químicos.....	17
1.6. Objetivo del estudio.....	19
1.6.1. Objetivo General:.....	19
1.6.2. Específicos:	20
CAPÍTULO 2: Materiales y Métodos:.....	21
2.1 Área de Estudio.....	21
2.2 Toma de muestras	21
2.3. Cuantificación de metales pesados	23
2.3.1 Tratamiento de muestras.....	23
2.3.2: Cuantificación de Cromo y Cobre.....	23
2.3.3. Cuantificación de Cadmio y Plomo.....	24



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.4. Cálculo de Índices.....	24
2.5 Tratamiento Estadístico de Datos.....	26
CAPÍTULO 3. Resultados y Discusión:	28
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES.....	57
BIBLIOGRAFÍA.....	58
ANEXOS.....	60



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CLÁUSULA DE DERECHOS DE AUTOR



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Blgo. EDGAR GERARDO SEGOVIA AMADOR, autor de la tesis **“EVALUACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN SEDIMENTO VERSUS LOS BIOÍNDICES ECOLÓGICOS DENTRO DE UN GRADIENTE FLUVIAL A LO LARGO DE LA CUENCA DEL RÍO DAULE”**, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de **MAGÍSTER EN TOXICOLOGÍA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL**. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor

Cuenca, Enero de 2017

Blgo. EDGAR SEGOVIA AMADOR

C.I.: 0103568234



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Blgo. EDGAR GERARDO SEGOVIA AMADOR, autor de la tesis “EVALUACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN SEDIMENTO VERSUS LOS BIOÍNDICES ECOLÓGICOS DENTRO DE UN GRADIENTE FLUVIAL A LO LARGO DE LA CUENCA DEL RÍO DAULE”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, Enero de 2017

Blgo. EDGAR SEGOVIA AMADOR

C.I.: 0103568234



UNIVERSIDAD DE CUENCA

AGRADECIMIENTO

Ing. Ruth Cecilia Alvarez, Dra. Maria Elena Cazar, Dr. Giovanni Larriva



UNIVERSIDAD DE CUENCA

DEDICATORIA

A los habitantes de las comunidades de Los
Ríos



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CAPÍTULO 1: Introducción:

1.1. Generalidades

El valor del ABI (Andean Biotic Index) y otros índices basados en taxonomía han demostrado ser extremadamente exactos localmente para determinar calidad de hábitats. No obstante, al ser usados en áreas distintas de la original, la exactitud disminuye debido a las diferencias biogeográficas entre zonas. Por esto se hace imperativo disponer de un índice con valores aplicables localmente a fin de validar los resultados de los análisis de campo basados en dichos índices.

A fin de calibrar los índices que se emplean en la caracterización de la calidad de un hábitat, es necesario obtener información primaria de los sitios de estudio, la cual sirva como base para establecer los valores de impacto dentro de la zona a monitorear. (Acosta, Ríos, Rieradevall, & Prat, 2009) (Lenat, 1998) (Villamarín, 2013).

Los índices basados en macroinvertebrados son extremadamente útiles para evaluar la calidad de aguas de manera económica, y segura, disminuyendo los requerimientos en materiales y equipos. Sin embargo, requiere estar ajustado a las condiciones locales, ya que la biogeografía y la ecología de las diferentes localidades causan variaciones indeseadas en dichos valores que pueden inducir a error. La correlación entre dichos índices y las variables fisicoquímicas detectables en los puntos de estudio fortalecen su valor como predictores y herramientas de evaluación de los ecosistemas acuáticos



1.2 Área de estudio

El presente trabajo de investigación monitoreó un sector geográfico representativo del centro de la Costa Ecuatoriana. Se realizaron monitoreos de invertebrados, se colectaron datos in situ de la columna de agua, y se realizó la cuantificación de metales pesados en aguas en la (sub)cuenca del río Daule, la cual forma parte considerable del sistema costero conocido como la Cuenca del Guayas, y es el área con mayor concentración agrícola dentro de esta última.

La Cuenca del Río Guayas, de entre las 72 cuencas hidrográficas principales, es la más grande de la Costa Ecuatoriana y del Pacífico Sur en general, toma su nombre del río homónimo, el cual es relativamente corto (55 km de longitud). Su principal afluente es el río Daule, el cual recibe agua de los ríos Macul, Puca, Paján, Colimes, y Pedro Carbo, y del río Babahoyo, con sus numerosos tributarios, incluyendo los ríos Balzar, Quevedo, y Vinces.

La temporada de lluvias en la Cuenca del Guayas, se inicia en los primeros cuatro meses del año en que se producen el 85% de las precipitaciones, lo cual se conoce como la temporada húmeda, y en los meses restantes las lluvias disminuyen notablemente, aunque se dan de manera esporádica e irregular (temporada seca). La distribución espacial y temporal de las lluvias en la Cuenca del Guayas es disímil en intensidad, con valores en promedio de 2.500 mm., en la parte noroeste a la altura de Santo Domingo de los Colorados, disminuyendo hacia el sur a la altura de Quevedo, con



UNIVERSIDAD DE CUENCA

valores de alrededor de 2.200 mm, en la zona de Daule-Peripa de unos 1.800 mm, en Guayaquil de unos 1.200 mm, en Chongón de unos 750 mm. y hacia el oeste la lluvias son escasas y están por los 50 mm. Se puede observar, por tanto, un patrón latitudinal Norte-Sur en toda la cuenca, de disminución gradual en las precipitaciones anuales (F. Rossel & Gómez, 1996)

El área de influencia de la cuenca llega a los 33214 kilómetros cuadrados, es decir un 12% de la extensión del territorio ecuatoriano, generando un 40% del PIB del país. Engloba tres de los ocho millones de hectáreas de tierra cultivable disponibles en el Ecuador, es decir un 37,5% de las mismas. (Secretaría Nacional del Agua, 2009)

Ecológicamente y biogeográficamente, es interesante destacar que la Cuenca contiene, a la altura aproximada de Quevedo y la represa Daule-Peripa, el límite sur de la zona biogeográfica del Chocó, y el límite norte de la región biogeográfica Tumbesina (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012). Por supuesto, al tratarse de zonas faunísticas y florísticas definidas por características climáticas e históricas, la frontera es gradual y una zona se diluye en otra de forma imperceptible.

La división en subcuencas, de acuerdo a SENAGUA(2011), acepta seis subdivisiones(morfológicas) de la Cuenca, las cuales son Subcuenca del río Daule, Subcuenca del río Vinces, Subcuenca del río Macul, Subcuenca del río Babahoyo, Subcuenca del río Yaguachi, Subcuenca del río Juján y Drenajes menores.



1.3 Infraestructura hidráulica de importancia ecológica

Desde 1965 el organismo encargado de la gestión hídrica en la región era la Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del río Guayas, (CEDEGE). Los objetivos de los proyectos que realizó se centraban en dotar de riego a tierras de cultivo, provisión de agua potable, control de inundaciones, provisión de energía y recreación. En 2009 es absorbida por la Secretaría Nacional del Agua, manteniendo esas mismas prioridades.

La obra hidráulica más visible en la zona es el Proyecto de Propósito Múltiple Jaime Roldós Aguilera, cuya estructura más notoria es la represa y embalse Daule-Peripa, operativa desde 1987, cuyas funciones abarcan el abastecimiento de agua cruda para potabilizar y abastecer a los habitantes de la Ciudad de Guayaquil y otras ciudades, para el riego de 100.000 has y control de inundaciones en 70.000 has, trasvase de aguas a la Península de Santa Elena, y su respectivo Plan Hidráulico, y trasvase a la Provincia de Manabí para riego, y consumo de la población de esta provincia, el control de caudales del río Daule para prevenir las inundaciones, control de calidad de agua del río Guayas (retención de sedimentos, cuyas consecuencias ecológicas y sobre la fauna ictícola a lo largo de estos años requieren estudios de impacto ecológico adicionales), control de la intrusión salina (otra función que requiere estudios ecológicos comprobatorios) y abastecimiento de agua para la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind (CEDEGE, Naciones Unidas, 1983).



A nivel de ecosistemas, esta represa aumenta el flujo de agua dulce al estuario del río Guayas durante la estación seca, evitando la intrusión de agua salada y la ascensión estacionales de especies acuáticas estuarinas en la parte baja del río Daule, es decir extendiendo río abajo, de forma continua, un hábitat de agua dulce, desplazando río abajo la zona histórica de influencia de las mareas, preservada en topónimos de ciudades como Salitre, y potenciando la agricultura, e indirectamente la contaminación del agua, en esta área con dicho suministro adicional de agua dulce.

El interés que existe por parte de las instituciones en incrementar el potencial agrícola de la zona ha llevado en los últimos años a la construcción de varios megaproyectos hidráulicos, tales como el proyecto multipropósito Baba, el Trasvase Daule-Vinces (DAUVIN), el Sistema de Represas PACALORI y el Trasvase Daule-Pedro Carbo, entre otros, cuyo efecto es incrementar el área irrigada continuamente durante la estación seca, incrementando el volumen de cultivos, la población humana y el potencial de contaminación resultante de todas estas actividades sobre el recurso agua.

Existen varios estudios previos centrados en caracterizar la cuenca desde aspectos hidrológicos (Navarrete, 2013), (Soledispa P., 2002). Todavía se encuentran pocos estudios centrados en los ecosistemas acuáticos y ribereños, por lo cual es importante disponer de datos ecosistémicos que puedan utilizarse en la elaboración de índices de calidad ambiental que apoyen a describir y diagnosticar problemas ambientales en la zona de estudio.



1.4. Descripción de los índices de calidad de hábitat

- ABI(Andean Biotic Index): es un índice de calidad basado en la diversidad de la fauna de macroinvertebrados colectados en un sitio, a nivel de familias, a cada una de las cuales se les asigna un valor de 1 a 10, proporcional a su sensibilidad a la contaminación ambiental, información derivada de estudios previos en dichos taxa. La sumatoria de cada sitio será su valor de índice.

- EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera): es un valor que emerge de dividir el total de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera de la muestra para el total de Chironomidae de la misma, es decir, de los taxa comúnmente más abundantes, y sensibles a la contaminación vs. Los taxa comúnmente más abundantes, y tolerantes a la contaminación en la muestra.

-Porcentaje de taxa tolerantes a la contaminación presentes en cada muestra: Es el porcentaje total de grupos tales como Chironomidae y Oligochaeta, que toleran los valores más altos de contaminación por cada muestra.

- Índice de Shannon (H'): Índice de diversidad, tomando en cuenta el número de individuos de la muestra, así como el número de taxa (comúnmente familias) evaluado en la misma. Varía de 0 en comunidades con un solo taxón hasta valores muy altos en comunidades con muchos taxa y especies representadas por un solo individuo. Se representa mediante la siguiente fórmula

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$



- Índice de equitatividad (J): que es el índice H' dividido para el logaritmo del número de taxa en la muestra, mide la equitatividad con que los individuos se distribuyen entre los taxa de dicha muestra.

-Índice de distintividad taxonómica: procede de la diversidad de taxa a nivel supraespecífico (géneros, familias, tribus, órdenes) en la muestra, representa la diversidad filogenética de la muestra, es decir la probabilidad de que las especies en los puntos de muestreo pertenezcan o no al mismo taxa supraespecífico.

1.5. Parámetros analizados para estimar índices de calidad de hábitat

1.5.1 Obtención de índices bióticos

Los índices bióticos se obtienen a partir de tablas ordenadas, basadas en la recolección de muestras en el campo. Se recorren transectos de 200 metros cuadrados en los que se aplican los métodos de barrido y patada para recolección de macroinvertebrados. En estas tablas se muestran los diferentes sitios de muestreo como columnas y los taxa como filas, con columnas adicionales incluyendo los rangos supraespecíficos (género, familia, orden, clase). Para elaborar estas tablas es muy importante tener acceso a conocimientos taxonómicos, disponer de claves actualizadas, personal que sepa manejar muestras de invertebrados, y equipos adecuados (estereomicroscopio, iluminación, material de manipulación) para la clasificación taxonómica correcta de los especímenes.



1.5.2. Caracterización de aguas mediante parámetros físico - químicos

Para caracterizar una cuenca hidrográfica se toman muestras de agua *in situ* (columna de agua); de las cuales se obtienen parámetros de calidad: pH, turbidez, temperatura, oxígeno disuelto, nitratos y fosfatos totales. Adicionalmente se registra la temperatura del agua, siendo este un valor de referencia para establecer la concentración de oxígeno disuelto (DO).

Los parámetros referidos se obtienen mediante comparaciones con tablas colorimétricas, las cuales relacionan la tonalidad con la concentración en ppm, para el caso de nitratos y fosfatos. Para registrar turbidez se usa el disco Secchi y los resultados son expresados en unidades de turbidez de Jackson (JTU).

En el sedimento de la cuenca se determinó la concentración de metales pesados presentes en el sedimento de los transectos de estudio.

Los metales pesados son los elementos metálicos con peso atómico mayor que el del hierro (55,85 g/mol), y muchos de ellos son tóxicos para los seres vivos si superan determinadas concentraciones en el medio ambiente, mayores a las naturalmente presentes debido a los procesos geológicos.

Algunos de estos elementos son fácilmente movilizados por la actividad humana en proporciones que exceden en gran medida la de los procesos geológicos. Éste es el caso de plata, arsénico, cadmio, cobre, mercurio, níquel, plomo, antimonio, estaño y talio



(Novotny, 1995). La EPA (Environmental Protection Agency) considera de especial importancia ambiental por su peligrosidad al arsénico, berilio, cadmio, cromo, cobre, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y zinc.

El suelo o el sedimento del lecho de un cuerpo de agua actúan en general como una barrera protectora de otros medios más sensibles (hidrológicos y biológicos), filtrando, descomponiendo, neutralizando o almacenando contaminantes y evitando en gran parte su biodisponibilidad. Esta capacidad depuradora de un sustrato depende de los contenidos en materia orgánica, carbonatos y oxihidróxidos de hierro y manganeso, de la proporción y tipo de minerales de la arcilla, de la capacidad de cambio catiónico del suelo, del pH y Eh (potencial reductor), textura, permeabilidad y actividad microbiana. Por tanto, para cada situación, el poder depurador de un sustrato tiene un límite. Cuando se superan esos límites para una o varias sustancias, el suelo se considera como contaminado. (Galán Huertos Emilio, 2008)

En el presente estudio se realizó una determinación cuantitativa de Cromo, Cobre, Cadmio y Plomo. Estos metales forman quelatos estables al reaccionar con la materia orgánica del sedimento, y por lo tanto, son contaminantes persistentes (González, Ahumada, & Medina, 2004), y son adsorbidos por la fase arcillosa de los mismos, sin embargo la materia orgánica y los óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso presentes suelen contener la mayoría de metales de la muestra; la materia orgánica reacciona con los metales formando complejos de cambio o quelatos. La adsorción puede ser tan fuerte



que los metales queden estabilizados, como el caso del Cu, o formen quelatos también muy estables, como puede pasar con el Pb y Zn. En muchos casos se forman complejos organometálicos, lo que facilita la solubilidad del metal, la disponibilidad y la dispersión, porque pueden degradarse por los microorganismos del suelo.

Los óxidos e hidróxidos de Fe y Mn juegan un importante papel en la retención de metales pesados y en su inmovilización. Se encuentran finamente diseminados en la masa de suelo por lo que son muy activos. Por su baja cristalinidad y pequeño tamaño de partícula, tienen una alta capacidad de adsorción para metales divalentes, especialmente Cu y Pb, y en menor extensión Zn, Co, Cr, Mo, Ni y As. (Galán Huertos Emilio, 2008) Esto conduce a una persistencia de la toxicidad, lo cual significa que permanecen en las muestras de sedimento por largos períodos de tiempo, que pueden llegar a ser años, lo cual tiene importancia tanto como contaminantes ambientales, al poder tener la posibilidad de actuar en el medio por largos períodos, como en el análisis, de modo que las muestras tomadas pueden ser analizadas años después de colectadas.

1.6. Objetivo del estudio.

1.6.1. Objetivo General:

Relacionar la concentración de metales pesados (Cr, Cu, Pb, Zn) persistentes, determinados en el sedimento y los valores de índice en cada sitio de estudio para determinar valores de calidad de hábitat basados en datos biológicos y físico – químicos de aguas.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

1.6.2. Específicos:

Establecer datos base para un monitoreo futuro de los ecosistemas lóticos y lénticos del área de estudio

Realizar una comparación entre los valores fisicoquímicos y los índices de biodiversidad y de calidad de agua usados en la zona.

Encontrar, dentro de los factores estudiados, cuáles son los que influyen más y tienen mayor importancia en la composición faunística registrada.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CAPÍTULO 2: Materiales y Métodos:

2.1 Área de Estudio

Para la presente investigación se seleccionaron 21 localidades de muestreo de sedimento y macroinvertebrados, correspondientes a las represas del proyecto PACALORI, las cuales se ubican dentro de un rango altitudinal entre los 30 y 50 m.s.n.m (*metros sobre el nivel del mar*), localizadas en la provincia de Los Ríos. Se tomaron cuatro puntos respectivamente en el gradiente superior (300 a 150 m.s.n.m) , 13 en el gradiente medio (30 m.s.n.m) y cuatro en el inferior (30 a 2 m.s.n.m) de dicha zona, a fin de abarcar las dos áreas biogeográficas (Chocó y Tumbesina) que se traslapan en el área de estudio (Anexo 1 y Anexo 2).

2.2 Toma de muestras

En cada punto se toma una muestra de sedimento de fondo de aproximadamente 600 cc, se almacenan en fundas sellables y se mantienen en refrigeración hasta su análisis. Este tratamiento se requiere para cuantificar metales pesados (Cr, Cu, Cd y Pb).

En cada uno de los puntos de muestreo, se toman dos submuestras de invertebrados por medio de la red rectangular de mango y la red de patada, usando los métodos de patada y de barrido, al mismo tiempo se instalaron dos trampas de luz de 120 cm de área. El esfuerzo de muestreo con redes incluye la colección en cada submuestreo de un transecto de 200 m², mientras que los trampeos de luz se realizan desde las 19:00 hasta las 21:00.



Las muestras se almacenan en alcohol al 75%, y son clasificadas, fotografiadas y tabuladas a fin de realizar en ellas los análisis pertinentes. La taxonomía se realiza hasta los niveles de morfotipo, género y especie según los casos.

Simultáneamente se tomaron muestras de agua para evaluar parámetros fisicoquímicos, los cuales se realizan in situ. Se utilizaron dos juegos portátiles de análisis colorimétrico de aguas, los cuales miden varios parámetros mediante puntos de viraje con reactivos cromóforos y comparación con escalas de color. La información referente a los juegos de reactivos utilizados se presenta a continuación:

Nombre del juego de reactivos	Casa comercial	Parámetros monitoreados
test Green 3-5886	LaMotte	pH, turbidez, temperatura, oxígeno disuelto, nitratos y fosfatos totales.
Aqua Test 04000	SERA	pH, nitratos totales

Los parámetros empleados son concentración porcentual de oxígeno, nivel de saturación de oxígeno, pH, temperatura superficial y turbidez (medida en JTU). Se añadieron posteriormente datos de fosfatos y nitratos totales, en ppm, obtenidos mediante el mismo kit.

Los datos fueron recolectados de Junio a Septiembre de 2013 e ingresados en bases de datos. Las muestras de sedimento se almacenaron en recipientes sellados y se colocaron en refrigeración, ya que según la literatura revisada los quelatos de



metales pesados contenidos son estables en esas condiciones. Las muestras se colectaron en dos salidas de 15 días cada una,, realizando de dos a tres recolecciones diarias. Esta estrategia se aplicó para acceder a los bancos de sedimento dentro de los ríos y coincidir con la época reproductiva de la mayoría de macroinvertebrados en la época de verano.

2.3. Cuantificación de metales pesados

2.3.1 Tratamiento de muestras

La metodología de digestión para las muestras es la recomendada por la EPA, en su Método 3050B, para digestión de la porción biodisponible de metales pesados en muestras de suelo y sedimento, método que consiste en la aplicación de HNO_3 concentrado y en solución 1:1 a las muestras, a 95 grados Celsius, durante tres horas aproximadamente, y luego la aplicación de H_2O_2 al 30 por ciento en varias alícuotas durante varias horas, igualmente a dicha temperatura. Luego las muestras se dejan reposar y enfriar, para posteriormente filtrarse y aforarse a 100 ml, quedando listas para el análisis.

2.3.2: Cuantificación de Cromo y Cobre

Para la cuantificación de Cromo y Cobre se aplicó un método espectrofotométrico, utilizando el equipo DR 2800 HACH, disponible en el Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca. Se usaron juegos de reactivos ChromaVer® (Método 10218 de la 1,5-difenilcarbohidrazida, para Cr



UNIVERSIDAD DE CUENCA

hexavalente, a 540 nm.) y CuVer® (método 8506 del ácido bicinchónico, a 560 nm.) (HACH), para desarrollar la cuantificación de estos metales. Estos compuestos reaccionan con el metal disuelto en la muestra, dando una coloración púrpura que es leída e interpretada por el aparato.

2.3.3. Cuantificación de Cadmio y Plomo

La presencia de los metales pesados cadmio y plomo en las muestras se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica de flama (FLAA). Este análisis se desarrolló en el laboratorio de análisis de metales del CESEMIN, en un equipo AAnalyst 400(Perkin Elmer) los límites de cuantificación fueron de 0,25 mg/l para Pb y de 0,15 mg/l para Cd. Los valores obtenidos se usaron como variable en los análisis estadísticos.

2.4. Cálculo de Índices Ecológicos

Los datos se procesaron en los programas estadísticos PAST 1.2.6. y STATISTICA 8.0 para analizar tendencias estadísticas, y CABIRA 1.0 para calcular los índices ecológicos.

A continuación se presentan los índices ecológicos aplicados en este estudio y su interpretación.



INDICE ECOLÓGICO USADO		INTERPRETACIÓN
IMEERA-B (Índice Multimétrico del Estado Ecológico para Ríos Altoandinos, corregido para tierras bajas)(Villamarín et.al 2013)		Calidad del hábitat basado en datos cuantitativos de abundancia y preferencias ecológicas de los especímenes
IHF (River Habitat Index) (Acosta, Ríos, Rieradevall, & Prat, 2009)		Calidad del hábitat fluvial basado en datos cualitativos de los sitios
QBR(Calidad de Bosque de Ribera)		Calidad del hábitat ribereño basado en datos cualitativos de los sitios
ABI (Andean Biotic Index) corregido mediante el protocolo CERA (Acosta, Ríos, Rieradevall, & Prat, 2009)		Calidad del hábitat basado en datos cuantitativos de abundancia y preferencias ecológicas de los especímenes
Índice EPT (Lenat 1988)		Calidad del hábitat basado en la presencia de los órdenes sensibles Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera
Número de taxa tolerantes(%S)		Porcentaje de taxa tolerantes a la contaminación presentes en la muestra
Índice de Shannon(H')		índice de diversidad, tomando en cuenta individuos y número de taxa en las muestras,
Índice de equitatividad(J)		Equitabilidad en que los individuos se distribuyen entre los taxa presentes
Índice de Distintividad Taxonómica (K.R.Clarke, 1999)		Diversidad filogenética, es decir la probabilidad de que las especies en los puntos de muestreo pertenezcan o no al mismo taxa supraespecífico

Tabla 1: Índices ecológicos usados

Además se aplican curvas individuales (Krebs) y general de rarefacción (Mao Tau) a la abundancia total de macroinvertebrados en las muestras.



2.5 Tratamiento Estadístico de Datos.

Los análisis estadísticos multivariantes realizados sobre los datos son:

Análisis Multidimensional Escalar (MDS) no-métrico, el cual se basa en una matriz de distancias calculada por medio del método de Ward(procedimiento de clusterización de datos, en el cual se minimiza la varianza total dentro del clúster obtenido, para ello en cada paso del dendrograma encuentra el par de clusters que lleva al incremento mínimo de varianza total dentro del total, por medio de un algoritmo recursivo basado en la fórmula $d_{ia}=d(\{X_i\},\{X_a\})= \| X_i - X_a \|^2$ aplicada en cada paso del dendrograma) (Ward, 1963).

Una vez calculada la matriz de distancias, el algoritmo del análisis (Taguchi, 2005) ubica los puntos en un gráfico 2D o 3D, ubicándolos de manera que se expresen las diferencias rankeadas, en forma de distancias relativas (por eso es no-métrico) que expresan las relaciones entre los puntos de acuerdo a las variables originales que se insertaron en el cálculo de la matriz de distancias.

Análisis de Componentes Principales (PCA), el cual procede de una matriz de sitios y variables, con las variables como columnas, su algoritmo (Harper, 1999) está diseñado para encontrar los componentes principales (variables hipotéticas que explican la mayor parte de la varianza observada en los datos). Esto permite dibujar los datos en un gráfico XY, en el cual los dos componentes principales son las abscisas y las ordenadas, pudiéndose mostrar posiciones relativas de los datos respecto a las variables, las cuales



UNIVERSIDAD DE CUENCA

se pueden expresar como vectores, cuya longitud indica su importancia en el conjunto de los datos, mientras su proximidad a puntos indica su importancia respecto a los mismos, y la proximidad entre vectores indica correlación entre ellos.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CAPÍTULO 3. Resultados y Discusión:

Se calcularon los correspondientes valores de índices ecológicos, fisicoquímicos in situ del agua y químicos ex situ del sedimento para los 21 sitios de muestreo, en base a las 155 especies y 6745 individuos de macroinvertebrados colectados en los sitios.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Localidad	IHF	QBR	IMEERA-B	Taxa Tolerantes(% S)	Riqueza(S)	EPT	ABI	Shannon(H)	Equitativ(J)	Distintividad taxa	%O2	DO ppm	pH	temp °C	turbidez JTU	fosfatos (ppm)	nitratos(ppm)	Cu sedimento mg/l	Cr sedimento mg/l	Cd sedimento ma/l	Pb sedimento mg/l
Macul 2 - Estación 1(Macul1)	43	80	57	22,65	11	1,5	49,5	1,94	0,815	3,82	48	4	7,5	24	4	4	5	0,345	0,022	0	0
Las Garzas (Estero Garza grande)	29	50	77	12,5	8	2	33	1,645	0,84	3,747	47	4	6,9	23,5	50	5	6	2,16	0,0105	0	0
Mocache	57	0	75,5	44,445	9	0,5	32	1,395	0,635	3,845	47	4,2	6,9	23,8	0	4	5	0,12	0,0165	0	0
Río Maculillo	70	35	57,5	33,93	9,5	1	43	1,87	0,845	3,926	49,2	4,2	8	26	0	5	4	1,515	0,012	0	0
Rio Palenque (R Quevedo-Vinces)	23,5	55	58,75	46,25	4,25	0,5	16,5	0,7975	0,4875	3,977	49,75	4	7	26,5	40	4	4	1,05	0,01325	0	0
Macul 2	54	75	56,5	9,4	11	1	54,5	1,65	0,695	3,807	49	4,2	7,5	26	20	4	5	1,27	0,0055	0	0
Estero El Lechugal 2	61	100	70,5	25,175	12	2,5	57,5	2,235	0,895	3,886	49	6	6,5	24	1	4	3	1,37	0,0115	0	0
Chojampe 2	83	55	65,5	32,955	17	3,5	83	1,46	0,5	3,258	48	4	8	24	0	3,8	5	1,195	0,02	0	0
El Aguacatal	47	25	60,5	24,285	9,5	2,5	39	1,61	0,755	3,894	48,5	3,9	6,9	26	30	4	5	0,24	0,0215	0	0
Pueblo Viejo	30	15	20	41,665	5,5	0,5	22	0,73	0,355	3,893	48	3,9	5,9	26,5	50	5	3	0,945	0,031	0	0
Chojampe 1(Abras de Mantequilla)	49	95	23,5	47,915	10	0	36	1,82	0,79	3,674	51	4	6,9	28	42	4	5	0,56	0,0125	0	0
La Angostura	23	40	47,5	30,3	11,5	1	39,5	2,02	0,825	3,872	49	4,8	7,1	26	85	4	4	0,23	0,0015	0	0
Estero Lechugal (Abras de Zapallo)	44	60	38	44,375	18	0,5	63,5	2,4	0,83	3,722	49	4	6,7	26	0	5	5	1,365	0,02	0	0
Patricia Pilar	59	35	62,5	10,82	14	4,5	68,5	1,83	0,7	3,717	49	4	8,5	26	10	5	2	0,28	0,009	0	0
Cóngoma	56	85	69	13,125	18	3	97,5	2,26	0,785	3,767	48	5	7,5	24	0	3	3	0,48	0,027	0	0
Daule-Peripa	45	45	31,5	24,355	11	0,5	44	2,1	0,88	3,897	48	4,5	7,5	25	0	5	3	0,59	0,02	0	0
Las Guayjas	56	75	89	19,365	23,5	4	117	2,515	0,795	3,888	48	4,2	8	24	20	5	4	0,84	0,0035	0	0
Paula León	25	30	45	26,785	7,5	0,5	27,5	1,11	0,555	3,944	51	4	8	28	30	4	5	1,57	0,0185	0	0
Los Tintos	47	35	44,5	36,93	9,5	0	38	2,02	0,9	3,919	54	5	8	30	30	5	5	0,05	0,003	0,28	0
Río Pula	36	20	29	79,165	5	0	13	1,255	0,795	3,975	53	4	7,5	30	50	4	5	0,06	0,003	0	0
Río Daule(Sta Lucía)	30	15	57,5	20	5	0	24	0,88	0,545	3,594	51	4	7,5	28	2	4	4	3,245	0,0185	0	0

Tabla 2: Valores de índice obtenidos



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Orden	Familia	Género / Especie	Total individuos	Porcentaje del total
Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria sp1</i>	7	0,103780578
Amphipoda	Gammaridae	<i>Gammarus sp 1.</i>	6	0,088954781
	Hyalellidae	<i>Hyalella sp.2</i>	75	1,111934766
Coleoptera	Ptilodactylidae	<i>Ptilodactylidae sp 1</i>	6	0,088954781
	Staphilinidae	<i>Staphilinidae sp 2</i>	1	0,014825797
		<i>Staphilinidae sp 1</i>	1	0,014825797
	Hydroscaphidae	<i>Hydroscaphidae sp 1</i>	1	0,014825797
	Curculionidae	<i>Curculionidae sp 3</i>	1	0,014825797
		<i>Curculionidae sp 2.</i>	1	0,014825797
		<i>Curculionidae sp 1</i>	29	0,42994811
	Lampyridae	<i>Lampyridae sp 1.</i>	8	0,118606375
	Hydrophilidae	<i>Berosus sp 1.</i>	61	0,90437361
		<i>Hydrophilidae sp 1.</i>	11	0,163083766
		<i>Hydrophilidae sp 3.</i>	4	0,059303188
		<i>Hydrophilidae sp 2.</i>	4	0,059303188
		<i>Hydrophilidae sp 5.</i>	3	0,044477391
		<i>Hydrophilidae sp 4.</i>	3	0,044477391
	Torridincolidae	<i>Torridincolidae sp1</i>	1	0,014825797
	Gyrinidae	<i>Gyretes sp 1.</i>	8	0,118606375
	Dytiscidae	<i>Dytiscidae sp 5</i>	23	0,340993328
		<i>Dytiscidae sp 1.</i>	31	0,459599703
		<i>Dytiscidae sp 4.</i>	33	0,489251297
		<i>Dytiscidae sp 3.</i>	7	0,103780578
		<i>Dytiscidae sp 2.</i>	9	0,133432172
		<i>Dytiscus sp</i>	1	0,014825797
		<i>Laccophilus sp 1.</i>	5	0,074128984
		<i>Dytiscidae sp 1.</i>	54	0,800593032
	Elmidae	<i>Cylloepus sp</i>	1	0,014825797
		<i>Stegoelmis sp</i>	1	0,014825797
		<i>Hexanchorus sp</i>	4	0,059303188
		<i>Austrelmis sp2</i>	1	0,014825797
		<i>Austrelmis sp</i>	5	0,074128984
		<i>Macrelmis sp</i>	7	0,103780578
	Psephenidae	<i>Psephenidae sp1</i>	1	0,014825797
		<i>Pheneps sp</i>	6	0,088954781
	Dryopidae	<i>Dryopidae sp1</i>	1	0,014825797
Lutrochidae	<i>Lutrochidae sp1</i>	1	0,014825797	
Chrysomelidae	<i>Gallerucella sp.</i>	1	0,014825797	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

	Scirtidae	<i>Scirtidae sp 1.</i>	20	0,296515938
Diptera	Stratiomyiidae	<i>Stratiomyiidae sp 1</i>	3	0,044477391
	Ceratopogonidae	<i>Probezzia sp 1.</i>	1	0,014825797
		<i>Stilobezzia sp 1.</i>	179	2,653817643
	Chironomidae	<i>Chironomus sp 1</i>	279	4,136397331
		<i>Chironomus sp 2</i>	88	1,304670126
		<i>Tanypodinae sp</i>	1	0,014825797
		<i>Chironomidae sp 1.</i>	104	1,541882876
	Psychodidae	<i>Psychodidae sp 1.</i>	2	0,029651594
	Culicidae	<i>Aedes sp 1</i>	54	0,800593032
	Dixidae	<i>Dixidae sp1</i>	1	0,014825797
	Tabanidae	<i>Chrysops sp.</i>	10	0,148257969
	Simuliidae	<i>Prosimulium sp.</i>	14	0,207561156
	Tipulidae	<i>Tipulidae sp</i>	7	0,103780578
<i>Hexatoma sp</i>		1	0,014825797	
Ephydriidae	<i>Ephydriidae sp 1</i>	12	0,177909563	
Ephemeroptera	Polymitarcyidae	<i>Tortopsis parishi</i>	60	0,889547813
	Baetidae	<i>Baetidae sp 2</i>	47	0,696812454
		<i>Callibaetis sp 1.</i>	77	1,14158636
		<i>Baetidae sp 3r</i>	6	0,088954781
	Leptohyphidae	<i>Leptohyphes sp 4</i>	74	1,09710897
		<i>Leptohyphes sp 1</i>	20	0,296515938
		<i>Leptohyphes sp 3</i>	50	0,741289844
		<i>Leptohyphodes sp.2</i>	8	0,118606375
	Leptophlebiidae	<i>Ecuaphlebia sp 2.</i>	1	0,014825797
		<i>Thraulodes sp1</i>	11	0,163083766
		<i>Thraulodes sp</i>	15	0,222386953
		<i>Ecuaphlebia sp 1.</i>	68	1,008154188
	Gasteropoda	Veronicellidae	<i>Veronicellidae sp 1</i>	1
Physidae		<i>Physa sp1</i>	11	0,163083766
Planorbidae		<i>Biomphalaria sp 1.</i>	13	0,19273536
Ampullaridae		<i>Ampullaria flagellata</i>	213	3,157894737
Pachychilidae		<i>Doryssa sp</i>	10	0,148257969
Melaniidae=Thiaridae		<i>Melanoides sp 1.</i>	232	3,439584878
Ancylidae		<i>Ancylus sp 1.</i>	7	0,103780578
Hydrobiidae		<i>Hydrobia sp 1.</i>	24	0,355819125
Lymnaeidae		<i>Lymnaea sp 1.</i>	1	0,014825797
Bivalvia	Sphaeriidae	<i>Sphaeriidae sp 1.</i>	5	0,074128984
	Corbiculidae	<i>Corbicula fluminea</i>	173	2,564862861
Hemiptera	Hydrometridae	<i>Hydrometra williamsi</i>	2	0,029651594
	Notonectidae	<i>Buenoa sp 1</i>	152	2,253521127



UNIVERSIDAD DE CUENCA

	Nepidae	<i>Ranatra sarmientoi</i>	1	0,014825797
		<i>Ranatra attenuata</i>	1	0,014825797
		<i>Ranatra ecuadoriensis</i>	13	0,19273536
	Helotrephidae	<i>Neotrepthes sp 1.</i>	153	2,268346924
	Belostomatidae	<i>Belostoma venezuelae</i>	1	0,014825797
		<i>Belostoma plebejum</i>	2	0,029651594
		<i>Belostoma ellipticum</i>	22	0,326167532
	Corixidae	<i>Corixa sp 1.</i>	32	0,4744255
	Naucoridae	<i>Limnocoris sp 2.</i>	53	0,785767235
		<i>Carvalhoella sp</i>	1	0,014825797
		<i>Limnocoris sp 1</i>	19	0,281690141
	Gerridae	<i>Trepobates sp1.</i>	6	0,088954781
		<i>Gerridae sp 2.</i>	3	0,044477391
		<i>Gerridae sp. 1</i>	85	1,260192735
	Veliidae	<i>Mesovelía sp. 1</i>	7	0,103780578
		<i>Velia sp 2.</i>	26	0,385470719
		<i>Velia sp 1.</i>	76	1,126760563
		<i>Microvelia sp 1.</i>	11	0,163083766
<i>Rhagovelia macarena</i>		10	0,148257969	
<i>Rhagovelia sp.1</i>		51	0,756115641	
Hirudinea	Glossiphonidae	<i>Glossiphonidae sp 1.</i>	21	0,311341735
Hydracarina	Limnocharidae	<i>Rhyncholimnochaes sp.</i>	10	0,148257969
	Hydrachnidae	<i>Hydrachnidae sp 1</i>	11	0,163083766
Megaloptera	Corydalidae	<i>Corydalis sp.</i>	5	0,074128984
		<i>Corydalis armatus</i>	10	0,148257969
Odonata	Polythoridae	<i>Polythore sp 1.</i>	21	0,311341735
	Gomphidae	<i>Gomphidae sp 3.</i>	5	0,074128984
		<i>Gomphidae sp 2.</i>	15	0,222386953
		<i>Gomphidae sp 1.</i>	9	0,133432172
	Lestidae	<i>Lestidae sp 2.</i>	8	0,118606375
		<i>Lestidae sp 1.</i>	34	0,504077094
	Aeschnidae	<i>Coryphaeschna sp</i>	3	0,044477391
		<i>Aeschnidae sp 2.</i>	7	0,103780578
		<i>Aeschnidae sp 1.</i>	4	0,059303188
	Calopterygidae	<i>Hetaerina americana</i>	34	0,504077094
	Coenagrionidae	<i>Coenagrionidae sp 1.</i>	11	0,163083766
		<i>Argia sp 1.</i>	15	0,222386953
	Libellulidae	<i>Tramea sp 1</i>	21	0,311341735
		<i>Pantala flavescens</i>	57	0,845070423
		<i>Libellulidae sp.2</i>	4	0,059303188



UNIVERSIDAD DE CUENCA

		<i>Libellulidae sp 3o</i>	1	0,014825797
		<i>Libellulidae sp.1</i>	3	0,044477391
Oligochaeta			9	0,133432172
Polychaeta(Nereidae)			6	0,088954781
Trichoptera	Odontoceridae	<i>Marilia sp</i>	1	0,014825797
	Philopotamidae	<i>Chimarra sp1</i>	1	0,014825797
		<i>Philopotamidae sp 1</i>	3	0,044477391
	Helicopsychidae	<i>Helicopsyche sp 3</i>	25	0,370644922
	Hydrobiosidae	<i>Atopsyche sp2</i>	1	0,014825797
		<i>Atopsyche sp .</i>	43	0,637509266
		<i>Atopsyche sp 2.</i>	947	14,04002965
	Hydropsychidae	<i>Macronema sp</i>	1	0,014825797
		<i>Leptonema sp1.</i>	24	0,355819125
		<i>Smicridea sp 2.</i>	22	0,326167532
		<i>Smicridea sp 6.</i>	1590	23,57301705
	Leptoceridae	<i>Trichoptera 5d</i>	25	0,370644922
		<i>Trichoptera 1</i>	97	1,438102298
		<i>Trichoptera 2</i>	30	0,444773907
		<i>Trichoptera 3</i>	23	0,340993328
		<i>Trichoptera 5n</i>	19	0,281690141
		<i>Trichoptera 4n</i>	18	0,266864344
		<i>Trichoptera sp 4f</i>	4	0,059303188
<i>Nectopsyche sp 1.</i>		6	0,088954781	
<i>Leptoceridae sp5</i>		1	0,014825797	
Turbellaria	Tricladidae	<i>Tricladidae sp 1.</i>	2	0,029651594
Ostracoda	Cypridae	<i>Cypridopsis sp 1</i>	13	0,19273536
Decapoda	Pseudothelphusidae	<i>Hypolobocera aequatorialis</i>	3	0,044477391
		<i>Hypolobocera guayaquilensis</i>	13	0,19273536
	Palaemonidae	<i>Macrobrachium tenellum</i>	132	1,957005189
		<i>Macrobrachium inca</i>	92	1,363973314
	Ocypodidae	<i>Uca festae</i>	120	1,779095626
Parastacidae	<i>Cherax quadricarinatus</i>	37	0,548554485	
Diplostraca	Cyclestheridae	<i>Cyclestheria hislopi</i>	14	0,207561156
Monostilifera	Tetrastemmiidae	<i>Nemertea sp1</i>	2	0,029651594
Lepidoptera	Crambidae	<i>Crambidae sp1</i>	1	0,014825797
		<i>Parponyx sp.</i>	58	0,859896219

Tabla 3: Valores de frecuencia/ abundancia de macroinvertebrados obtenidos en la zona de estudio



La diversidad de macroinvertebrados encontrada muestra, a nivel de frecuencias de abundancia global, un predominio de individuos de una especie de *Atopsyche* y otra de *Smicridea*, ambos Trichoptera, en las familias Hydrobiosidae e Hydropsychidae respectivamente, seguidos por los dípteros *Stilobezzia* sp1(Ceratopogonidae) y *Chironomus* sp1(Chironomidae), los moluscos gasterópodos *Ampullaria*(cf)*flagellata* y *Melanoides* sp(posiblemente *Melanoides tuberculata*), el bivalvo *Corbicula fluminea*, un cangrejo violinista en las zonas bajas, *Uca festae*, dos especies de camarón anádromo *Macrobrachium*, *M.inca* y *M.tenellum*, y dos hemípteros de hábitos zooplanctófagos, *Buenoa* sp (Notonectidae) y *Neotrepes* sp (Helotrephidae). Como se aclara más adelante, estas abundancias están ligadas a la zonación altitudinal y biogeográfica en la zona de estudio.

Para comparar los porcentajes usando el componente altitudinal, se expresaron las abundancias en cada altura como plots de rango-abundancia porcentual (Whittaker, 1972),(Figuras 1,2,3,4) a fin de mostrar la estructura de las comunidades.



Cuenca alta rango-abundancia

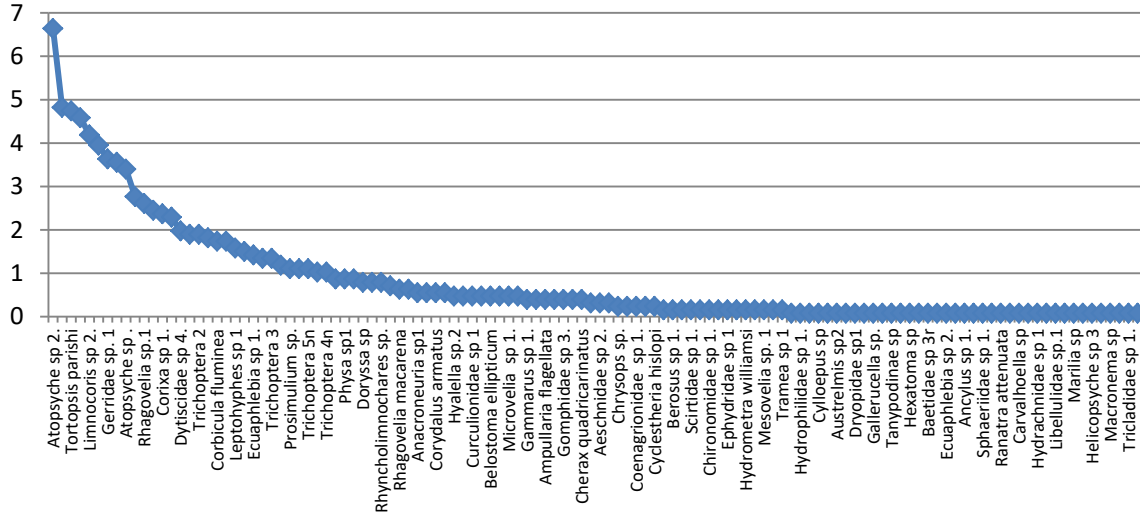


Figura 1: Plot rango-abundancia macroinvertebrados en la cuenca alta

Cuenca media alta rango abundancia

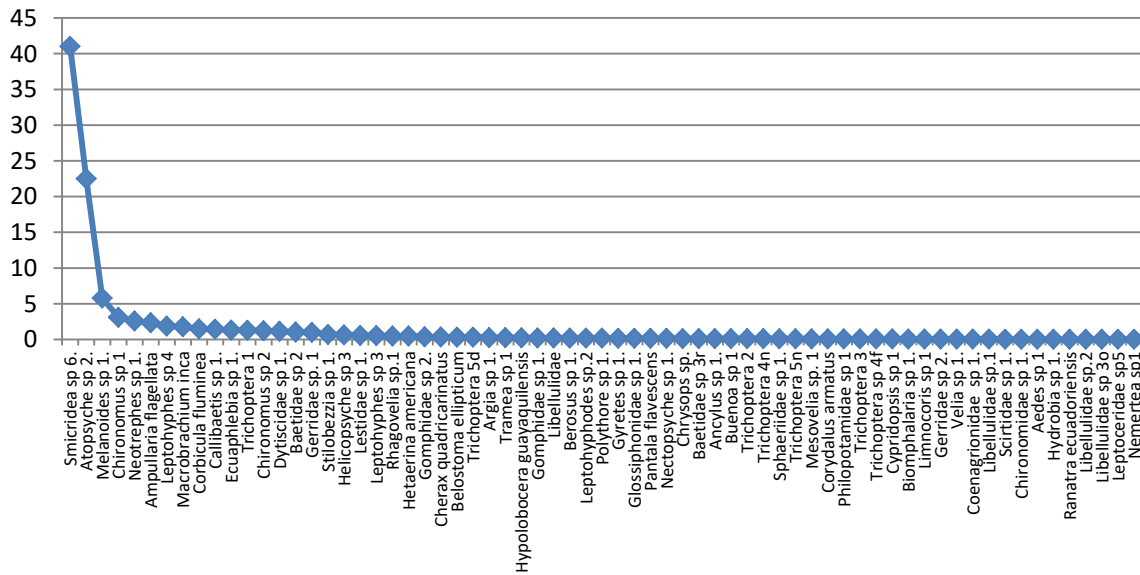


Figura 2: Plot rango-abundancia macroinvertebrados en la cuenca media alta



Cuenca media baja rango-abundancia

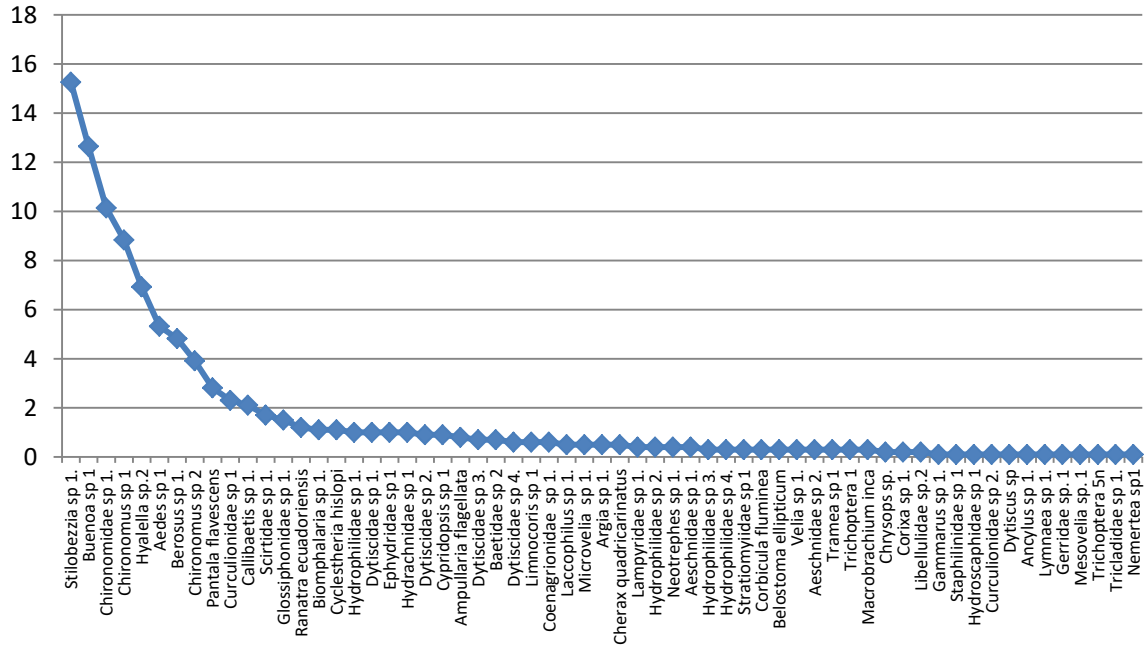


Figura 3: Plot rango-abundancia macroinvertebrados en la cuenca media baja

Cuenca baja rango-abundancia

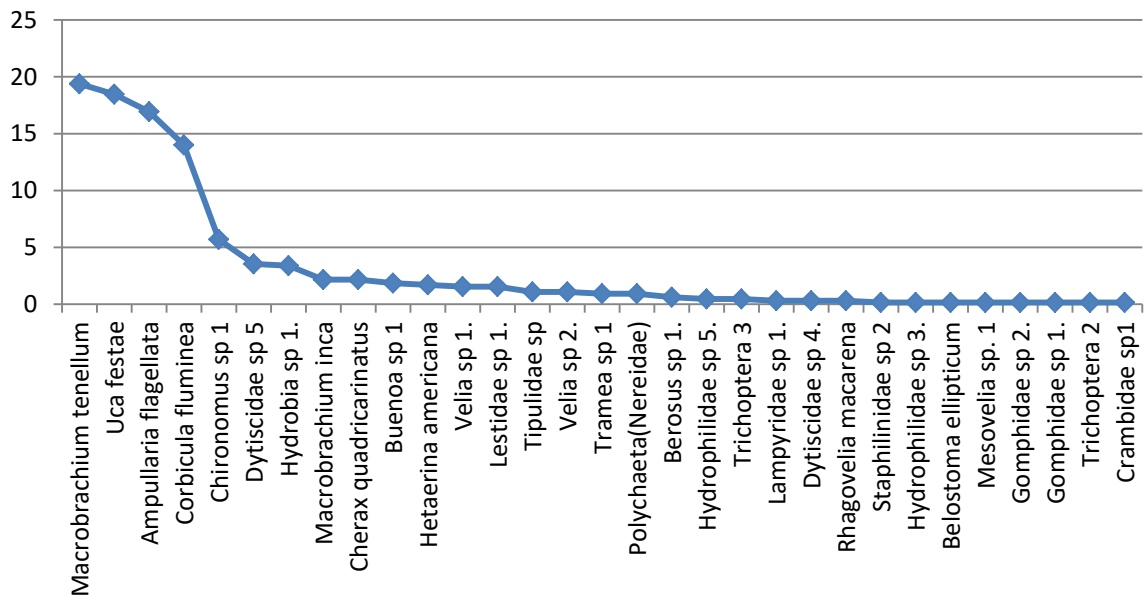


Figura 4: Plot rango-abundancia macroinvertebrados en la cuenca baja



Al dividir la información de abundancia de forma altitudinal en los gráficos de rango-abundancia, se puede observar que en la parte alta de la zona de estudio (desde Santo Domingo hasta el embalse Daule - Peripa), las comunidades son dominadas por *Atopsyche* spp (Hydrobiosidae), *Tortopsis parishi* (Polymitarcyidae), Gerridae y *Limnocois* sp2 (Naucoridae), encontrándose Trichoptera en el rol dominante en abundancia; en la cuenca media alta (altura de Quevedo, Río Baba, Río Palenque) las especies dominantes son *Smicridea* sp6, *Atopsyche* sp2, *Melanoides* sp y *Chironomus* sp1; en la media baja (Chojampe, Abras de Mantequilla, Río Macul) predominan *Stilobezzia* sp1 (Ceratopogonidae), *Buenoa* sp1 (Notonectidae), *Hyallela* sp., y dos especies de Chironomidae, mientras que en la cuenca baja, bajo la influencia de las mareas (Daule, Los Tintos, Río Pula), la comunidad es muy diferente, con predominio del camarón *Macrobrachium tenellum*, el cangrejo violinista *Uca festae*, el caracol *Ampullaria*(cf) *flagellata* y el bivalvo *Corbicula fluminea*. Es de notar que la división altitudinal entre cuenca media baja y media alta corresponde geográficamente con el límite entre dos grandes áreas biogeográficas de la Costa, la región del Chocó (bosques húmedos tropicales) y la región Tumbesina (bosques húmedos tropicales más bosque seco tropical) (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012), lo cual crea una diferencia más marcada entre las faunas que se encuentran a diferentes altitudes. De hecho, la fauna de la parte baja puede haber tenido en el pasado una distribución que llegara más hacia el Norte en la cuenca, antes de las grandes obras hidráulicas que operan en la actualidad, extendiéndose hasta Macul y Salitre, a



juzgar por los topónimos y las conversaciones realizadas con los habitantes de la localidad.

En resumen existirían cuatro grandes comunidades de fauna de macroinvertebrados conviviendo en el área de estudio, separadas por factores biogeográficos y altitudinales, lo cual es algo que debería tenerse muy en cuenta en futuros estudios de la zona, en diversidad y en uso como bioindicadores.

En 2013 se realizó un inventario preliminar de la fauna de macroinvertebrados para la provincia del Guayas (Prefectura del Guayas, 2013), el cual abarcó la cuenca baja y media baja del presente estudio, más varios puntos más hacia el Sur de la latitud de Guayaquil, y otro estudio en el río Guayas (Cárdenas-Calle & Mair, 2014), encontrándose una diversidad que coincide con la encontrada en este estudio, cabe destacar que al prolongarse más hacia el sur el muestreo en este estudio, encontró un incremento en la diversidad de *Macrobrachium*, con tres especies más registradas, la aparición de varios taxa nuevos de Odonata, la añadidura de la familia Haustoriidae a la presencia de Hyalellidae dentro del orden Amphipoda, la aparición de *Melampus cf. carolianus* en Gastropoda, *Polymesoda inflata* en Bivalvia, y mayor abundancia de los parásitos *Bopyrus* sp (Isopoda) y *Piscicola* spp. (Hirudinea) atacando macrocrustáceos y peces respectivamente. Estos estudios también apuntan al hecho de que las fuentes de polución en esta área se están incrementando, y es urgente el repetir estos estudios a fin de disponer de herramientas medioambientales adecuadas para el



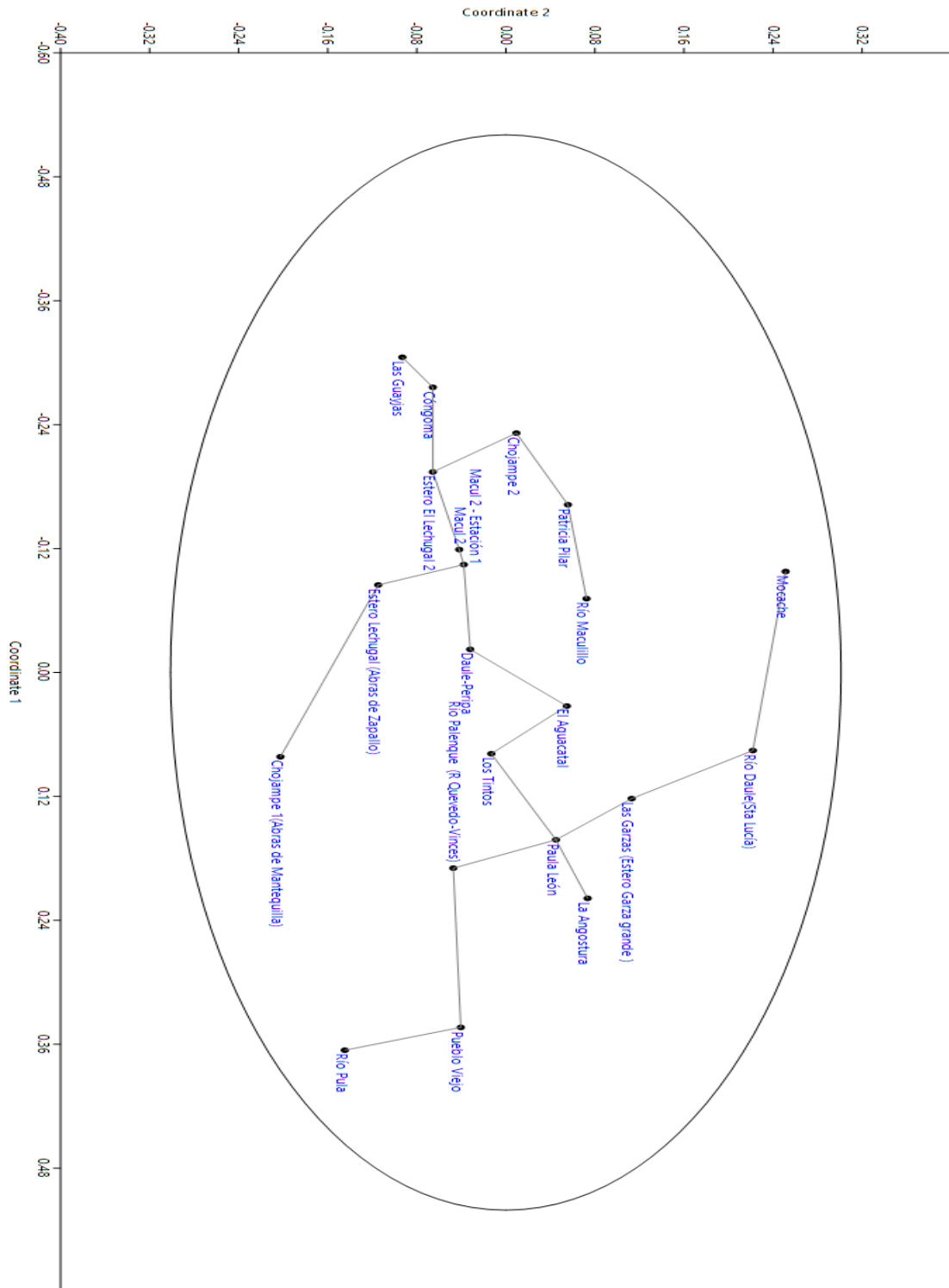
UNIVERSIDAD DE CUENCA

manejo de las comunidades biológicas de agua dulce y la calidad de los cuerpos de agua en sí.

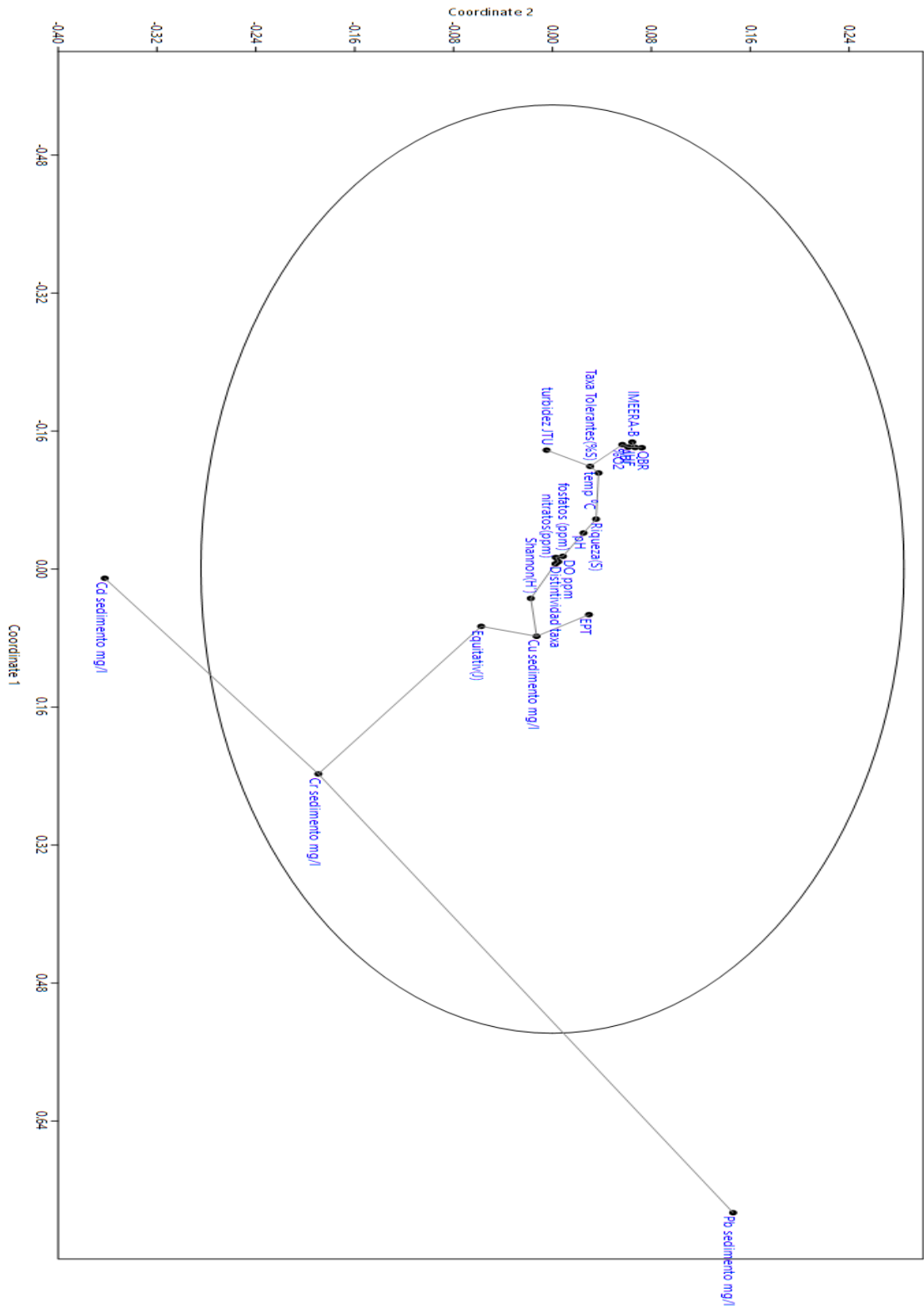
Los resultados obtenidos de la cuantificación de plomo por absorción atómica en los sedimentos en estudio mostraron niveles inferiores al límite de detección (0.25 mg/L). En la detección de cadmio solamente en las muestras colectadas en la Los Tintos se detectó una concentración de 0.28 mg/L. Las muestras restantes presentaron valores inferiores al límite de detección (0.15 mg/L).

Los valores de Cobre y Cromo se mantuvieron dentro de los límites de tolerancia siendo los principales metales presentes dentro de los sedimentos estudiados, con predominancia de Cobre, con promedio en las muestras de 0,93 mg/l y de Cr, con promedio en las muestras de 0,014 mg/l. Los fosfatos y nitratos en las muestras mostraron promedios respectivos de 4,3238 y 4,2857 mg/l, mientras que el oxígeno disuelto, a temperatura promedio de 25,96 grados Celsius, tuvo un promedio de 4,2809 mg/l.

La comparación global entre los sitios de muestreo (Gráfica 1 y Gráfica 3) muestra un agrupamiento correspondiente a la altura y a la vertiente hidrográfica de cada uno de los puntos, apoyando la división ecológica hipotetizada en la metodología de muestreo (alrededor de 30 m.snm).



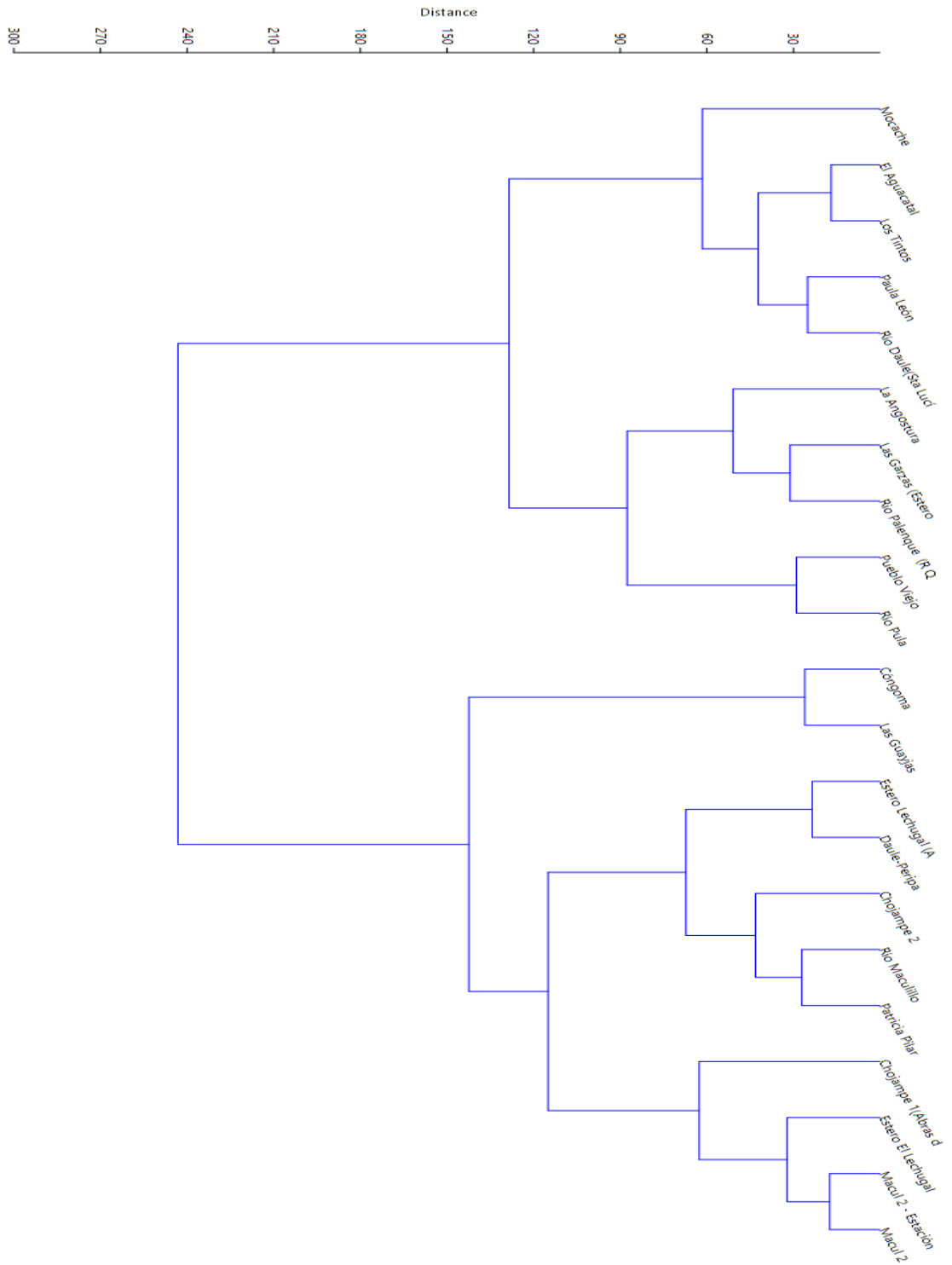
Gráfica 1: MDS Bray Curtiss (sitios agrupados por similitud e influencia mutua)



Gráfica 2: MDS Bray Curtiss(índices agrupados por similitud e influencia mutua)



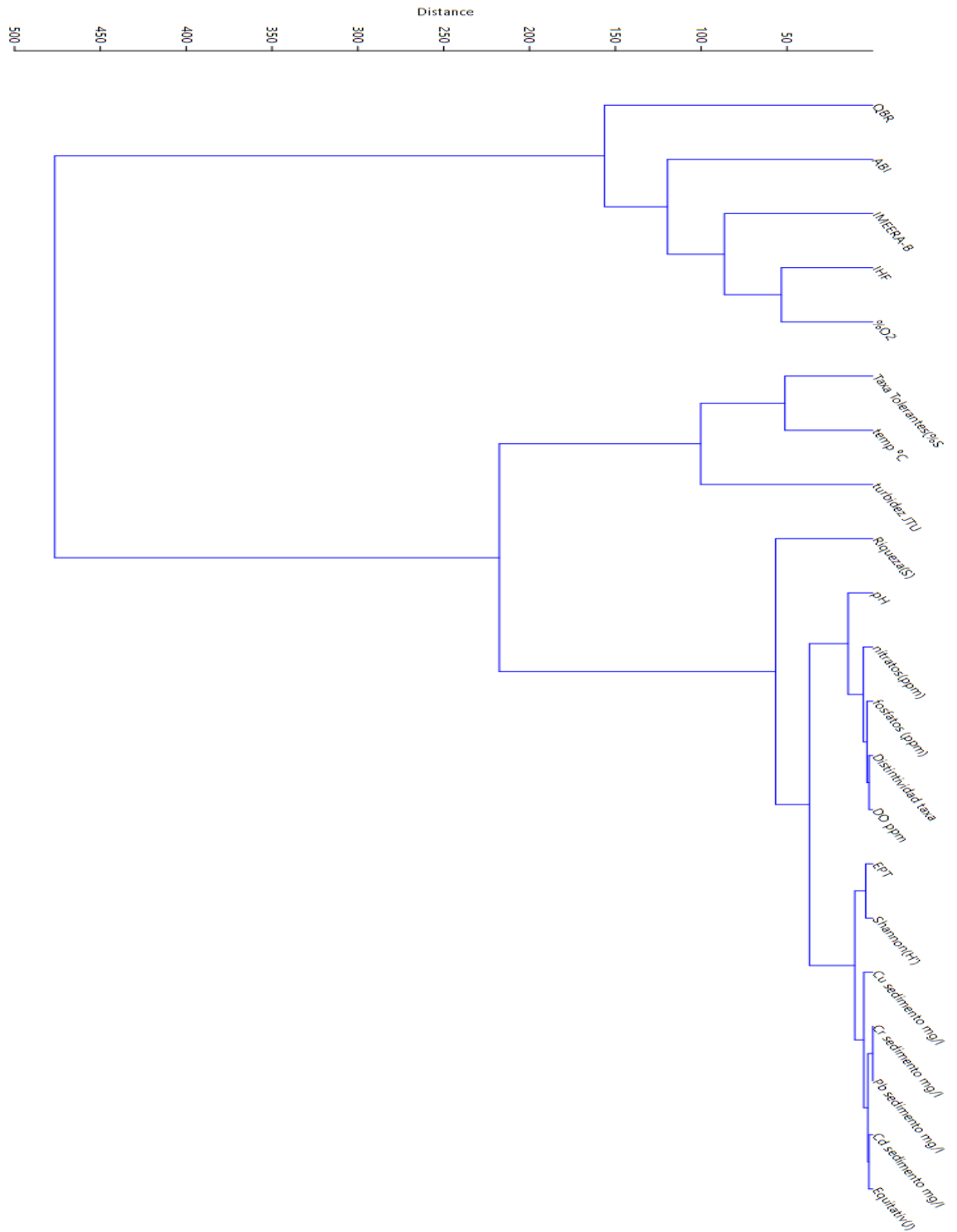
UNIVERSIDAD DE CUENCA



Gráfica 3: Cluster(Método de Ward) similaridad entre sitios por valores de índice



UNIVERSIDAD DE CUENCA



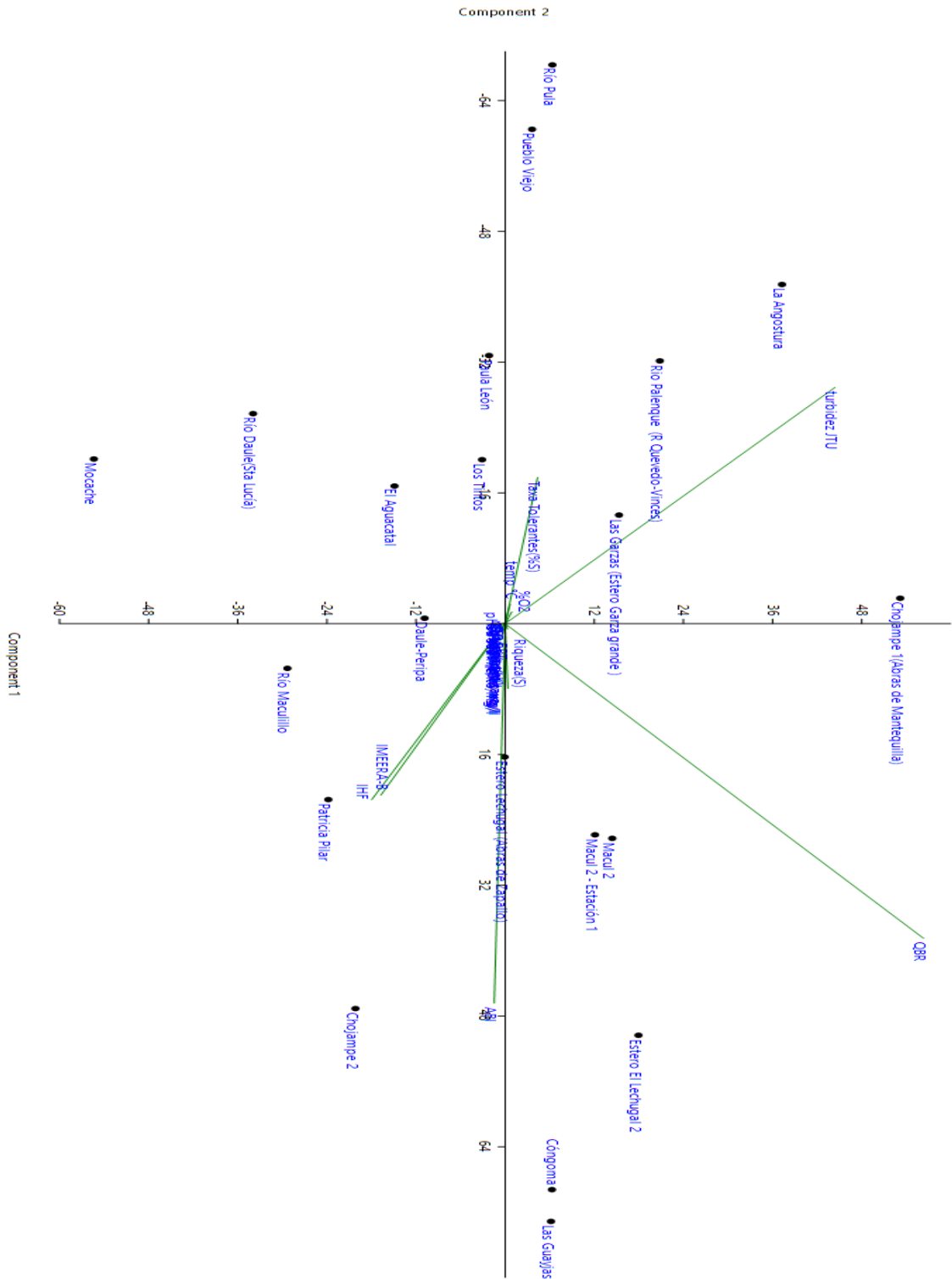
Gráfica 4: Cluster(Método de Ward) similitud total entre índices



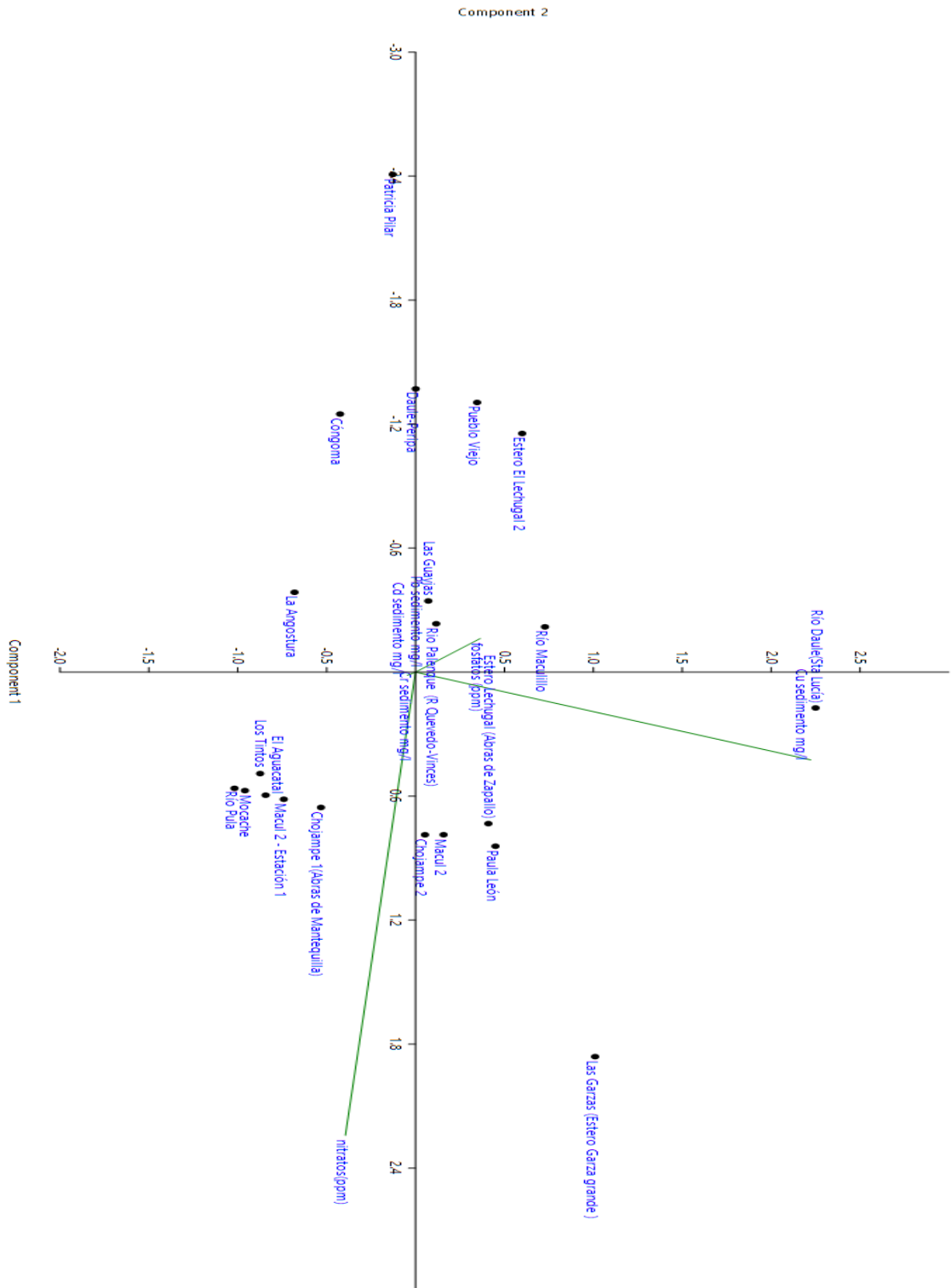
UNIVERSIDAD DE CUENCA

La comparación global (MDS) entre los índices tomados (Gráfica 2 y Gráfica 4) muestra que la presencia de metales pesados, especialmente el Cu, afectan más intensamente los valores de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera), Shannon (H') (diversidad) y J (equitatividad) de la muestra, mientras que nitratos y fosfatos, y en menor grado el pH, afectan los valores de riqueza (número de especies) y distintividad taxonómica (grado de separación filogenética de taxa entre muestras). El porcentaje de taxa tolerantes en las muestras está ligado a turbidez y temperatura, mientras que el oxígeno disuelto tiene una influencia equitativa en los índices generales de calidad de hábitat (QBR, IHF, IMEERA-B y ABI).

El PCA entre sitios e índices (gráfica 5) muestra que los valores de QBR (índice de calidad de ribera) y turbidez son los que más influyen a grandes rasgos la composición de macroinvertebrados encontrada, mientras que el mismo análisis (gráfica 6) realizado sobre los valores químicos muestra que los valores de Cu y de nitratos son los que influyen más la composición de macroinvertebrados.



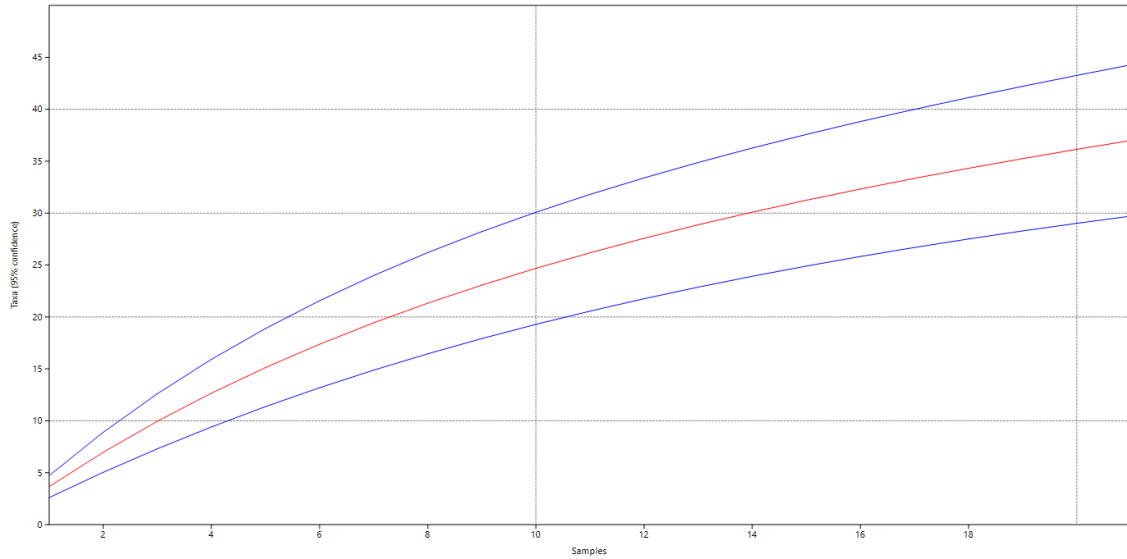
Gráfica 5: PCA de sitios por valores de índices



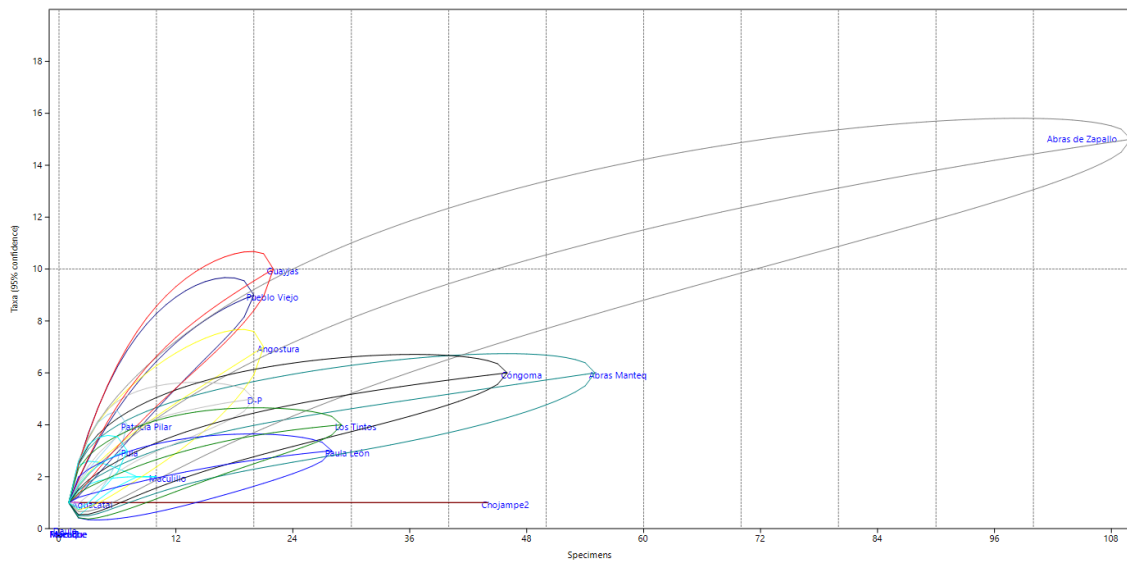
Gráfica 6: PCA de sitios vs valores químicos



Las curvas de rarefacción (gráficas 7 y 8) sugieren una buena cobertura en la diversidad colectada, mostrando estabilización a nivel global, y a nivel de muestras individuales.



Gráfica 7: Curva de rarefacción total del estudio (Mao's Tau)



Gráfica 8: Curvas de rarefacción individual de los sitios



Los resultados respecto a concentraciones químicas (figura 5) mostraron que el Cu es el principal metal pesado presente dentro de los sedimentos, aparentemente derivado de los pesticidas usados en las bananeras y arrozales presentes en toda la zona de muestreo, seguido por el Cr, los fosfatos y nitratos se encontraron en el agua en cantidades moderadas (alrededor de 4 mg/l).

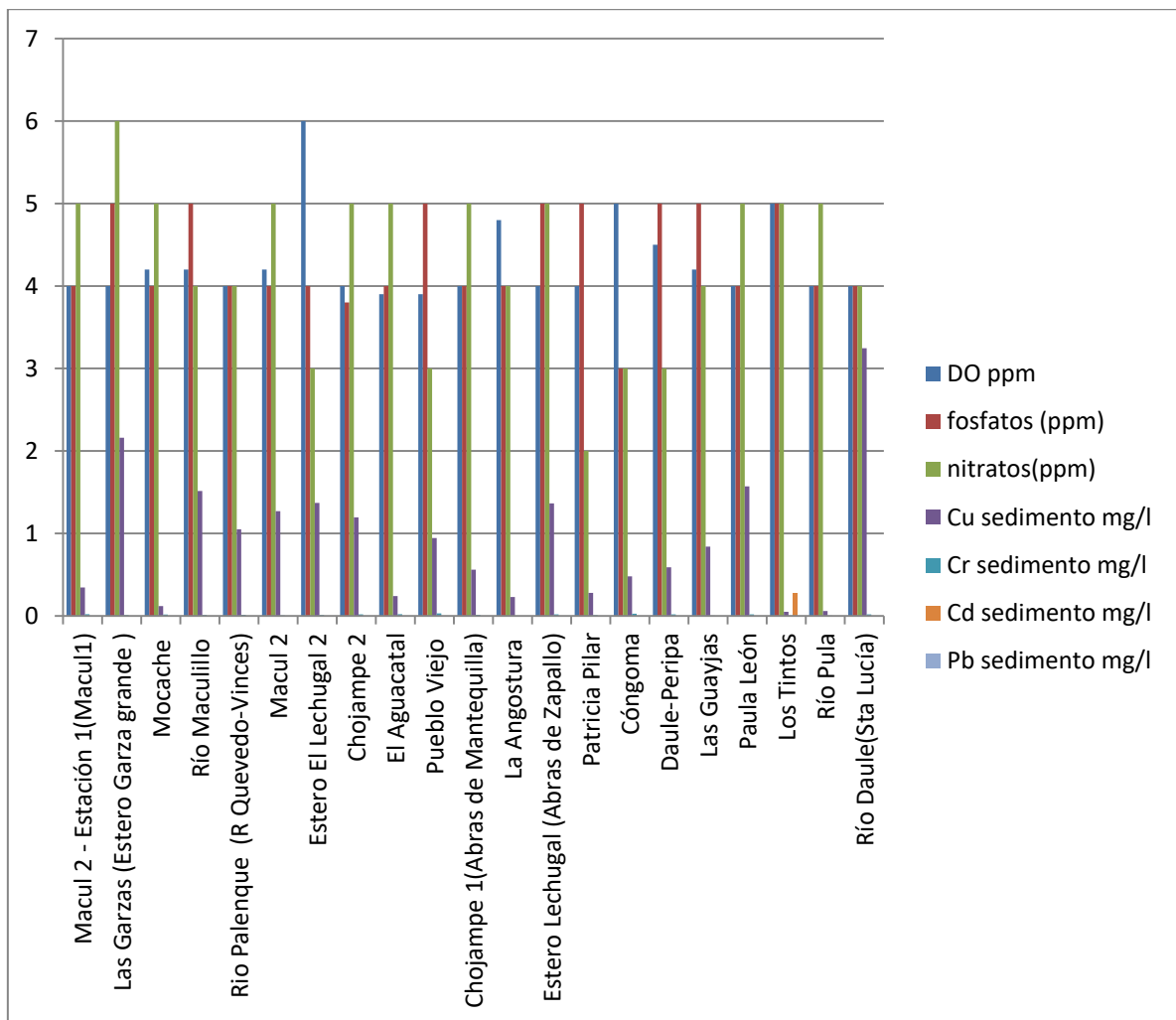


Figura 5: Valores químicos en los sitios de estudio



Al comparar los valores en el sedimento con los límites permitidos por el Ministerio del Ambiente para agua (2014) y suelo (2002) se puede observar que los valores están muy por debajo de los límites para suelo, en el caso del Cu, se encuentran por encima de los límites tolerables para agua, en el caso del Cr, se encuentran justo por debajo de los límites de preservación de vida acuática, para agua dulce, mientras que el Cd en la zona de Los Tintos se encuentra sobre dichos límites para agua.

Metales en el suelo y en el agua (mg/l o mg/kg)				
	Cu	Cr	Cd	Pb
Agua, Límites permitidos para consumo humano y ganadero (Min.Amb.2014)	2	0,05	0,003	0,01
Agua, Límites permitidos para preservación de vida acuática (aguas dulces)(Min.Amb.2014)	0,005	0,032	0,001	0,001
Agua, Límites permitidos para uso agrícola (Min.Amb.2014)	0,2	0,1	0,05	5
Suelo, Límites permitidos para el suelo (Min.Amb.2002)uso agrícola	63	65	2	100
Suelo, Límites permitidos para el suelo (Min.Amb.2002)uso residencial	63	65	5	100
Suelo, Límites permitidos para el suelo (Min.Amb.2002)uso comercial	63	90	10	150
Suelo, Límites permitidos para el suelo (Min.Amb.2002)uso industrial	63	90	10	150

Tabla 4: Límites permisibles de los metales pesados del estudio en agua y suelo

Los macroinvertebrados en los sitios se ven afectados, principalmente, por el Cu, el cual afecta a los taxa sensibles englobados en el índice EPT, así como a la diversidad y equitabilidad de las poblaciones, mientras que los nitratos y fosfatos alteran el número de especies y su diversidad taxonómica. Factores



UNIVERSIDAD DE CUENCA

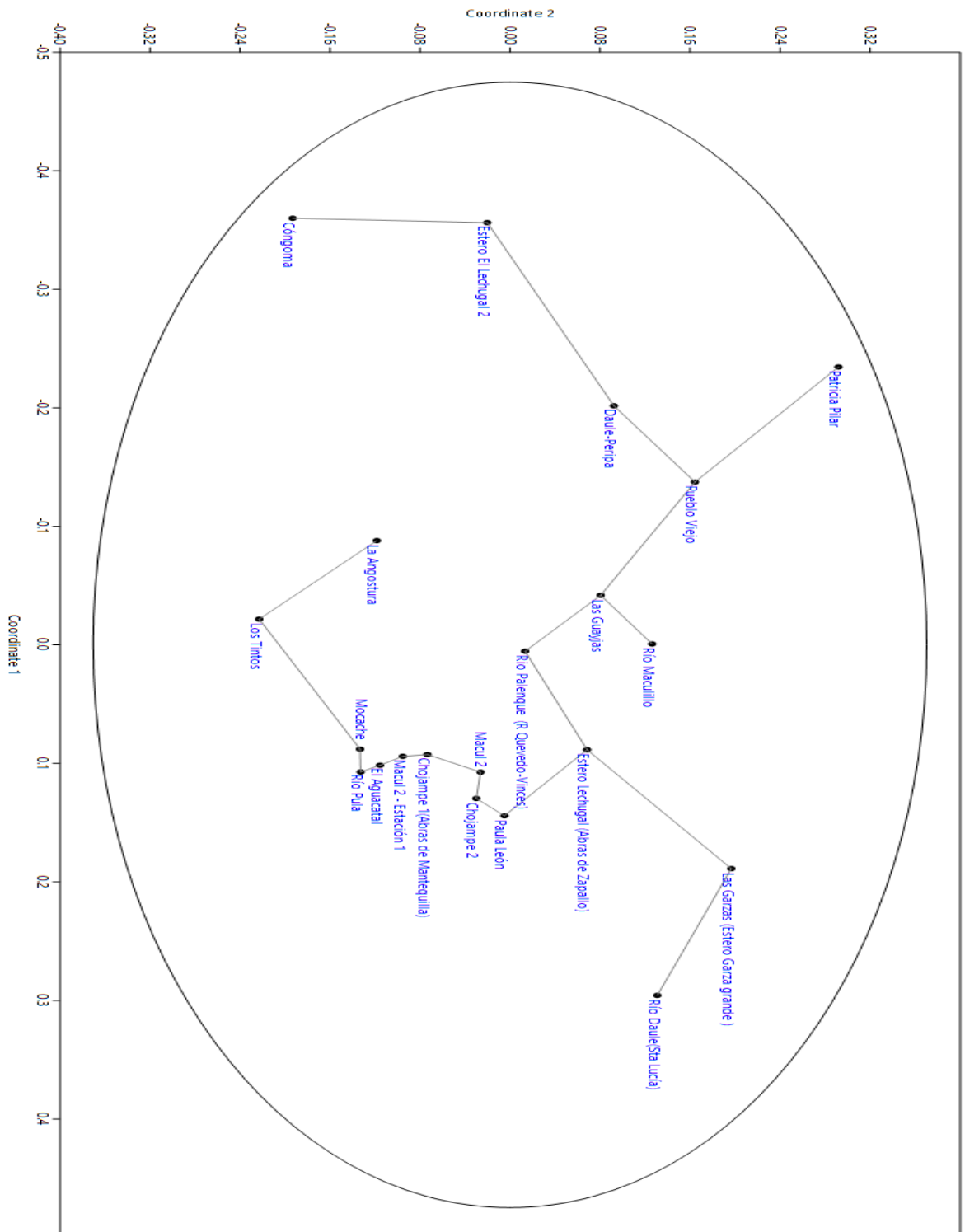
de menor importancia comparativamente son la turbidez, temperatura y oxígeno disuelto de cada punto de muestreo.

El hecho de que el Cu sea el factor que influya más fuertemente en los macroinvertebrados, comunidad que está fuertemente dominada por artrópodos, se debe a que durante la muda de exoesqueleto característica de este taxa éstos se encuentran particularmente vulnerables a los contaminantes, y, a la vez, el Cu es parte importante del metabolismo natural de los crustáceos, lo cual los hace particularmente vulnerables a este elemento (Zhenguang & Zhengtao, 2015).

La comparación global entre sitios por composición química en agua y sedimento (gráficas 9 y 10) aparentemente están ligadas con la presencia de bananeras y arrozales, las cuales aparentemente se concentran en la zona media del muestreo, alrededor de los 30 m.snm, y en la zona del río Baba en la parte alta del mismo.



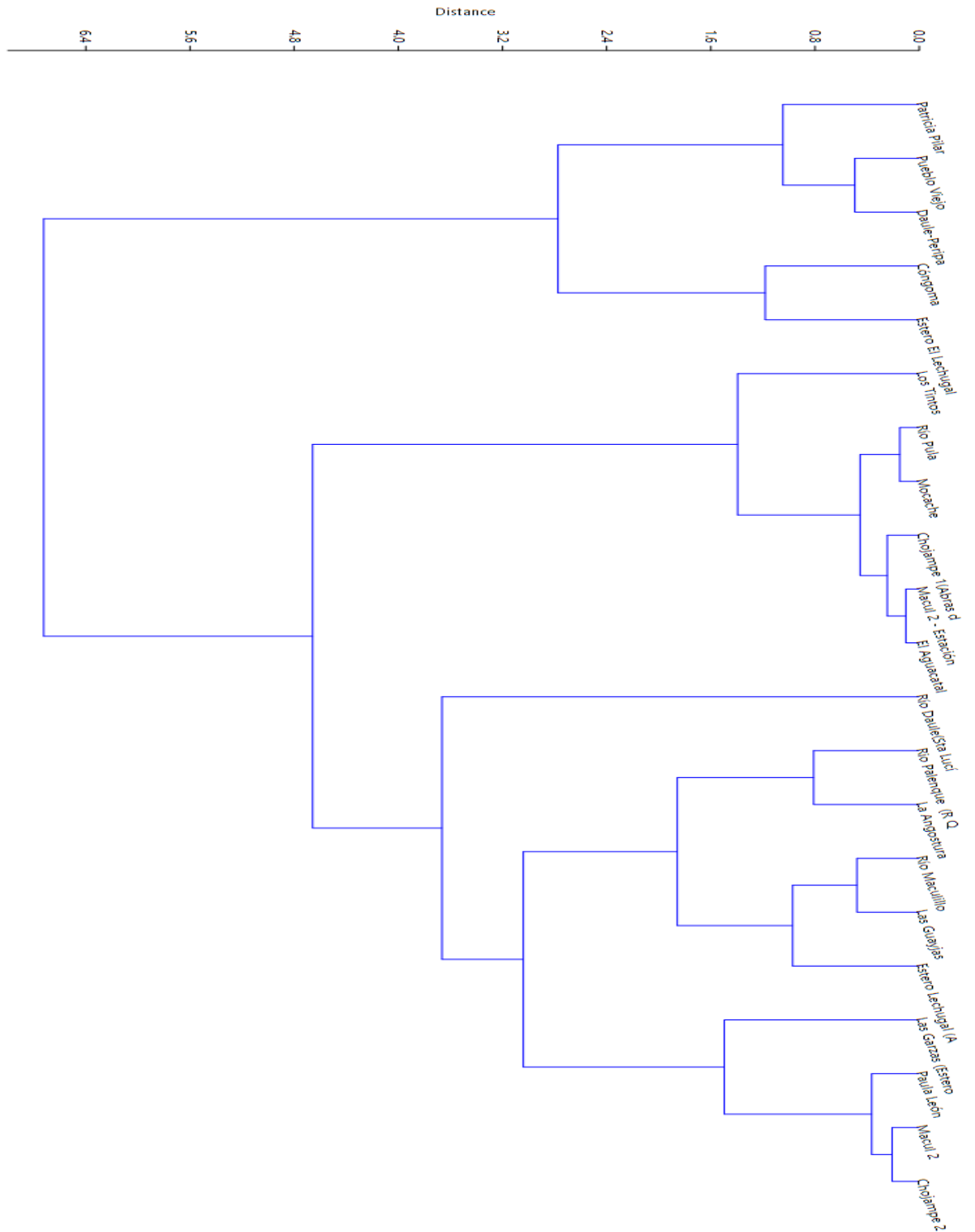
UNIVERSIDAD DE CUENCA



Gráfica 9: MDS(Bray Curtiss) de los sitios por composición química



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Gráfica 10: Cluster (método de Ward) de los sitios por composición química



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Los sitios en Daule (Santa Lucía), Las Garzas, Maculillo, Paula León y Abras de Zapallo mostraron los valores más elevados de Cu en sedimento, lo cual aparentemente está ligado a la presencia de cultivos intensivos en mayor concentración en dichas zonas.

Los valores de fosfatos y nitratos en el agua son muy constantes, lo cual está ligado a la alta presencia humana en toda la zona de estudio, cuyas actividades contribuyen en forma uniforme a la liberación de estos compuestos en las aguas de la zona.

Pueblo Viejo, el sitio con la concentración de cromo más elevada, y Río Pula, el punto con porcentajes de Taxa tolerantes más altos, muestran los valores de índice de diversidad más bajos.



CONCLUSIONES

La presencia de metales (Cu, Cr, y Cd) encontrados en los sedimentos (Cu, con promedio en las muestras de 0,93 mg/l ; Cr, con promedio en las muestras de 0,014 mg/l., Cd, presente sólo en Los Tintos, con concentración de 0,28 mg/l), sugieren un aporte principalmente de origen agrícola, correspondiente al desarrollo humano presente en la zona, y diferente del de países industrializados como China, donde el principal contaminante es el Cd, seguido por el Zn y el Pb en importancia (Li, 2014) encontrándose en los sedimentos en dosis inferiores a los valores límite establecidos para suelo por el Ministerio de Ambiente, pero superiores a los valores establecidos para la columna de agua, lo cual sugiere que, al tratarse de sedimentos fluviales, parte de dichos metales tienen potencial para liberarse a dicha columna de agua en dosis potencialmente riesgosas para la preservación de la vida acuática y el uso humano.

El cobre es el principal metal presente en los sedimentos en la zona de estudio, seguido por el cromo. Se encontró cadmio únicamente en la localidad de Los Tintos, mientras que, aparentemente, no se encuentra plomo en los mismos en cantidades detectables dentro de los puntos.

Los sitios muestran un grado de intervención variable, con una composición de fauna béntica influenciada principalmente por el QBR (índice de calidad de ribera) ligado a la intervención en la vegetación, con reemplazo de la flora nativa por cultivos y alteración



UNIVERSIDAD DE CUENCA

de las riberas por construcciones diversas; por turbidez, ligada a la alteración de las mismas riberas, que permite mayor cantidad de partículas suspendidas en el agua; mientras que el Cu, como elemento toxicológico directo, y los nitratos, al incrementar la productividad primaria, son los factores principales a nivel químico. Los sitios más y menos afectados muestran una distribución en la zona, aparentemente ligados a la presencia de grandes cultivos agrícolas dentro del área de estudio, las cuales son aparentemente el factor principal en la variación en la calidad de fauna muestreada en los sitios de estudio.

Dentro de la diversidad de la fauna de macroinvertebrados, se observó el hecho de que la misma corresponde, dentro de la zona de estudio, a cuatro grandes subconjuntos faunísticos distintos, los cuales se van sucediendo de forma continua de sur a norte de la cuenca, y aparentemente corresponden, respectivamente, 1- a la fauna estuarina y adaptada a fluctuaciones temporales en la salinidad del agua; 2- a un componente dulceacuícola de la zona biogeográfica Tumbesina; 3- a otro componente dulceacuícola diferenciado, con influencia del Chocó biogeográfico, 4- y un último componente con inclusiones faunísticas de estribaciones de la cordillera, marcado hacia el norte del área de estudio.

Se observaron durante el tiempo de estudio, en los sitios de muestreo, la presencia de signos de contaminación, tales como frascos vacíos usados de compuestos agroquímicos, el aumento de poblaciones humanas en las márgenes de los ríos, y, especialmente en las partes situadas hacia el Sur, signos de polución física tales



UNIVERSIDAD DE CUENCA

como acumulaciones de basura, y secciones de los cuerpos de agua con signos de contaminación orgánica (eutrofización). La contaminación bacteriana, evaluada por los coliformes fecales, queda como un pendiente para futuros estudios. Existen algunos estudios, mencionados en el curso de la exposición de resultados (Prefectura del Guayas, 2013) (Navarrete, 2013) (Cárdenas-Calle & Mair, 2014) que junto con otros que se realicen, permitirán iniciar una comprensión clara del status medioambiental de esta importante área biogeográfica, al haber sentado los precedentes para una futura red de monitoreo para esta cuenca, como las que existen para cuencas hidrográficas europeas (Acosta, Ríos, Rieradevall, & Prat, 2009) a fin de monitorear y manejar adecuadamente las influencias ambientales perjudiciales dentro de un área tan rica, al mismo tiempo, en recursos hidrográficos y suelo cultivable, y con una población humana tan elevada. Las amenazas principales para la cuenca siguen siendo, por una parte, la creciente presión agrícola y poblacional creada por el incremento en la disponibilidad de agua de riego, y por otra, el desconocimiento de los ecosistemas y patrones biológicos existentes dentro de la zona.

Fundamentalmente se aplicaron en el desarrollo de este trabajo tópicos de Química Ambiental, Estadística, Toxicología Regulatoria, Hidrobiología y Ecología Acuática.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

RECOMENDACIONES

Para desarrollar réplicas de este estudio, se recomienda que el equipo de campo disponga de un espectrofotómetro portátil, similar al HACH DR2800, junto a los kits adecuados para realizar análisis in situ de la columna de agua. Los valores de Pb en el sedimento de los sitios son aparentemente poco importantes, pero los mismos en la columna de agua necesitan verificación. La presencia de otros contaminantes, como fenoles, organoclorados y Hg, son cofactores que por el factor tiempo no se analizaron en el presente estudio, pero es posible que tengan influencia complementaria en la diversidad de fauna de macrozoobentos, y permitan delimitar con más precisión las fuentes de contaminación dentro del área de estudio. También sería interesante realizar un análisis de la presencia de dichos metales y compuestos en la biomasa de las macrófitas y de los macroinvertebrados en sí, y eventualmente en los siguientes niveles tróficos de peces, tortugas, aves acuáticas y seres humanos.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., & Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 35-64.
- Cárdenas-Calle, M., & Mair, J. (2014). Caracterización de macroinvertebrados bentónicos de dos ramales estuarinos afectados por la actividad industrial, Estero Salado-Ecuador. *Intropica*, 9 118 - 128.
- CEDEGE, Naciones Unidas. (1983). *Plan regional integrado de la Cuenca del Río Guayas y de la Península de Santa Elena*. Guayaquil: CEPAL/ILPES.
- F. Rossel, E. C., & Gómez, G. (1996). Inundaciones en la Zona Costera Ecuatoriana: Causas; Obras de Protección Existentes y Previstas. *Bull. Inst. fr. Études andines*, 399-420.
- Galán Huertos Emilio, R. B. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *Macla 10* (págs. 48-60). Sevilla: Universidad de Sevilla, Facultad de Química.
- González, E., Ahumada, R., & Medina, V. (2004). Espectrofotometría de absorción atómica con tubo en la llama: aplicación en la determinación total de cadmio, plomo y zinc en aguas frescas, agua de mar y sedimentos marinos. *Quim. Nova*, 6:873-877.
- Harper, D. A. (1999). *Numerical Palaeobiology: Computer-based Modelling and Analysis of Fossils and their Distributions*. New Jersey: John Wiley and Sons.
- K.R. Clarke, R. W. (1999). The taxonomic distinctness measure of biodiversity: weighing the step lengths between hierarchical levels. *Mar Ecol Prog Ser*, 18:21-29.
- Lenat, D. R. (1998). Macroinvertebrates Quality Assessment of streams using a qualitative collection method for benthic. *Journal of the North American Benthological Society*, 222-223.
- Li, J. (2014). Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments from the Yanghe River, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11, 12441-12453;.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2012). *Sistema de clasificación de los ecosistemas de Ecuador continental*. Quito: Subsecretaría de Patrimonio Nacional.
- Navarrete, J. H. (2013). *Estudio de las aguas y sedimentos del río Daule, en la Provincia del Guayas, desde el punto de vista físico químico, orgánico, bacteriológico y toxicológico*. las Palmas: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (Tesis Doctoral).



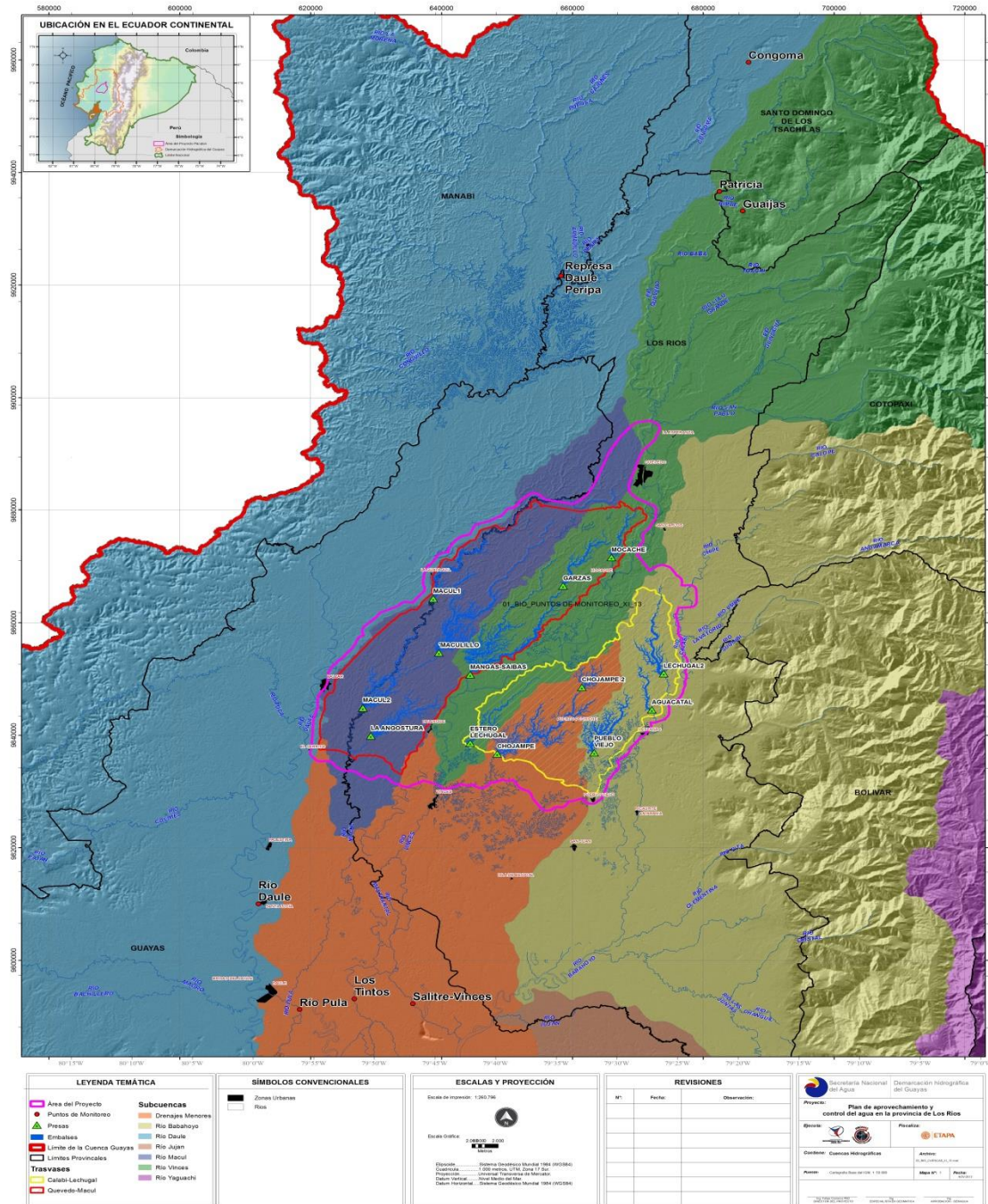
UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Novotny, V. (1995). Diffuse sources of pollution by toxic metals and impacts on receiving waters. *Heavy Metals*, 33-52.
- Prefectura del Guayas. (2013). *CALIDAD DE LAS AGUAS DE LOS CUERPOS HÍDRICOS DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS MEDIANTE EL USO DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REGISTRADOS DURANTE NOVIEMBRE DE 2012 Y MARZO DE 2013*. Guayaquil: Prefectura del Guayas.
- Secretaría Nacional del Agua. (2009). *Resumen, Problemática y Conflictos sobre Recursos Hídricos por Efecto del cambio Climático Convenio DED-SENAGUA*. Quito.
- Soledispa P., B. (2002). Estudio de los sedimentos del sector donde convergen los ríos Daule y Babahoyo, y las posibles causas que están formando un islote en ese sector. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 1-16.
- Taguchi, Y.-H. O. (2005). Relational patterns of gene expression via non-metric multidimensional scaling analysis. *Bioinformatics*, 21:730-40.
- Villamarín, C. (2013). A tool to assess the ecological condition of tropical high Andean streams in Ecuador and Peru: The IMEERA Index. *Ecological Indicators*, 29:79-92.
- Ward, J. (1963). Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*, 58, 236–244.
- Whittaker, R. H. (1972). Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 213-251.
- Zhenguang, Y., & Zhengtao, L. (2015). *Toxic Pollutants in China: Study of Water Quality Criteria*. Beijing: Springer.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ANEXOS



Anexo 1: Mapa de los puntos de muestreo durante el estudio (PROMAS, Proyecto PACALORI 2013)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Localidad	Coordenadas UTM(WGS84)		Altitud(m.snm)
<i>Macul</i>	<i>676388</i>	<i>9864383</i>	<i>2</i>
<i>Las Garzas</i>	<i>658532</i>	<i>9866070</i>	<i>61</i>
<i>Mocache</i>	<i>665820</i>	<i>9871434</i>	<i>3</i>
<i>Maculillo</i>	<i>640688</i>	<i>9856716</i>	<i>30</i>
<i>Mangas Saivas</i>	<i>643888</i>	<i>9848041</i>	<i>33</i>
<i>Macul 2</i>	<i>629092</i>	<i>9847462</i>	<i>24</i>
<i>Lechugal 2</i>	<i>674286</i>	<i>9849577</i>	<i>47</i>
<i>Chojampe 2</i>	<i>661301</i>	<i>9848414</i>	<i>72</i>
<i>Pueblo Viejo</i>	<i>663390</i>	<i>9835613</i>	<i>28</i>
<i>Aguacatal</i>	<i>672364</i>	<i>9844279</i>	<i>28</i>
<i>Chojampe (Abras de Mantequilla)</i>	<i>647551</i>	<i>9835154</i>	<i>25</i>
<i>La Angostura</i>	<i>629130</i>	<i>9839900</i>	<i>18</i>
<i>Estero Lechugal (Abras de Zapallo)</i>	<i>644733</i>	<i>9838765</i>	<i>34</i>
<i>Patricia Pilar</i>	<i>682466</i>	<i>9936641</i>	<i>146</i>
<i>Represa Daule-Peripa</i>	<i>658256</i>	<i>9921658</i>	<i>104</i>
<i>Congoma</i>	<i>686909</i>	<i>9959598</i>	<i>300</i>
<i>Guaijas</i>	<i>686040</i>	<i>9933161</i>	<i>218</i>
<i>Salitre-Vinces</i>	<i>635607</i>	<i>9800000</i>	<i>15</i>
<i>Río Los Tintos</i>	<i>962653</i>	<i>9793145</i>	<i>17</i>
<i>Río Pula</i>	<i>618286</i>	<i>9791272</i>	<i>17</i>
<i>Río Daule</i>	<i>612001</i>	<i>9810036</i>	<i>18</i>

Anexo 2: Coordenadas de los puntos de muestreo(UTM,WGS84)