



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
INDOAMÉRICA**

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN BIODIVERSIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO.

TEMA:

**CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA Y COMPOSICIÓN DE
COMUNIDADES DE MACROINVERTEBRADOS EN CUERPOS DE
AGUA DE COTACACHI PARA DISEÑAR PLANES DE
BIOMONITOREO Y GESTIÓN**

**Trabajo de investigación previo a la obtención del título de Magíster en
Biodiversidad y Cambio Climático.**

**Autora: Mónica Soraya Arellano Miño
Tutor: PhD. Ibon Tobes Sesma**

QUITO – ECUADOR

2020

Índice de contenido

AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	v
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	vii
APROBACIÓN TRIBUNAL	viii
DEDICATORIA	ix
AGRADECIMIENTO	x
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	5
Área de estudio.....	5
Zonas de Muestreo	6
Población, Muestra.....	8
Método	8
Muestreo de los macroinvertebrados acuáticos.....	8
Laboratorio.....	9
Medición de parámetros <i>in situ</i>	10
Muestreo del entorno físico.....	10
Análisis de datos	11
CAPITULO III: RESULTADOS	13
Composición de macroinvertebrados acuáticos entre ríos	14
Composición de macroinvertebrados acuáticos entre puntos de muestreo	14
Índice ABI entre ríos	25
Índice ABI entre puntos	25
Abundancia entre ríos	25
Abundancia y Riqueza entre puntos de muestreo de cada río.....	26
Similitud entre puntos de muestreo.....	28

Similitud entre los ríos de estudio.....	30
Análisis de Componentes Principales (PCA).....	33
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN	38
Discusión correlaciones	46
Conclusiones	47
Recomendaciones.....	49
Tabla 1 Puntos de muestreo	7
Tabla 2. Características físico-químico de los ríos de estudio	13
Tabla 3. Criterios de calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en agua dulce, fría o cálida, del TULSMA-Acuerdo Ministerial N°028.....	14
Tabla 4. Abundancia de MIA colectados por punto de muestreo.....	12
Tabla 5. Diferencias en la riqueza de especies entre los ríos	25
Tabla 6. La abundancia entre los ríos de estudio	26
Tabla 7. Diferencia significativa de la riqueza de especies entre los puntos de muestreo del río Pichambiche	26
Tabla 8. Diferencia significativa de la riqueza de especies entre los puntos de muestreo del río Pichaví.....	27
Tabla 9. Diferencia significativa de la abundancia entre los puntos de muestreo del río Pichaví.	27
Tabla 10. Diferencia significativa de la abundancia entre los puntos de muestreo de la Marquesa	28
Tabla 11 Variabilidad de cada uno de los componentes principales	33
Figura 1. Mapa de los ríos principales al norte de la Provincia de Imbabura	5
Figura 2. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo	7
Figura 3. Taxa, familias (Fmls), órdenes (Ordns).....	14
Figura 4. Diversidad verdadera, dominancia y ABI.	14
Figura 5. Similitud entre puntos de muestreo	29
Figura 6. Índice de similitud entre los ríos.....	30

Figura 7. Índices de calidad IHF y QBR-And	31
Figura 8. Índice de calidad ABI, IHF y QBR_And entre ríos.....	32
Figura 9. PCA, componente 1 y 2	34
Figura 10. Sustratos finos.....	35
Figura 11. ABI-Sombra Figura 12 ABI-QBR-And	3
Figura 13 ABI-GuijarrosFigura 14 ABI-Cantos rodados.....	35
Figura 15 ABI-Profundidad	37
Figura 16 ABI-Conductividad.....	37
Figura 17 ABI e IHF.	37
Figura 18 ABI - TH ₂ O Figura 19 ABI - VM	37
Ilustración 1 Rangos de ABI, IHF y QBR-And	31

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Mónica Soraya Arellano, declaro ser autora del Trabajo de Investigación con el nombre **“CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA Y COMPOSICIÓN DE COMUNIDADES DE MACROINVERTEBRADOS EN CUERPOS DE AGUA DE COTACACHI PARA DISEÑAR PLANES DE BIOMONITOREO Y GESTIÓN”**, como requisito para optar al grado de Magíster en Biodiversidad y Cambio Climático y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad Tecnológica Indoamérica (UTI) tenga convenios. La UTI no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán comprometidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 27 días del mes de noviembre de 2020, firmo conforme:

Autor: Mónica Soraya Arellano Miño

Firma: 

Número de Cédula: 1711895969

Dirección: Conocoto (Ontaneda)

Correo monyna_sora@hotmail.com

Teléfono: 0987443457

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA Y COMPOSICIÓN DE COMUNIDADES DE MACROINVERTEBRADOS EN CUERPOS DE AGUA DE COTACACHI PARA DISEÑAR PLANES DE BIOMONITOREO Y GESTIÓN” presentado por Mónica Soraya Arellano Miño, para optar por el Título de Magíster en Biodiversidad y Cambio Climático.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, 27 de noviembre de 2020



PhD. Ibon Tobes Sesma

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Magíster en Biodiversidad y Cambio Climático, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Quito, 27 de noviembre de 2020



Mónica Soraya Arellano Miño

1711895969

APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: “CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA Y COMPOSICIÓN DE COMUNIDADES DE MACROINVERTEBRADOS EN CUERPOS DE AGUA DE COTACACHI PARA DISEÑAR PLANES DE BIOMONITOREO Y GESTIÓN”, previo a la obtención del Título Magíster en Gestión Biodiversidad y Cambio Climático, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Quito, 27 de noviembre de 2020



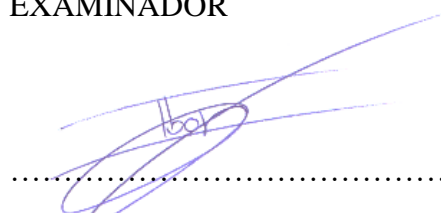
.....
Lic. Silvana Gállegos Sánchez, MSc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



.....
Lic. Fabian Bersosa Vaca, Mg.

EXAMINADOR



.....
EXAMINADOR/DIRECTOR DE TRABAJO

Ibon Tobes Sesma, PhD

DEDICATORIA

Dedico con todo mi amor esta investigación a mi madre, pues sin ella no lo habría logrado. Ella es mi motor, ejemplo e impulso para continuar con mis objetivos.

A Patricio Mena Olmedo, por ser siempre mi soporte y por desear que sea cada día mejor en todo aspecto. No me queda más que decir que en ti encuentro paz y amor.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Tecnológica Iberoamérica por la oportunidad que he tenido para realizar esta investigación. Además, doy gracias a mi tutor Ibon Tobes por su apoyo tanto en la parte técnica, académica y en el financiamiento de esta investigación. Expreso un agradecimiento muy especial para mi amigo Vladimir Carvajal que ha sido una persona muy solidaria y generosa en compartir sus conocimientos sobre los macroinvertebrados acuáticos. De la misma forma, agradezco a mis queridas amigas Edith Montalvo y Eva Tamargo, que me brindaron su ayuda en el campo para el desarrollo de ésta investigación.

Agradezco a la sección de entomología del Departamento de Biología de la Escuela Politécnica Nacional por permitirme utilizar las instalaciones para el proceso de identificación y depósitos de muestras. Agradezco a Cecilia Criollo por su colaboración y ayuda con la identificación de macroinvertebrados acuáticos.

Le doy gracias a Javier Patricio Mena Olmedo por ser quién me ayudó gran parte de la fase de campo, identificación de las especies y análisis de datos.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOMÉRICA

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN BIODIVERSIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO

**TEMA: CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA Y COMPOSICIÓN DE
COMUNIDADES DE MACROINVERTEBRADOS EN CUERPOS DE
AGUA DE COTACACHI PARA DISEÑAR PLANES DE
BIOMONITOREO Y GESTIÓN**

AUTOR: Mónica Soraya Arellano Miño

TUTOR: Ibon Tobes Sesma, PhD

La presente investigación caracterizó la composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos que atraviesan centros urbanos afectados por actividades relacionadas con la curtiembre del cuero, y otras actividades agrícolas y ganaderas en pequeña escala. Un caso muy claro de esta situación son los ríos Pichaví y Pichambiche que atraviesan la ciudad de Cotacachi, en la zona norte de los Andes ecuatorianos. Para poder tener un sistema acuático que sirviera de control se escogió el río la Marquesa. Para realizar esta caracterización se emplearon métodos ampliamente utilizados en la evaluación ambiental acuática, como la determinación de parámetros físico-químicos, captura de macroinvertebrados acuáticos con la red surber y la aplicación de protocolos para la determinación de índices bióticos, de hábitat fluvial y calidad de ribera. También se estimó la riqueza de familias y morfoespecies y se determinó la similitud entre puntos de muestreo y entre cuerpos de agua analizados. Con los resultados se procedió a realizar un Análisis de Componentes Principales (PCA) para determinar las variables que influyen de mayor manera la distribución de estos organismos. En conjunto, los dos ríos alterados y el río control totalizaron 18.880 individuos distribuidos en 15 órdenes, 33 familias y 45 especies. Las especies más abundantes fueron los dípteros: *Chironomus* sp, *Cricotopus* sp y *Simulium* sp. En los ríos Pichaví y Pichambiche se obtuvieron valores bajos de riqueza y abundancia, atribuidas al grado de afectación de cada punto de muestreo. Además, los valores de diversidad, calidad de hábitat fluvial y calidad de ribera fueron menores, exhibiendo una comunidad poco heterogénea pero

tolerantes a los estresores ambientales. El índice de calidad ambiental Andean Biotic Index (ABI) expuso una calidad mala para los ríos Pichavi y Pichambiche, mientras que para la Marquesa mostró una calidad buena. El análisis PCA detectó las variables profundidad, conductividad, temperatura del agua, IHF y velocidad media, como las que ejercieron mayor influencia sobre el estado ecológico de los ríos. Con la información generada se propone el desarrollo de planes de biomonitoreo para gestión de los ecosistemas acuáticos con el objetivo de garantizar su recuperación y conservación.

Palabras claves: Andes Tropicales, Ecuador, contaminación de agua, Andean Biotic Index, Índice de Habitat Fluvial, Calidad de Bosque de Rivera

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOMÉRICA

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN BIODIVERSIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO

**THEME: ECOLOGICAL CHARACTERIZATION AND COMPOSITION
OF COMMUNITIES OF MACROINVERTEBRATES IN WATER PONDS
OF COTACACHI IN ORDER TO DESIGN PLANS OF BIOMONITORING
AND MANAGEMENT.**

AUTHOR: Monica Soraya Arellano Mino

TUTOR: Ibon Tobes Sesma, PhD

The present research characterizes the composition of the aquatic macroinvertebrate communities in rivers that cross urban areas affected by activities related to leather tanning, and other small-scale agricultural and livestock activities. A very clear case of this situation is the Pichaví and Pichambiche rivers that cross the city of Cotacachi, in the northern part of the Ecuadorian Andes. In order to have an aquatic system that would serve as a control, La Marquesa slope was chosen. To carry out this characterization, widely methods in aquatic environmental evaluation were used, such as the determination of physical-chemical parameters, capture with the surber network and the application of protocols for the determination of biotic rating, river habitat and riverbank quality. The richness of families and morphospecies was also calculated and the similarity between sampling points and between analyzed water bodies was determined. With the results, a Principal Component Analysis (PCA) was carried out to determine the variables that most influence the distribution of these organisms. Together, the two problem rivers and the control river totaled 18,880 individuals distributed in 15 orders, 33 families and 45 species. The most abundant species were the dipteros: Chironomus sp, Cricotopus sp and Simulium sp. The Pichaví and Pichambiche rivers showed low values of richness and abundance, variable depending on the degree of affectation of each sampling point. In addition, the values of diversity, quality of river habitat and quality of the riverbank were reduced, exhibiting a community that was not very heterogeneous but adapted to environmental stressors. The environmental quality rating Andean Biotic Index (ABI) showed a poor quality for the Pichavi and Pichambiche rivers

and a good quality for the Marquesa. The PCA detected the variables depth, conductivity, water temperature, IHF and average speed, as those that had the greatest influence on the ecological status of the rivers. With the information generated, the development of adequate plans for biomonitoring and management of aquatic ecosystems is proposed in order to guarantee their recovery and conservation.

Keywords: Tropical Andes, Ecuador, water pollution, Andean Biotic Index, Fluvial Habitat Rating, Rivera Forest Quality

Translated **by:**



MSc. Lorena Espinosa F.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Los ríos y sus afluentes son afectados por contaminación antropogénica a nivel mundial, ya que reciben continuamente las descargas de las aguas grises no tratadas y residuos sólidos domésticos e industriales. Esto provoca el deterioro de la calidad del agua y ejerce grandes presiones sobre los ecosistemas naturales (Cárdenas et al., 2018). Los cuerpos de agua son dinámicos y en su recorrido pueden experimentar varios cambios ya sea de manera física, química y/o ecosistémica, que afectan a los requerimientos y oportunidades para el establecimiento y supervivencia de los organismos, generando cambios fisiológicos, comunitarios y de abundancia en sus comunidades (Encalada, 2010; Acosta y Prat, 2009; Paggi, 1999). Estos cambios pueden ocurrir tanto en ríos con buen estado de conservación como en cuerpos de agua que sufren impactos antrópicos directos, debido principalmente a descargas de origen humano, las cuales causan cambios drásticos en el entorno y afectan a toda la biocenosis (Puntí, Rieradevall y Prat, 2009).

La contaminación de los cuerpos hídricos produce, entre otros efectos: pérdida de la biodiversidad, disminución de la calidad ambiental del ecosistema acuático, alteración de la integridad ecológica, afectaciones a la salud humana y falta de disponibilidad de recurso hídrico (Sánchez y Tello, 2019; Gómez, 2014; Gualdoni y Oberto, 2012). Paralelamente, la pérdida de la biodiversidad implica la disminución de la resiliencia y resistencia a la presión antrópica de los ecosistemas (Rosado et al., 2017; Gualdoni y Oberto, 2012), lo que incrementa el grado de vulnerabilidad de esos ecosistemas (Rudas et al., 2007).

La contaminación hídrica causa deterioro ecosistémico debido a la exposición a posibles patógenos, sustancias infecciosas y tóxicas (Riojas et al., 2013; Manrique et al., 2007). Este deterioro ocasionado por la contaminación de los ríos, con el transcurso del tiempo, no solo es un problema ambiental sino también social ya que, de manera directa o indirecta, la población depende de la calidad y cantidad del recurso hídrico para su desarrollo, salud, y subsistencia económica y alimenticia (Peña, 2007).

Ecuador es un país rico en recursos naturales, incluidos los hídricos; sin embargo, las interacciones entre el ser humano y la naturaleza han causado problemas

relacionados con la contaminación del agua, aire y suelo (Sánchez y Tello, 2019). Uno de los principales causantes de la contaminación ambiental en el Ecuador es el mal manejo de las aguas contaminadas y la deficiente eliminación de los residuos, lo que afecta significativamente a la calidad del agua en el país (Da Ros, 1995). En altitudes por debajo de los 2000 metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.), se tiene evidencia de que varios ríos en Ecuador están contaminados por desechos de actividades industriales, agricultura, ganadería y falta de sistemas de tratamiento de aguas servidas (Rodríguez, 2018; Isch y Gentes, et al., 2006).

La matriz económica del Ecuador es de carácter primario exportador (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017), lo que ha promovido el crecimiento de la producción agrícola de manera extensiva e intensiva. Esta causa impactos ambientales por el uso excesivo de agroquímicos, plaguicidas, funguicidas y herbicidas (Naranjo, 2017, Damanik-Ambarita et al., 2016), lo que provoca contaminación o envenenamiento de los cuerpos hídricos y desarrollo de la eutrofización (Bravo, 2016).

En el cantón Cotacachi, Provincia de Imbabura, se han identificado factores de contaminación hídrica causados por las descargas de aguas residuales provenientes de varias actividades económicas sin previo tratamiento (GAD, 2011). En este sector, el agua utilizada por las distintas actividades puede transportar muchos de los contaminantes hacia los ríos Pichaví y Pichambiche, a través de escorrentía, lixiviación y filtración (Chen, 2018; Bravo, 2016; Pérez, 2012; GAD, 2011). A esto se suma que dentro del cantón existe una práctica tradicional de pastoreo efectuada por las comunidades del sector, que llevan su ganado vacuno, ovino o porcino a orillas del río Pichaví y quebradas aledañas para proveerse de agua. Esta práctica puede ocasionar alteración directa en la calidad del agua debido a las descargas de materia orgánica (Rhoades et al., 2006). Pese a la presencia de los factores señalados en las áreas de estudio del cantón Cotacachi, existe poca información en cuanto a la calidad de agua, lo que limita la implementación de acciones eficientes y eficaces destinadas a proteger los ecosistemas acuáticos. Es así que resulta imprescindible realizar un análisis de la calidad del agua en el sector, puesto que es de fácil apreciación que existe un

gran problema sanitario del recurso hídrico, lo cual puede traer grandes repercusiones en el futuro cercano.

Actualmente, se puede emplear criterios biológicos con el fin de contar con información necesaria sobre la calidad del recurso hídrico y del efecto de las intervenciones humanas sobre el mismo (Figuerola et al., 2003). En estos estudios *in situ*, los macroinvertebrados acuáticos constituyen uno de los grupos de análisis más usados debido a su tolerancia a cambios ambientales, pudiendo ser utilizados como bioindicadores del estado de conservación del ecosistema acuático (Acosta, Ríos, Rieradevall y Prat, 2009). Adicionalmente, los ensamblajes de macroinvertebrados de agua dulce proporcionan información valiosa para desarrollar programas de evaluación de calidad en cuerpos de agua afectados por las actividades industriales (curtiembre), agrícolas, ganadería y desforestación (Gallegos, 2013; Jackson y Füreder, 2006).

Los macroinvertebrados acuáticos poseen largos ciclos de desarrollo y un amplio rango de tolerancia frente a distintos tipos de contaminación (Alba-Tercedor, 1996). Ciertos grupos de organismos acuáticos se caracterizan por degradar la hojarasca en distintos niveles tróficos, por lo que se consideran sensibles a la disponibilidad de alimento y a la cantidad de sustratos que aporta la vegetación adyacente (Cárdenas et al., 2018). La fragmentación y contaminación de los ecosistemas acuáticos, con efectos tales como, variaciones en las características internas del lecho de río (profundidad, pérdida de materia orgánica y velocidad del agua) provoca la disminución de hábitats y alimento, alterando la estructura y composición del ensamble de macroinvertebrados (Galeano-Rendón y Mancera-Rodríguez, 2018), lo que hace de estos buenos bioindicadores del estado del agua. Mediante la determinación de la diversidad de estos organismo se puede contar con indicios sobre la salud del ecosistema acuático (Sharma y Rawat, 2009) y la composición puede reflejar los cambios que existen en el número de taxones y abundancia (Ríos et al., 2014; Prat et al., 2009), debido a las condiciones ambientales en las zonas de estudio (Riviera, Pinilla y Rangel-Ch, 2013).

Con los antecedentes planteados, la presente investigación tiene como objetivo general caracterizar y comparar la composición de comunidades de macroinvertebrados acuáticos en cuerpos de agua de Cotacachi (ríos: Pichaví,

Pichambiche y la Marquesa), para obtener datos que permitan diseñar planes de biomonitoreo y gestión del recurso. Se planteó como objetivos específicos: determinar la riqueza, abundancia, densidad, diversidad, Índice Biótico Andino (ABI) y especies indicadoras; comparar las comunidades de macroinvertebrados entre los cuerpos de agua seleccionados y entre puntos de muestreo; valorar el estado de los ríos mediante los índices de evaluación ecológica como el índice de hábitat fluvial (IHF) y el índice de bosque de ribera (QBR); y, establecer la calidad de los cuerpos hídricos estudiados relacionando los aspectos físicos y biológicos analizados.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño de éste estudio fue observacional, descriptivo, no manipulativo y analítico para los sitios de estudio.

Área de estudio

El área de estudio se encuentra en la provincia de Imbabura, al norte de los andes ecuatorianos, dentro de la subcuenca del río Ambi, la cual forma parte de sistema hídrico Mira. Esta subcuenca abarca una superficie de 662,98 Km² (Proaño, 2006). La cuenca del río Mira se localiza en el flanco oriental de la cordillera de Toisán (sur del cantón Cotacachi), a partir del río Ambi, para luego desembocar al río Chota y formar el río Mira, en el límite provincial entre Imbabura y el Carchi. La cuenca vierte todas sus aguas al Pacífico, atravesando primero el límite fronterizo entre Carchi y Esmeraldas y posteriormente atravesando la parte sur oeste de Colombia (Flores, 2010; Almeida, 2014) (Figura 1).

La cuenca del río Ambi se extiende: al norte hasta el río Chota-Mira; al sur hasta el Nudo de Mojanda; al oriente hasta las estribaciones internas de la Cordillera Oriental de los Andes conocida como Pimampiro y río Chota; al occidente hasta las estribaciones internas de la Cordillera Occidental de los Andes (Flores, 2010; Almeida, 2014). La mayor parte de los afluentes del río Ambi se encuentran contaminados debido a las actividades que se desarrollan en el cantón. Entre los cuerpos de agua afectados encontramos los ríos Pichaví y Pichambiche (Proaño, 2006) (Figura 1).

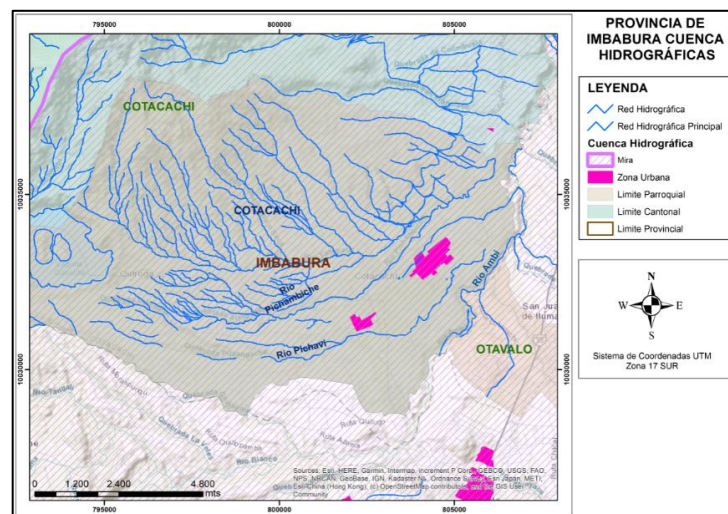


Figura 1. Mapa de los ríos principales al norte de la Provincia de Imbabura
Fuente: Arc Map 10.1 Mapa Base Topográfico Imbabura

La microcuenca del río Pichaví nace en los flancos nororientales de la laguna de Cuicocha. El río se caracteriza por presentar un caudal medio anual de 12 l/s (PDOT, 2011; Almeida, 2014). Se encuentra entre los 2393 a 2609 msnm. Además, se encuentra atravesando la ciudad de Cotacachi de norte a sur. Cerca de éste cuerpo hídrico se desarrollan ciertas actividades económicas como son las tenerías, agricultura y ganadería. Se considera que la mayor parte de las descargas de dichas actividades son vertidas a éste río y que posiblemente podrían afectar a la biota acuática.

El río Pichambiche es uno de los principales drenajes de la parte sur de la Laguna de Cuicocha. Este la recorre de sur a norte por un lado superior de la comunidad Chilcapamba (Rhoades et al., 2006). Es un río perenne y su caudal es de 18 l/s. Se encuentra entre los 2420 a 2623 msnm (De La Cruz Sánchez, 2017). El uso de suelo cercano a éste cuerpo hídrico es, en su mayor parte, agrícola y ganadero.

Se consideró al río la Marquesa como zona control, la cual se divide en dos cauces, uno destinado para consumo humano y otro para el sistema de riego, por lo que cumple un papel fundamental para el desarrollo agro-productivo de la ciudad de Cotacachi (Rhoades et al., 2006). Se escogió el cauce que está destinado para el sistema de riego, cuyas condiciones de conservación son las mejores del área. El río la Marquesa se ubica hacia el occidente de Cotacachi. Este río tiene un caudal de 200 l/s (GAD, 2011). Aunque la selección de este río no fue óptima como control debido a que varios tramos de su cauce estuvieron canalizados, se escogió la Marquesa porque se evidenció que posiblemente sus aguas fueron las únicas que no recibían impactos humanos directos (a parte de las alteraciones de cauce debidas a la canalización). Para evitar en lo máximo posible la influencia de dicha alteración, los puntos escogidos se ubicaron en las zonas no canalizadas.

Zonas de Muestreo

En cada cuerpo hídrico se seleccionaron cuatro (4) puntos de muestreo buscando abarcar todo su curso y en respuesta a las características topográficas, distancias entre puntos, cambios de uso del territorio y presencia de impactos antrópicos. Se subdividió a la subcuenca en: tramo alto (zona sin intervención o impacto humano), tramo medio (zona sometida a impactos antropogénicos como agricultura, curtiembre, etcétera.) y tramo bajo (zona intervenida dedicada

únicamente a la agricultura). Cada punto de muestreo fue registrado mediante GPS (coordenadas geográficas) (Tabla 1 y Figura 2).

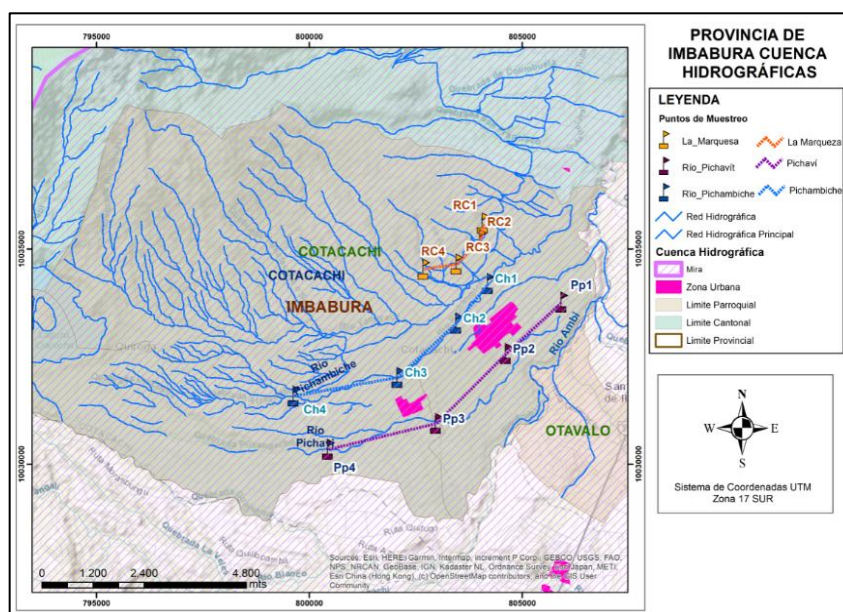


Figura 2. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en los ríos Pichaví, Pichambiche y la Marquesa. **Fuente:** Arc Map 10.1 Mapa Base Topográfico Imbabura

Los puntos de muestreo de cada río estuvieron distanciados aproximadamente dos km uno de otro (tanto los puntos control como los de la zona intervenida). Con este distanciamiento se procuró cubrir la mayor parte del cuerpo hídrico de estudio. La selección de estos puntos estuvo también condicionada por la facilidad de acceso y la topografía del área. En cada punto de muestreo se midieron los parámetros físico-químicos, el hábitat acuático y se evaluó la integridad del hábitat fluvial y de la zona ribereña.

Tabla 1 Puntos de muestreo

Descripción	Nº	Lugar de estudio	Sitio de estudio	Código	Latitud	Longitud	Altitud msnm
Río contaminado	1	Río Pichaví	Tramo bajo	Pp1	805937	10033768	2379
	2	Río Pichaví	Tramo media baja	Pp2	804632	10032571	2444
	3	Río Pichaví	Tramo medio	Pp3	802987	10030945	2496
	4	Río Pichaví	Tramo alto	Pp4	800452	10030340	2609

Río contaminado	1	Río Pichambiche	Tramo bajo	Ch1	804209	10034198	2420
	2	Río Pichambiche	Tramo medio baja	Ch2	803465	10033280	2461
	3	Río Pichambiche	Tramo medio	Ch3	802084	10032016	2526
	4	Río Pichambiche	Tramo alto	Ch4	799642	10031583	2623
Zona control	1	La Marquesa	Tramo bajo	RC1	804091	10035605	2481
	2	La Marquesa	Tramo medio bajo	RC2	804027	10035220	2492
	3	La Marquesa	Tramo medio	RC3	803474	10034650	2493
	4	La Marquesa	Tramo alto	RC4	802695	10034535	2503

Elaborado por: La autora (2020)

Población, Muestra

La población está conformada por toda la comunidad de macroinvertebrados acuáticos (MIAs) de los ríos Pichaví, Pichambiche y la Marquesa. El tamaño de la muestra son todos los individuos colectados en un 1m² de sustrato empleando nueve repeticiones en un tramo de 100 m² por punto de muestreo. Se analizó un total de 12 muestras por los tres ríos de estudio y se colectó a los organismos de manera aleatoria.

Método

Muestreo de los macroinvertebrados acuáticos

El muestreo se realizó durante nueve días en el mes de febrero de 2020 correspondiente a la época de estiaje. El clima se caracterizó por períodos soleados y nublados pero sin lluvias. Para la obtención de las muestras se contó con la autorización científica N°015-IC-FAU-DNB/MA.

En cada sitio de muestreo se capturó a los macroinvertebrados acuáticos mediante el empleo de la red surber, siguiendo los métodos y protocolos sugeridos por Álvarez (2005), Carrera y Fierro (2001) y Roldán (1988). Para ello se empleó una red constituida por un marco cuadrangular metálico doble de 30x30 cm de lado, con una red de 45 cm en sus extremos y una bisagra para articular los marcos. El material de la red de captura fue de nylon Nitex y presentó un diámetro de luz de 250 micras. El marco metálico libre se sumerge en el sustrato, para delimitar el área de trabajo, mientras que el marco con la red se libera a favor de la corriente.

Esta acción permite remover con la mano el contenido en el interior, limpiando las piedras y el sustrato que se encuentran dentro de éste, y dejando que la corriente arrastre a los organismos removidos hacia el interior, quedando atrapados en el fondo de la red por efecto de la fuerza del agua (Álvarez, 2005). La red surber permite conocer el número de individuos por unidad de área, registrando 1/9 de m² de sustrato en cada aplicación, generando muestras cuantitativas. El esfuerzo de muestreo total de cada estación fue de 1m², es decir nueve repeticiones con la red Surber, en un tramo de 100 m de longitud. Se procuró muestrear en la mayor cantidad de hábitats biogénicos que pudieran albergar organismos. Cada repetición fue de tres minutos (Álvarez, 2005). Las muestras colectadas por el método descrito fueron extraídas, lavadas y preservadas in situ. Para éste fin se utilizó una cubeta plástica, tamices de malla fina y pinzas entomológicas. Los organismos extraídos fueron preservados y transportados en bolsas de sello hermético (ziploc), debidamente rotuladas y preservadas en alcohol al 95%. Este método es ampliamente usado en estudios ambientales y científicos, los mismos que proporcionan datos que pueden ser estandarizados y comparados con otros estudios y localidades (Ramírez, 2010; Alvarez y Córdoba, 2006).

Laboratorio

Las muestras fueron fijadas en etanol al 95% y trasladadas al área de invertebrados del Departamento de Biología de la Escuela Politécnica Nacional con la debida guía de movilización MAE-CGZ1-DPAI-2020-0358-O, el cual cuenta con instalaciones adecuadas para procesar las muestras, dónde se procedió a su limpieza definitiva. Las muestras fueron almacenadas e individualizadas por punto de muestreo en recipientes herméticos conteniendo alcohol al 95% y 1% de glicerina. Cada recipiente fue debidamente rotulado, para su posterior análisis, identificación y conteo. Las muestras serán depositadas en el área de invertebrados del Departamento de Biología de la Escuela Politécnica Nacional. Para la separación de individuos, las muestras fueron colocadas en bandejas blancas bien iluminadas, y con la ayuda de pinzas de punta fina, se extrajeron cuidadosamente los organismos para evitar maltratarlos. Posteriormente, los organismos se colocaron en cajas Petri y se identificaron con la ayuda de un

estereomicroscopio de 7 a 45X de aumento (Olympus SZ45). Para la identificación se utilizó bibliografía especializada, guías rápida para identificación de macroinvertebrados de ríos altoandinos y claves taxonómicas de: González, Crespo, Acosta y Hampel (2018), Hamada, Nessimian, Barabosa (2014); Springer (2010), Mafla (2005), Lopretto Tell (1995), Domínguez y Fernández (2009), Posada y Roldán (2003) y Prat et al. (2011). Se realizó la identificación de los individuos hasta el mayor nivel taxonómico posible (género y morfoespecie).

Medición de parámetros *in situ*

Se obtuvieron datos *in situ* de cada punto de muestreo de los siguientes parámetros: amplitud del cauce (metros), profundidad (centímetros), velocidad del agua (m/sg), oxígeno disuelto (OD mg/L), pH (cantidad de iones de hidrógeno), temperatura del agua (grados centígrados) y conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$); por medio de un equipo multiparámetro marca YSI Pro 20-30/EEUU, un caudalímetro (Global Water Flow Probe Hand-held Flowmeter FP111/UK) y un medidor de pH, T° y conductividad de bolsillo HI98129 marca HANNA/EEUU. Los parámetros físico-químicos fueron comparados con los Criterios de calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en agua dulce, fría o cálida, del TULSMA-Acuerdo Ministerial N°028.

Muestreo del entorno físico

Para la caracterización del entorno hidromorfológico se empleó la metodología propuesta por Acosta et al. (2009), el cual propone aplicar el índice de hábitat fluvial (IHF). Se utilizó una ficha de campo la cual fue llenada en el sitio de estudio. Para evaluar las características del IHF, se analizaron siete aspectos: 1) inclusión en los rápidos, 2) frecuencia de rápidos, 3) composición del sustrato, 4) régimen de velocidad y profundidad, 5) porcentaje de sombra, 6) elementos de heterogeneidad, 7) cobertura de vegetación acuática. Los valores varían de 0 a 100 (0 siendo pésima calidad de hábitat fluvial y 100 siendo excelente calidad de hábitat fluvial). Se consideró la siguiente puntuación: mayor a 75 se consideraría un hábitat en óptimas condiciones para el desarrollo de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos; pero si su puntaje es menor a 40, se pensaría que existe alteraciones en el hábitat fluvial. Es decir >90 muy alta diversidad de hábitats; 71-90 alta diversidad de hábitats; 50-70 Diversidad de hábitat media; 31-

49 baja diversidad de hábitats y < 30 muy baja diversidad de hábitats (Acosta et al., 2009).

Para conocer el estado de la ribera se empleó el índice QBR-And para bosques andinos, el mismo que fue modificado y adaptado para ser utilizado en los Andes (QBR-And) (Acosta et al., 2009). Éste índice analiza la calidad de bosque de ribera de la siguiente manera: 1) el grado de cubierta de zona de ribera 2) estructura de la cubierta, 3) calidad de la cubierta y 4) grado de naturalidad del canal fluvial. Cada uno de los aspectos analizados tiene un valor máximo de 25 puntos y la sumatoria de cada sección es el resultado final del índice. Identificando cinco rangos de calidad de la zona de ribera: >95 estado natural; 90-75 calidad buena; 70-55 calidad aceptable; 30-50 calidad mala y < 25 calidad pésima (Munné et al., 2003). Finalmente, se documentaron fotográficamente los puntos analizados.

Análisis de datos

Para valorar la composición de las comunidades de los macroinvertebrados acuáticos se utilizaron varios indicadores biológicos altamente empleados, tales como: riqueza taxonómica, abundancia, densidad en individuos por m² y la diversidad mediante el índice de Shannon exponencial (expH') sugerido por Moreno et al. (2011), convirtiendo el valor de Shannon (H') a su exponencial (expH') para conocer el número efectivo de especies en la muestra. Para comparar la composición de los diferentes puntos de muestreo se utilizó el índice de similitud de Jaccard. También se aplicó el índice Biótico Andino para ríos andinos (ABI) para conocer la calidad de agua de los cuerpos de estudio; y para saber el estado de calidad de hábitat y de vegetación de ribera se aplicó el Índice de Hábitat Fluvial (IHF) y la adaptación andina del Índice de Calidad de Bosque de Ribera QBR-And. Para identificar diferencias significativas en la composición de las comunidades, considerando la riqueza de especies y la abundancia, tanto entre los ríos de estudio como en los puntos de muestreo, se aplicó un Análisis de Varianza (ANOVA de un factor) y finalmente, se aplicó pruebas *post hoc* de comparación múltiple de Bonferroni con $\alpha=0.05$, y las diferencias significativas con $p<0.05$. Adicionalmente, se empleó un test de Kruskal Wallis para los datos que no pudieron ser normalizados. Para verificar las distribución normal de los

datos se aplicó la prueba Shapiro Wilk y la prueba de Levene para identificar la homogeneidad de las varianzas con el programa SPSS.

La relación entre los macroinvertebrados acuáticos y su influencia en la caracterización ambiental se realizó mediante un Análisis de Componentes Principales (PCA), utilizando el programa estadístico Past Versión 2.17C (Hammer et al., 2001). Las variables fueron normalizadas para obtener una mejor interpretación de los datos. El análisis de PCA permitió determinar las variables de mayor influencia sobre la calidad biótica de los ríos analizados. En este análisis se utilizaron las siguientes variables: temperatura, conductividad, pH, oxígeno disuelto, velocidad media, profundidad, amplitud, IHF, QBR-And, ABI, exp (H⁺), sustratos finos (Fns%), guijarros (Gjrs%), grava (Grv%), sombra (Shd%), altitud. Se realizó una correlación de Pearson con todas las variables ambientales descritas anteriormente y se seleccionó al índice Biótico Andino (ABI) debido a que presentó mayor puntuación en el análisis de componentes principales, y además es un indicador que utiliza familias sensibles a cambios en las condiciones ambientales del entorno.

CAPITULO III: RESULTADOS

Características físico-químico de los ríos de estudio

Los resultados de la temperatura (°C), en los ríos de estudio se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por el Anexo1, Libro VI, TULSMA (Acuerdo Ministerial 028). En cuanto a los valores de la conductividad eléctrica de los ríos Pichambiche (721-519 uSc/m) y Pichavi (665-454 uSc/m) son mayores a los límites permisibles de calidad de agua establecidos por la OMS 250(uSc/m), los resultados de la Marquesa se encuentran dentro de la puntuación permitida. Los resultados obtenidos del parámetro potencial de hidrógeno (pH), en los ríos de estudio fluctuaron entre (6,8-8,39), los valores se encuentran dentro de los límites permisibles del Anexo1, Libro VI, TULSMA (Acuerdo Ministerial 028). El oxígeno disuelto para los tres ríos, presentaron variaciones entre (0,02-0,04 mg/L), sus puntajes se encuentran por debajo de los límites permisibles Tabla 3.

Tabla 2. Características físico-químico de los ríos de estudio

Variabes	Pichambiche	Pichaví	La Marquesa
Temperatura agua (°C)	17.5±0.76 (17.8-16.3)	18.8 ±0.53 (19-17.9)	14.6±0.53 (14.8-13.7)
Conductividad (µS/cm)	674±87.06 (721-519)	665±101 (665-454)	181±1.84 (182-178)
OD(mg/L)	0.03±0.008 (0.04-0.02)	0.03±0 (0.03-0.03)	0.03±0 (0.03-0.03)
pH	7.27±0.45 (8.16-7.27)	8.39±0.39 (8.39-7.45)	7.47±0.30 (7.47-6.8)
Amplitud (m)	1.11±0.42 (1.45-0.44)	2.154±0.48 (2.154-1.13)	1.34±0.43 (2.29-1.34)
Profundidad(cm)	10.7±1.45 (12.5-9)	7.8±4.96 (19.1-7.8)	72±22 (72-19)
VM (m/s)	0.23±0.29 (0.81-0.23)	0.3±0.37 (1-0.24)	2.2±1.50 (5.8-2.2)

Elaborado por: La autora (2020)

Tabla 3. Criterios de calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en agua dulce, fría o cálida, del TULSMA-Acuerdo Ministerial N°028.

Parámetro	Criterio de calidad admisible	NORMA
Temperatura (°C)	Condiciones naturales +3Máxima 3	TULSMA- ACUERDO MINISTERIAL N°028
Conductividad eléctrica (uSc/m)	250	OMS 1993
pH	6,5-9	TULSMA- ACUERDO MINISTERIAL N°028
OD (mg/L)	No menor a 5 (mg/L)	TULSMA- ACUERDO MINISTERIAL N°028

Elaborado por: La autora (2020)

Composición de macroinvertebrados acuáticos entre ríos

Se registraron en el área de estudio un total de 18.880 individuos distribuidos en 15 órdenes, 33 familias y 45 especies. Las especies más abundantes fueron *Chironomus* sp con 11.616 individuos, seguida por *Cricotopus* sp con 2.793 y *Simulium* sp con 1.438 individuos, las tres pertenecientes al orden Diptera (Tabla 4 y Figura 3). La densidad registrada para el río Pichambiche fue 2443 ind/m², Pichaví 1637 ind/m² y la Marquesa 640 ind/m². El número total de individuos que fueron colectados en los ríos Pichambiche fue 9775, Pichaví 6546 y la Marquesa 2559 (Tabla 4).

Se registraron 24 especies en el río Pichambiche, 14 especies en el río Pichaví y 35 especies en la Marquesa. La Marquesa presentó la mayor diversidad verdadera (7,02), seguida del río Pichambiche (3,35) y al final el río Pichaví (2,22). Se registraron valores inferiores a 1 en la dominancia como es el caso de los ríos Pichambiche 0,44; Pichaví 0,66 y la Marquesa 0,30. La diversidad alfa (índice de Simpson) registrada para los ríos muestreados fue: río Pichambiche de 0,55; río Pichaví de 0,33 y río la Marquesa de 0,69 (Figura 4 y Anexo 1).

Composición de macroinvertebrados acuáticos por puntos de muestreo

El mayor número de individuos registrados fue obtenido en los puntos Ch1 (n=6353) y Pp2 (n=4797). La riqueza de la comunidad de macroinvertebrados

acuáticos varió, de menor a mayor, entre dos especies para el punto Ch 1 y 24 especies para el punto RC2 (Anexo 1). Además, los puntos que presentaron mayor abundancia en familias fueron: RC2 (24), RC1 (21), RC4 (19) y RC3-Ch3 (18). Los puntos con mayor dominancia de especies del estudio fueron: Ch1 (0,94), Pp1 (0,93) y Pp2 (0,85). Los que presentaron mayor diversidad verdadera fueron los del ríos control RC1 (10,26), RC2 (8,86), RC3 (3.42) y RC4 (4.96) Figura 4

Tabla 4. Abundancia de MIA colectados por punto de muestreo

Ríos					Pichambiche					Pichaví					La Marquesa						
Filo	Clase	Orden	Familia	Especie	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Subtotal	Pp 1	Pp2	Pp3	Pp4	subtotal	RC1	RC2	RC3	RC4	subtotal	Total G	
Platelmiteo	Turbellaria	Tricladida	Dugesidae	<i>Dugesia</i> sp.	0	134	0	0	134	0	0	0	0	0	4	2	1	3	10	144	
Anélida	Haplotaxida	Oligochaeta	Tubificidae	<i>Tubifex</i> sp.	203	128	2	13	346	0	15	164	1	180	52	37	59	14	162	688	
	Hirudinea	Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	55	0	0	55	7	5	5	2	19	74	
Mollusca	Gastropoda	Littorinimorpha	Hydrobiidae	n.d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	12	12	
			Lymnaeidae	<i>Lymnaea</i> sp.	0	99	0	0	99	1	42	8	0	51	0	0	0	0	0	0	150
		Basommatophora	Physidae	n.d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	2	0	0	11	11
			Planorbidae	<i>Gyraulus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	9	0	0	19	19
			Bivalvia	Sphaeriida	<i>Sphaerium</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	47	18	1	103
Artrópoda	Crustáceos	Amphipoda	Hyalellidae	<i>Hyalella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	253	0	0	253	0	1	0	130	131	384	
		Colembola	Entomobryodea	Entomobryidae	n.d	0	0	3	3	6	0	0	0	0	0	1	2	0	3	9	
	Insecta	Coleoptera		n.d	n.d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	
				Dytiscidae	<i>Rhantus</i> sp.	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
			Elmidae		<i>Cyloepus</i> sp.	0	3	15	0	18	0	0	0	4	4	0	0	0	1	1	23
					<i>Heterelmis</i> sp.	0	9	68	13	90	4	0	0	14	18	4	0	3	30	37	145
					n.d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
				Hydrophilidae	n.d	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3	0	0	3
		Diptera	Ceratopogonidae		<i>Forcipomyia</i> sp.	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
					<i>Probezzia</i> sp.	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	21	0	11	2	34
			Chironomidae		<i>Chironomus</i> sp.	6150	62	0	6	6218	716	4408	153	0	5277	43	35	29	14	121	11616
					<i>Cricotopus</i> sp.	0	135	306	861	1302	18	15	95	0	128	114	138	809	302	1363	2793
	n.d1			0	0	0	11	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11		
	n.d2			0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2		
	n.d3	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3	2	86	4	95	96			

		Empididae	<i>Chelifera</i> sp.	0	1	9	15	25	0	0	0	2	2	0	0	1	6	7	34	
		Muscidae	<i>Limnophora</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	9	9	
			<i>Lispe</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	2	
		Psychodidae	<i>Clogmia</i> sp.	0	0	0	0	0	3	9	556	0	568	0	0	0	0	0	568	
		Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.	0	1208	75	107	1390	0	0	0	7	7	24	10	7	0	41	1438	
		Syrphidae	n.d	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
		Tipulidae	n.d	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	
			<i>Tipula</i> sp.	0	0	2	3	5	0	0	0	1	1	1	0	2	0	3	9	
	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Andesiops</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	41	157	3	209	209	
			<i>Baetodes</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	41	1	0	48	48
			<i>Camelobaetidius</i> sp.	0	1	51	43	95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95
	Odonata	Aeshnidae	n.d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	0	0	8	8	
		Libellulidae	<i>Dythemis</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	
			n.d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	
	Lepidoptera	Pyralidae	n.d	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	
	Trichoptera	Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	45	46	46	
			n.d	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
		Hydropsychidae	<i>Smicridea</i> sp.	0	0	1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
			Hydroptilidae	<i>Metrichia</i> sp.	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4	2	6	7
		<i>Ochrotrichia</i> sp.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	7	0	5	25	25	
		Leptoceridae	<i>Atanotica</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	14	19	19	
		Xiphocentronidae	<i>Xiphocentron</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5	5	
	Ostracoda	N/D	n.d	n.d	0	0	7	12	19	0	0	0	0	2	0	0	0	2	21	
Total General				6353	1780	543	1099	9775	743	4797	976	30	6546	337	388	1232	601	2457	18880	

(N/D, n.d=no determinada)

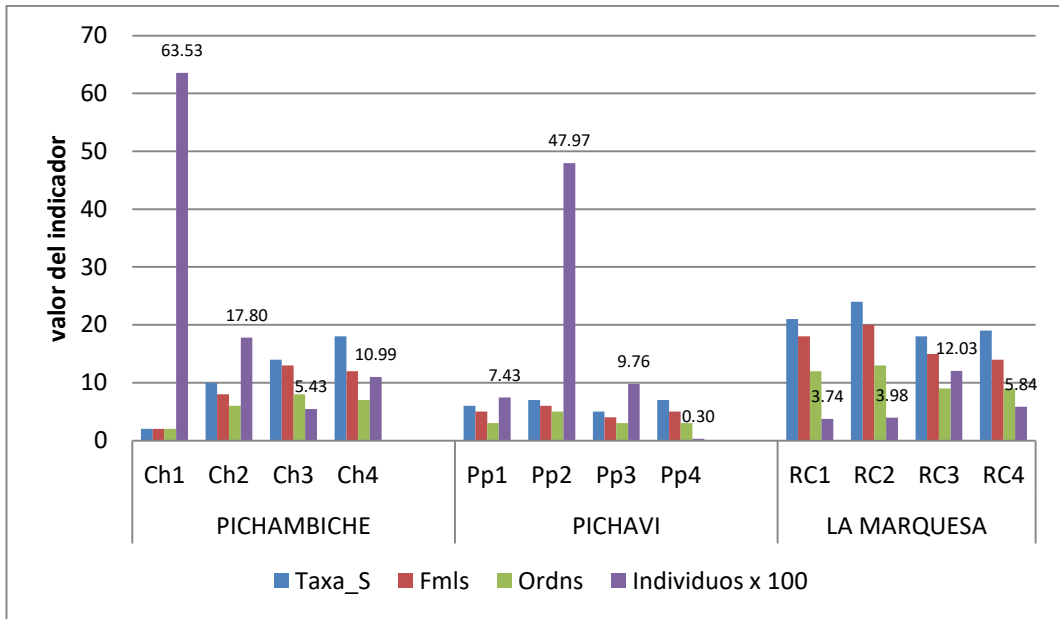


Figura 3. Taxa (Riqueza de especies), familias (Fmls), órdenes (Ordns) e individuos x100 (para normalizar la escala de los datos al gráfico)

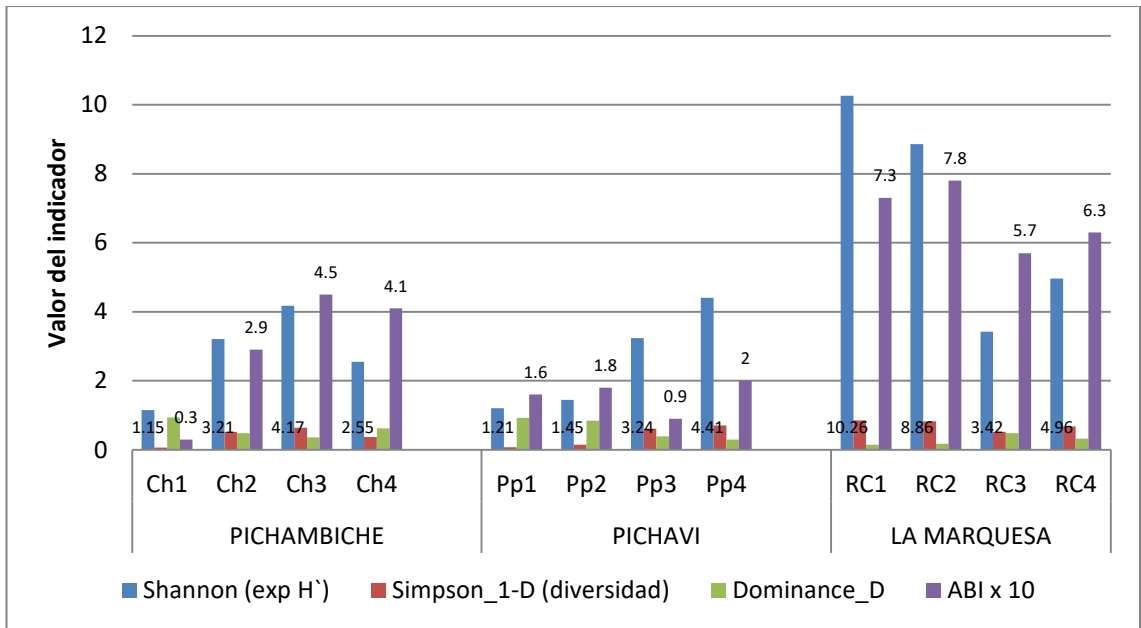


Figura 4. Diversidad verdadera, dominancia y ABI x 10 (para normalizar la escala de los datos al gráfico).

Índice ABI entre ríos

El promedio del índice ABI obtenido para cada río de estudio obtuvo la siguiente puntuación: 29,5 río Pichambiche, 15,75 para el río Pichaví, y 67,75 la Marquesa (Figura 3)

Índice ABI entre puntos

Los valores obtenidos mediante el índice de ABI variaron entre 3 a 78. Es decir, los valores fluctuaron según el número de taxones de cada punto de muestreo. Por lo tanto, los puntos que presentaron bajas puntuaciones fueron: Ch1 (3) y Pp3 (9), mientras que los puntos que presentaron valores altos fueron: RC2 (78), RC1 (73), RC4 (63) y RC3 (57) (Figura 4).

Comparación entre la riqueza de especies y la abundancia en los ríos

Mediante la prueba ANOVA de un factor, se determinó que entre los ríos Pichavi, Pichambiche y la Marquesa si existió una diferencia significativa en cuanto a la riqueza de especies ($f=4,504$; $gl=11$; $p=0,044$). Por otro lado, entre los cuerpos de agua Pichaví y la Marquesa si existió diferencia significativa en cuanto a la riqueza de especies (Kruskall Wallis, $p=0,041$) (Tabla 5).

Tabla 5. Diferencias en la riqueza de especies entre los ríos

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de prueba	Estándar Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajust.
Pichaví-Pichambiche	2.125	2.541	.836	.403	1.000
Pichaví-La Marquesa	6.875	2.541	2.706	.007	.041
Pichambiche-La Marquesa	4.750	2.541	1.870	.062	.369

Abundancia entre ríos

De acuerdo al análisis ANOVA, no se refleja una diferencia significativa entre los cuerpos de agua estudiados respecto a la abundancia ($f=0,738$; $gl=11$; $p=0,505$). Se puede verificar en el análisis (*Post hoc*) el grado de significancia en la similitud entre los ríos estudiado (Tabla 6)

Tabla 6. La abundancia entre los ríos de estudio

Variable dependiente: Lnfrecuencia							
	(I) Río	(J) Río	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
Bonferroni	RC	Ch	-1.04178	.99032	.961	-3.9467	1.8631
		Pp	.00052	.99032	1.000	-2.9044	2.9054
	Ch	RC	1.04178	.99032	.961	-1.8631	3.9467
		Pp	1.04230	.99032	.960	-1.8626	3.9472
	Pp	RC	-.00052	.99032	1.000	-2.9054	2.9044
		Ch	-1.04230	.99032	.960	-3.9472	1.8626

RC=Marquesa, Ch=Pichambiche y Pp=Pichaví

Abundancia y Riqueza entre puntos de muestreo de cada río

Para los puntos de muestreo de los ríos Pichambiche y Pichaví, tanto para la riqueza de especies como para la abundancia, se determinó la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$). En los valores representados en los puntos del río Pichambiche se observa la diferencia significativa en la riqueza de especies, entre los puntos Ch1-Ch3 y Ch1-Ch4 (Kruskall Wallis, $p < 0,05$) (Tabla 7). Por otro lado, la abundancia presentó variación entre casi todos los puntos, excepto entre los puntos Ch1-Ch3, Ch1-Ch2 y Ch1-Ch4; Ch2-Ch3, ($p < 0,05$).

Tabla 7. Diferencia significativa de la riqueza de especies entre los puntos de muestreo del río Pichambiche

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de prueba	Estándar Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajust.
Ch1-Ch2	-11.722	4.913	-2.386	.017	.102
Ch1-Ch3	-18.000	4.913	-3.664	.000	.001
Ch1-Ch4	-21.611	4.913	-4.399	.000	.000
Ch2-Ch3	-6.278	4.913	-1.278	.201	1.000
Ch2-Ch4	-9.889	4.913	-2.013	.044	.265
Ch3-Ch4	-3.611	4.913	-.735	.462	1.000

En el caso de los puntos del río Pichaví, se determinó la existencia de diferencias significativas respecto a la riqueza de especies entre Pp1-Pp3 y Pp1-Pp2 (Kruskall Wallis, $p < 0,05$) (Tabla 8). De manera similar, se evidenció la existencia de

diferencias significativas respecto a la abundancia entre Pp4-Pp2 y Pp1-Pp2 (Kruskall Wallis, $p < 0,05$) (Tabla 9).

Tabla 8. Diferencia significativa de la riqueza de especies entre los puntos de muestreo del río Pichaví.

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de prueba	Estándar Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajust.
Pp 1-Pp4	-4.250	5.018	-.847	.397	1.000
Pp 1-Pp3	-15.111	4.488	-3.367	.001	.005
Pp 1-Pp2	-15.667	4.488	-3.490	.000	.003
Pp4-Pp3	10.861	5.018	2.164	.030	.183
Pp4-Pp2	11.417	5.018	2.275	.023	.137
Pp3-Pp2	.556	4.488	.124	.901	1.000

Tabla 9. Diferencia significativa de la abundancia entre los puntos de muestreo del río Pichaví.

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de prueba	Estándar Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajust.
Pp4-Pp 1	9.472	5.095	1.859	.063	.378
Pp4-Pp3	12.972	5.095	2.546	.011	.065
Pp4-Pp2	24.306	5.095	4.770	.000	.000
Pp 1-Pp3	-3.500	4.557	-.768	.442	1.000
Pp 1-Pp2	-14.833	4.557	-3.255	.001	.007
Pp3-Pp2	11.333	4.557	2.487	.013	.077

De acuerdo al análisis ANOVA, la abundancia en la Marquesa sí refleja diferencia significativa entre algunos de los puntos de muestreo ($f=3,5$; $gl=35$; $p=0,026$). Se puede verificar en el análisis (*Post hoc*) el grado de significancia en la diferencia entre los puntos RC2-RC3 (Tabla 10). Por otro lado, no existe

diferencia significativa en la riqueza de especies entre los puntos de muestreo del cuerpo de estudio (Kruskall Wallis, $p=0,720$).

Tabla 10. Diferencia significativa de la abundancia entre los puntos de muestreo de la Marquesa

Variable dependiente: Lnfreca

	(I) Cod	(J) Cod	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
<u>Bonferroni</u>	RC1	RC2	.05900	.36373	1.000	-.9639	1.0819
		RC3	-.95679	.36373	.078	-1.9797	.0661
		RC4	-.55929	.36373	.804	-1.5822	.4636
	RC2	RC1	-.05900	.36373	1.000	-1.0819	.9639
		RC3	-1.01579	.36373	.052	-2.0387	.0071
		RC4	-.61830	.36373	.593	-1.6412	.4046
	RC3	RC1	.95679	.36373	.078	-.0661	1.9797
		RC2	1.01579	.36373	.052	-.0071	2.0387
		RC3	.39749	.36373	1.000	-.6254	1.4204
	RC4	RC1	.55929	.36373	.804	-.4636	1.5822
		RC2	.61830	.36373	.593	-.4046	1.6412
		RC3	-.39749	.36373	1.000	-1.4204	.6254

Similitud entre puntos de muestreo

La similitud mediante el índice de Jaccard se consideró la incidencia de las especies (presencia y ausencia) para estudiar similitud entre los puntos de muestreo. Mediante sus resultados se identificó el mayor grado de similitud de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos entre los puntos de muestreo Pp2-Pp3 del río Pichaví (71%), y los puntos que presentaron menor similitud fueron los puntos RC2 y Pp4 (6%) y RC1-Ch1(9%) (Figura 5).

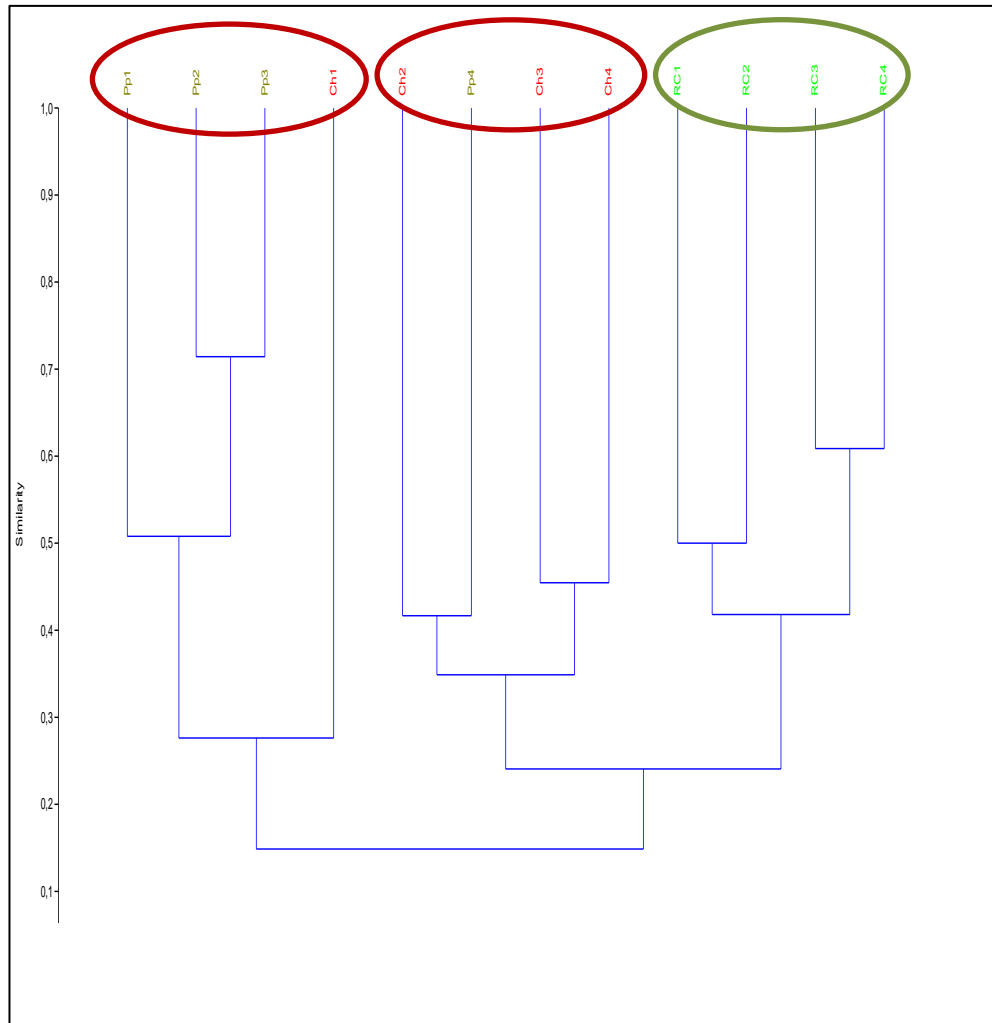


Figura 5. Similitud entre puntos de muestreo

Se observan dos grupos bien diferenciados, el primero constituido por los tres primeros puntos del río Pichavi y el punto más bajo del Pichambiche y un segundo grupo con el resto de las localidades. Estos dos grandes apenas comparten una similitud del 13% en la composición de especies (Figura 5). Este segundo grupo está subdividido en dos grupos bien diferenciados, un grupo constituido por los puntos del río Pichambiche y el punto más alto del río Pichavi; y el otro grupo con los cuatro puntos del río control, la Marquesa. La diferencia existente entre estos grupos es marcada, ya que apenas comparten un 25% de similitud.

Similitud entre los ríos de estudio

El análisis de eslabonamiento mediante el índice de Jaccard entre ríos, ratificó lo hallado entre puntos de muestreo, dónde se observa dos grupos bien diferenciados constituidos, el primero por el río Pichaví y el segundo por los ríos Pichambiche y la Marquesa, con una similitud de 28%; en cambio la similitud entre los ríos Pichambiche y la Marquesa alcanzó 37% (Figura 6).

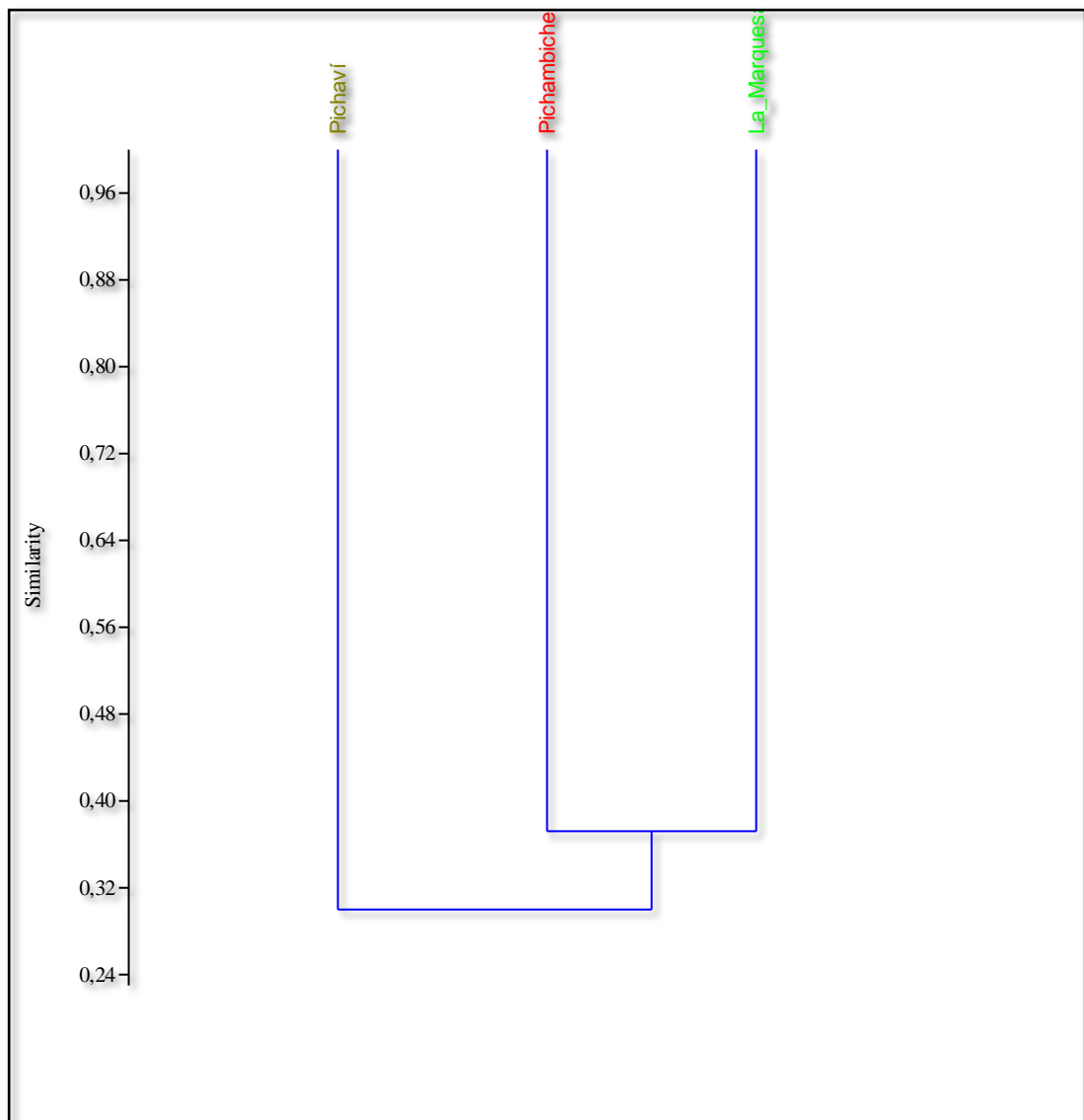


Figura 6. Índice de similitud entre los ríos

Índice ABI, IHF y QBR-And entre puntos de muestreo

El valor analizado entre puntos de muestreo para el índice IHF varió entre 29 a 52, totalizando para los puntos Ch1, Ch3, Pp1, Pp3 un valor de 29 para cada uno; y RC1 un valor de (52). El valor de QBR-And varió entre 0 y 50, registrando en los puntos Pp2 (0), RC1 (5) y Ch4 (50) (Figura 7).

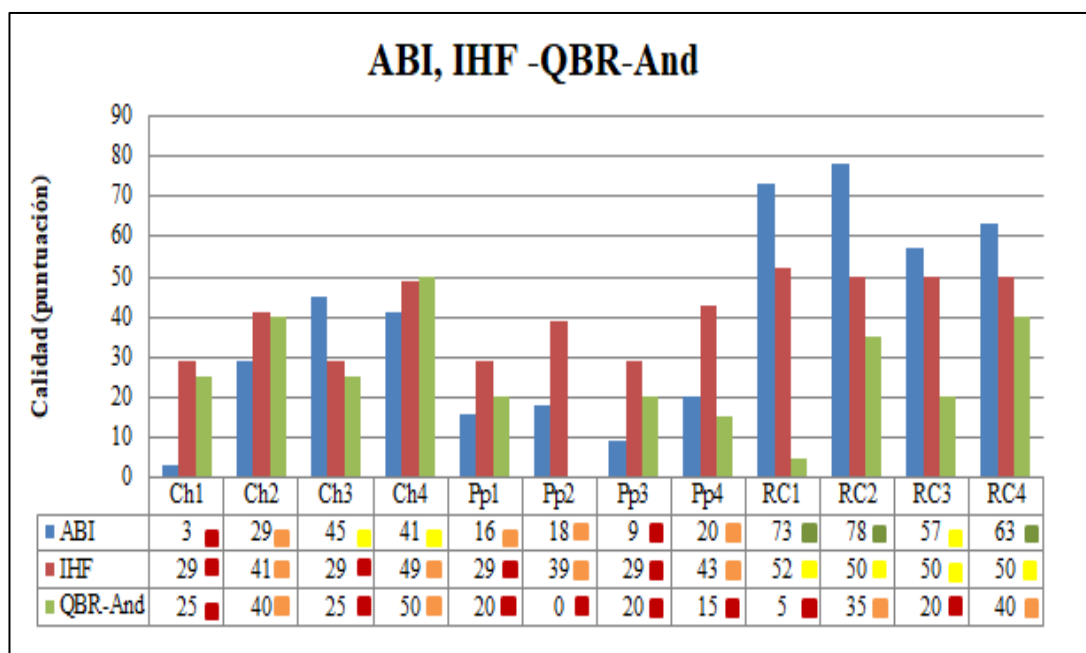


Figura 7. Índices de calidad IHF y QBR-And

CLASE	Calidad del agua	Índice ABI
1	Muy buena	>96
2	Buena	59 – 96
3	Regular	36 – 58
4	Mala	14 – 34
5	Pésimo	<14

Nivel de calidad	IHF	Color representativo
Muy alta diversidad de hábitats	>90	
Alta diversidad de hábitats	71 – 90	
Diversidad de hábitats media	50 – 70	
Baja diversidad de hábitats	31 – 49	
Muy baja diversidad de hábitats	<30	

Nivel de calidad	QBR-And	Color representativo
Bosque de ribera sin alteraciones, calidad muy buena, estado natural.	>95	
Bosque ligeramente perturbado, calidad buena.	75 – 90	
Inicio de alteración importante, calidad intermedia.	55 – 70	
Alteración fuerte, calidad mala	30 – 50	
Degradación extrema, calidad pésima.	<25	

Ilustración 1 Rangos de ABI, IHF y QBR-And

Índice de calidad IHF y QBR-And entre ríos

Se calcularon también los valores promedio de los índices de hábitat fluvial (IHF) y de vegetación de quebrada andina (QBR-And) para cada río (Figura 8).

El índice IHF para los ríos Pichaví y Pichambiche fue 35-37 respectivamente, con una ocurrencia ocasional de rápidos; sustrato de cantos, gravas fijadas por sedimentos finos, arena; régimen de velocidad con dos categorías (rápido-somero y lento-somero); cauce totalmente expuesto; ausencia absoluta de hojarasca en el cuerpo hídrico.

En el río la Marquesa se obtuvo un puntaje promedio de 50,5 con escasa frecuencia de rápidos; sustrato en mayor proporción arena, gravas ligeramente fijados por sedimentos finos; regímenes de velocidad con dos categorías, rápido-somero y lento-profundo; cauce con grandes claros. Elementos de heterogeneidad sin hojarasca en el cauce.

El índice QBR-And en los ríos Pichaví y la Marquesa obtenido fue 13,75 y 25 respectivamente; por debajo del 10% de cubierta vegetal de la zona de ribera. En cambio, en el río Pichambiche se obtuvo un valor de 35; poca cubierta vegetal, del 26-51% son especies introducidas (*Eucalyptus sp*) (Ilustración 1).

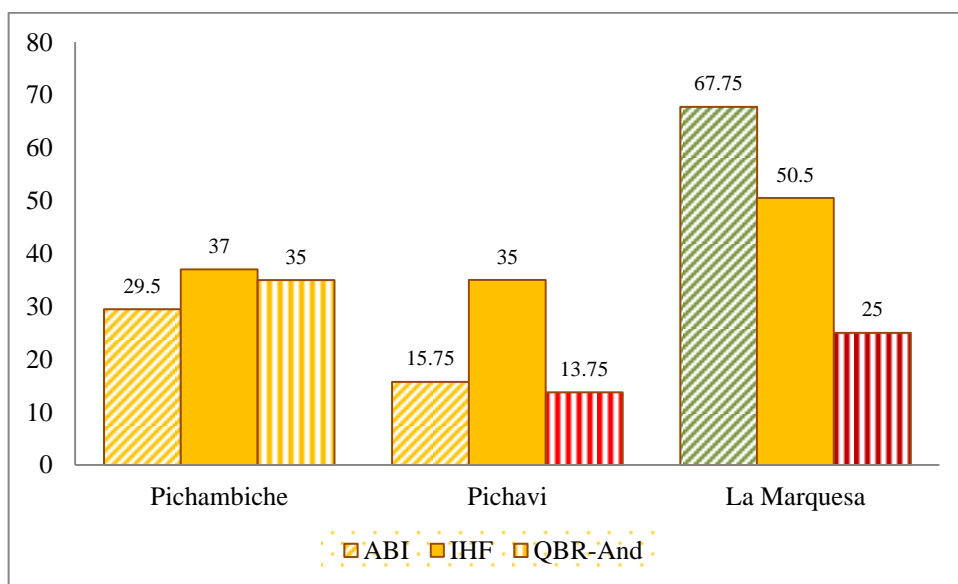


Figura 8. Índice de calidad ABI, IHF y QBR_And entre ríos

Análisis de Componentes Principales (PCA)

En el análisis de componentes principales, los dos primeros componentes del PCA explicaron un 68,96% de la variabilidad total y los tres primeros componentes del PCA contribuyen con un 82,88% de la variabilidad total (Tabla 11). El primer componente demuestra una variabilidad del 46,81%, dónde, las variables que reflejaron mayor influencia fueron: sombra (Shd 0,38), profundidad (prf 0,45), sustrato fino (Fns 0,45) y ABI (0,50); el segundo componente reflejó un 22,15% y las variables de mayor puntuación fueron: índice QBR-And (0,45), ABI (0,45), cantos rodados (Cts 0,58) y sustrato fino (Fns-0,35). El tercer componente explicó un 13,92% de la variabilidad total y las variables de mayor influencia fueron: sustrato guijarros (Grjs 0,53), sombra (Shd 0,44) y sustrato fino (Fns -0,63) (Figuras 9).

Tabla 11 Variabilidad de cada uno de los componentes principales

PC	Eigenvalue	% variance
1	1617,08	46,819
2	765,17	22,154
3	481,053	13,928
4	371,304	10,75
5	119,618	34,633
6	456,104	13,206
7	311,807	0,90278
8	121,441	0,35161
9	921,608	0,26683
10	0,873746	0,025298
11	0,620206	0,017957

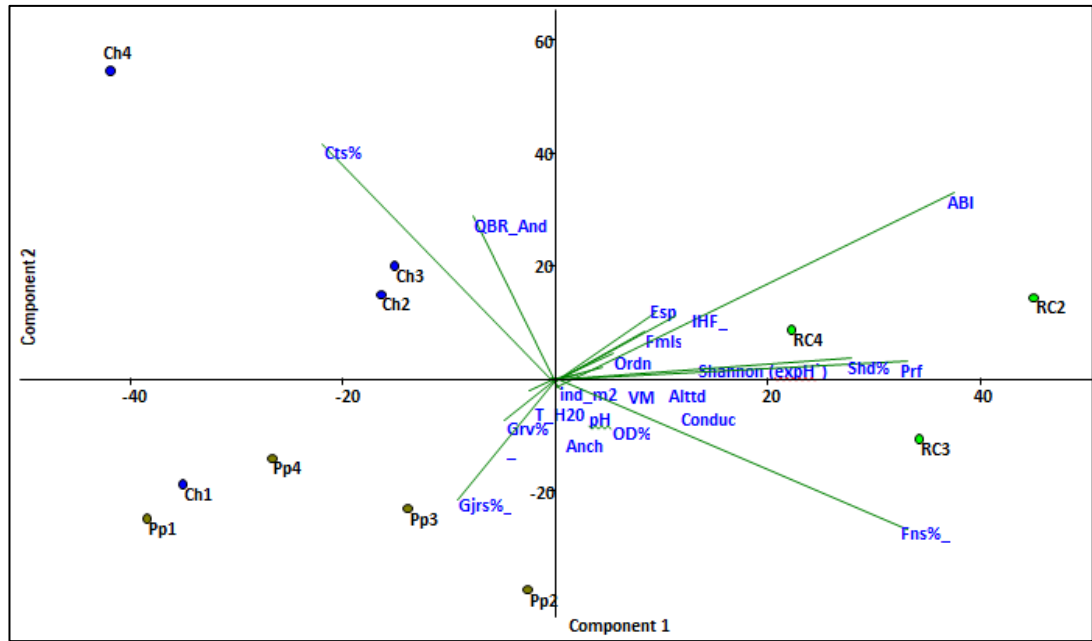


Figura 9. PCA, componente 1 y 2

Se seleccionó la variable ABI como la más representativa de las demás variables ambientales, debido a que fue una de las variables que reflejó mayor importancia dentro del análisis de componentes principales.

Las variables que no presentaron una correlación fuerte entre ABI y las siguientes variables fueron: sustrato fino ($r=0.35$, $p=0.252$ y $R^2=0.13$), sombra ($r=0.434$, $p=0.1583$ y $R^2=0.18$), cantos rodados ($r=-0.19$, $p=0.56$ y $R^2=0.035$), guijarros ($r=-0.29$, $p=0.349$ y $R^2=0.088$), QBR-And ($r=-0.20$, $p=0.520$ y $R^2=0.04$) (Figuras 10, 11, 12, 13 y 14).

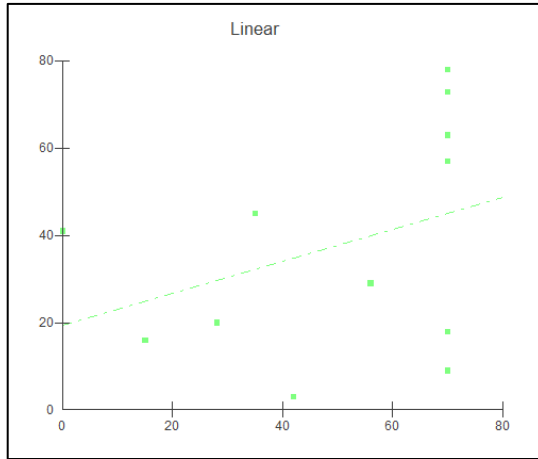


Figura 10. ABI-Sustratos finos ($r=0.35$, $p=0.252$ y $R^2=0.13$)

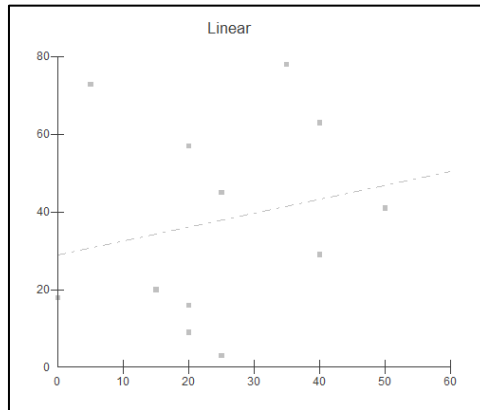
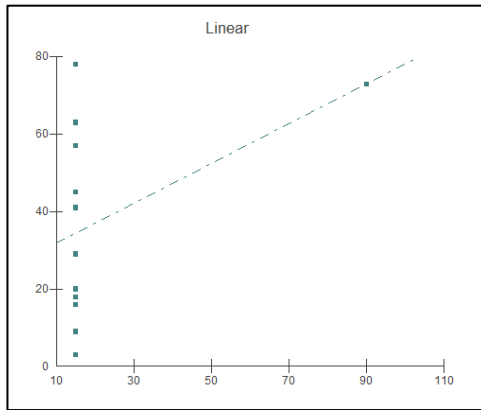


Figura 11. ABI-Sombra ($r=0.434$, $p=0.1583$ y $R^2=0.18$) **Figura 12** ABI-QBR-And ($r=-0.20$, $p=0.520$ y $R^2=0.04$).

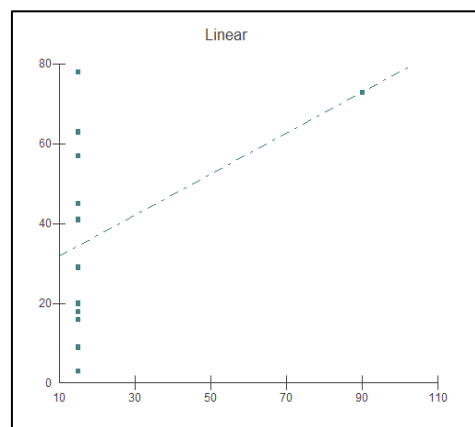
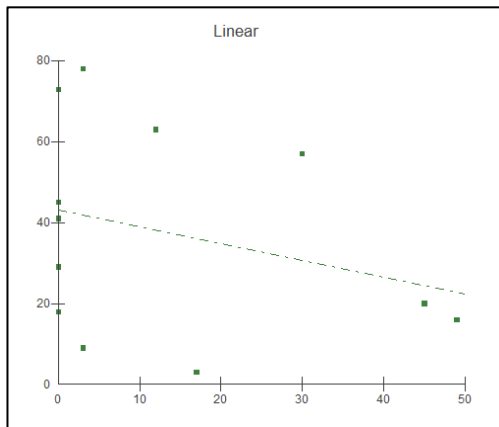


Figura 13 ABI-Guijarros ($r=-0.29$, $p=0.349$ y $R^2=0.088$) **Figura 14** ABI-Cantos rodados ($r=-0.19$, $p=0.56$ y $R^2=0.035$)

Las variables que demostraron valores significativos de correlación se describen a continuación:

ABI-Profundidad. Esta variable expresó una correlación positiva entre las comunidades de macroinvertebrados acuáticos (ABI) y la profundidad de los cuerpos de estudio ($r=0.7208$, $p=0.0081$ y $R^2=0.52$) (Figura 15).

ABI-Conductividad. Los resultados mostraron una fuerte correlación entre las comunidades de macroinvertebrados acuáticos (ABI) y la conductividad ($r=0.93$ $p=0.0001$ y $R^2=0.86$), es decir, que sí existe variación en las comunidades de macroinvertebrados acuático por la influencia de la conductividad (Figura 16).

ABI-IHF. Las variables ABI e IHF tienen una correlación lineal, registrando mayor influencia del hábitat fluvial sobre la composición y estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos ($r=0.78$, $p=0.0026$ y $R^2=0.61$) (Figura 17).

ABI-Temperatura del agua. Esta variable influyó sobre las comunidades de macroinvertebrados acuáticos ($r=0.86$, $p=0.0003$ y $R^2=0.75$) (Figura 18).

ABI-Velocidad media. Esta variable insidió en la calidad de agua determinada por la composición de las comunidades de macroinvertebrados ($r=0.78$, $p=0.005$ y $R^2=0.56$) (Figura 19).

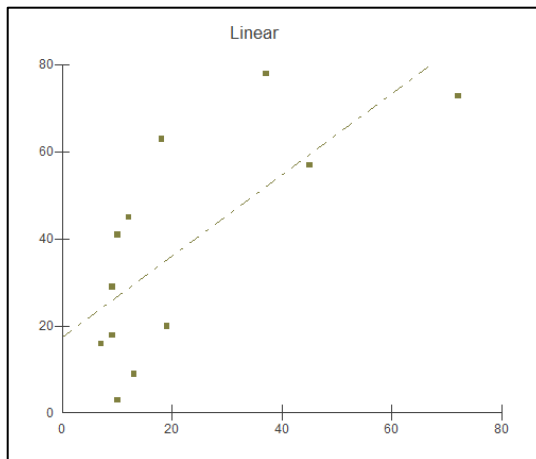


Figura 15 ABI-Profundidad ($r=0.7208$, $p=0.0081$ y $R^2=0.52$)

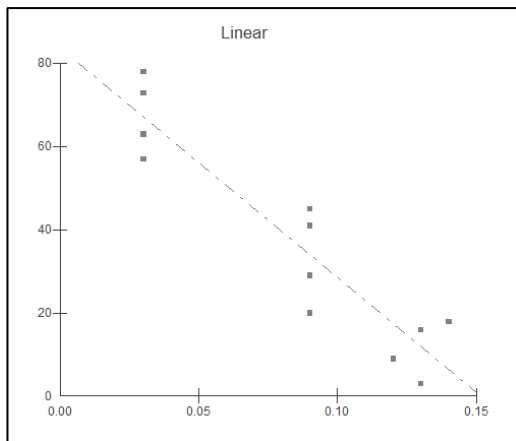


Figura 16 ABI-Conductividad ($r=0.93$, $p=0.0001$ y $R^2=0.87$)

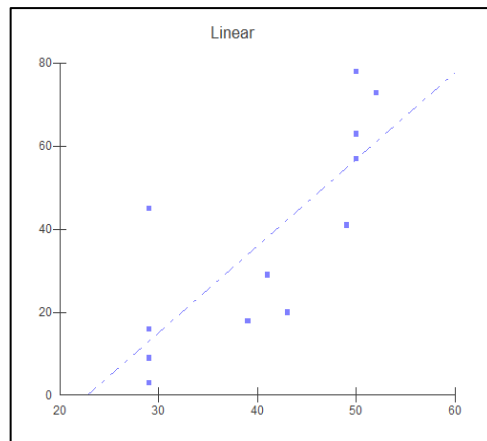


Figura 17 ABI e IHF($r=0.78$, $p=0.0026$ y $R^2=0.61$).

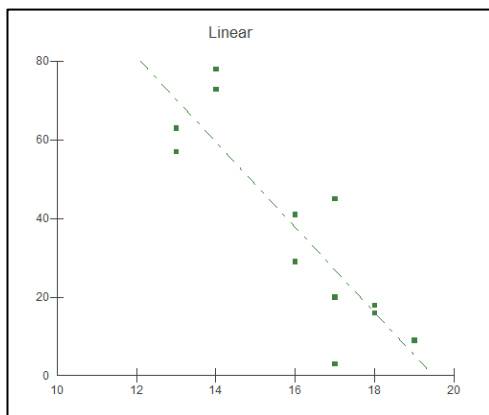


Figura 18 ABI - TH₂O ($r=0.78$, $p=0.005$ y $R^2=0.75$).

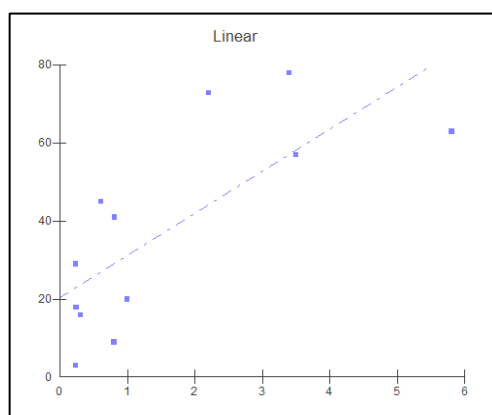


Figura 19 ABI - VM($r=0.78$, $p=0.005$ y $R^2=0.56$)

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

Mediante el análisis realizado, ha sido posible observar los distintos indicadores físicos, biológicos y de hábitat, los cuales evidenciaron afectaciones de la calidad de agua en los ríos de estudio, al igual que en el cuerpo de agua usado como control. Los valores observados son similares a los estudios registrados en ríos que experimentan problemas de polución y afectación antrópica, como es el caso de los estudios de Tingal y Vásquez (2019), así como de Chalar (1994), quienes plantean que los efectos de la contaminación en cuerpos de agua asociados a actividades industriales, dependen de la relación entre la carga orgánica y el poder de dilución del curso de agua y sus aportes por escorrentía.

La estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos depende de varios factores abióticos como la temperatura, profundidad, oxígeno disuelto, el pH, la conductividad y velocidad del agua (Forreo y Longo, 2014; Castellanos y Serrato, 2008). La temperatura promedio de los tres ríos osciló entre 13.7 a 19°C, siendo una de las variables asociadas para el desarrollo de los organismos acuáticos, debido a que influyen sobre la abundancia y composición de éstos (Durán y Suárez, 2018). La conductividad registrada para los ríos Pichambiche y Pichaví varió entre 454-721 $\mu\text{S}/\text{cm}$, encontrándose sobre los niveles admisibles de acuerdo con la OMS (1993), lo que no ocurrió con la Marquesa. En las variaciones de la conductividad pueden existir ciertos niveles de sales ionizadas como (cloruros, sodios y entre otros), las cuales provocan el incremento de esta variable. Hay que tomar en cuenta que la conductividad es una variable que influye en la distribución de los macroinvertebrados acuáticos, donde los organismos son más sensibles (Morelli y Verdi, 2014), sin embargo, también el oxígeno disuelto es un parámetro que interviene en el desarrollo de los macroinvertebrados acuáticos. En los resultados obtenidos, la concentración de oxígeno, en los tres lugares de estudio, fue inferior a 5 (mg/L), según el TULSMA (2002).

La mayor parte de los invertebrados son sensibles a la reducción de oxígeno disuelto, de tal manera que reducen su abundancia en ciertos organismos. A diferencia de otros grupos de taxones que toleran bajas concentraciones de oxígeno disuelto, estos taxones se caracterizan por presentar adaptaciones a la

anoxia, capaces de fijar oxígeno a muy baja concentración o la de obtener energía mediante el proceso de la fermentación anaerobia (Gill, 2014).

A través de los indicadores de las comunidades de los macroinvertebrados acuáticos, se pudo detectar que los valores de riqueza de familias, riqueza de especies y diversidad verdadera, fueron bajos para los ríos Pichambiche y Pichavi; estos valores son comunes en cuerpos de agua que experimentan distintos tipos de afectaciones, producidos por la industria de curtiembre, condición que también fue evidenciada por los estudios de autores como Cuesta (2019), Ávila (2019), Moncada (2007) y Roldán (1992).

En lo que respecta a los indicadores de abundancia, uno de los factores que ha inferido en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, ha sido la fragmentación del hábitat (agricultura, ganadería, floricultoras, tenerías, asentamientos humanos, entre otras). Autores como Ávila (2019), así como Oscoz, Campos y Escala (2006), reportan que la abundancia de los macroinvertebrados acuáticos se reduce en aquellos tramos que experimentan regulación en el caudal. En la presente investigación se evidenció, al analizar la abundancia y la densidad, un alto número de organismos, pero principalmente malos indicadores de calidad de hábitat, especialmente para los sitios con problemas ambientales. El mayor registro de individuos se obtuvo en el río Pichambiche, seguido del río Pichaví, aunque esta abundancia está compuesta por unos pocos taxones tolerantes a la contaminación, que les permite dominar la comunidad de invertebrados. La vertiente la Marquesa registró densidades semejantes a las halladas en cuerpos de agua con buen estado de conservación.

En la investigación de Caicedo (2020), registró un gran número de taxones resistentes a ambientes contaminados y de buena calidad, además, estudios como los de Meza y Calderón (2012) en Nicaragua, afirman que la presencia de químicos, resultados de la curtiembre, influenciaron en la baja presencia y densidad de los macroinvertebrados acuáticos, evidenciando la pobre calidad del agua. Sin embargo, estas diferencias en las densidades (Pichambiche 2444 indv/m², Pichaví 1636,5 indv/m² y la Marquesa 639,7 indv/m²), con respecto al estudio mencionado, pueden estar influenciadas por factores no considerados,

como la época en que se realizaron los estudios, el volumen de contaminantes que se vierten a los cuerpos de agua y la geomorfología.

Para Hernández (2010), las descargas de la industria de la curtiembre son las responsables de gran parte de la afectación de los cuerpos hídricos, además, las investigaciones que se enfocan en la composición de los macroinvertebrados acuáticos, han sido una herramienta para la caracterización biológica, permitiendo conocer los factores que influyen en la presencia y diversidad de los macroinvertebrados acuáticos, identificando con mayor precisión el nivel de alteración en los cuerpos hídricos debido a las actividades humanas o eventos naturales (Giacometti y Bersosa, 2006; Terneus y Yáñez, 2018). En contraste con esta investigación si bien no se realizó un análisis que relacione directamente esta actividad ni con otras productivas con las variaciones en la composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, se presume esta influencia debido al amplio registro de estas actividades en el sector, siendo estas principales fuentes económicas de la población.

Para el índice ABI, en los ríos con altos niveles de impacto humano, los valores fueron bajos o muy bajos, mientras que para el cuerpo de agua control, el valor registrado fue moderado. Otros autores como Meneses, Castro y Jaramillo (2019); Vozmediano (2015); Acosta, Ríos, Rieradevall y Prat (2009), corroboran estos hallazgos en sus estudios.

En el caso de las especies indicadoras de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, se registró con una alta dominancia de la especie *Chironomus* sp, perteneciente a la familia Chironomidae, siendo la más predominante y frecuente en los tres cuerpos de agua. En la investigación de Mosquera- Murillo y Córdoba (2015), se registró una alta abundancia del género *Chironomus* sp, en el río Atrato en Colombia. Otros estudios como los de Cortés y Ospina (2014); Chalar (1994), resaltan que *Chironomus* sp, ha sido la más común e indicadora de aguas afectadas por la contaminación orgánica. Las familias Chironomidae y Simuliidae fueron las más dominantes en los ríos de estudio. Este resultado es muy común en otros estudios de contaminación hídrica, y consideran a los quironómidos y Simuliidae como los grupos más tolerantes a condiciones alteradas y de distribución cosmopolita (Arias, 2020; Sierpe y Sunica, 2019; Pave y Marchese,

2005; Medina y Paggi, 2004; Medianero y Samaniego, 2004; Domínguez y Fernández; 2009).

Una de las razones del por qué existe mayor abundancia en los quironómidos en los tres cuerpos hídricos observados, puede ser a la baja concentración de oxígeno disuelto, por lo que, se deduce que los quironómidos pueden tolerar muy bien a las bajas concentraciones de oxígeno. Esto evidencia que los niveles bajos de oxígeno en ríos contaminados, sobre todo los que se encuentran cerca de zonas pobladas, pueden deberse a la presencia de materia orgánica y otros factores que provocarían la disminución de oxígeno en los cuerpos hídricos, como lo menciona Tisnado, Tafur, Corro y Revilla (2020), Romero y Zuñiga (2017), Villanueva y Esquivel (2012), Jacobsen (2003) y Chalar (1994). Sin embargo, los autores Durán y Suárez (2018) en su investigación, evidenciaron mínimas concentraciones de oxígeno en sus sitios de estudio y, las familias de macroinvertebrados acuáticos que están debajo de este parámetro, son indicadoras de muy baja calidad de agua. Además, se registró la familia Hyalellidae en los ríos alterados, esta familia ha sido considerada como bioindicador de contaminación en otras investigaciones, aunque autores como Jergnetz et al (2005), Di Marzio y Sáenz (2006), señalan que es un tema muy nuevo y poco estudiado, el cual puede ser utilizado para analizar la contaminación por pesticidas y toxicidad en los cuerpos hídricos.

Las diferencias significativas encontradas respecto a la riqueza de especies entre puntos de muestreo en los ríos Pichambiche y Pichaví, Ch1-Ch3 y Ch1-Ch4, y Pp1-Pp3 y Pp1-Pp2, respectivamente puede responder a la ubicación de los primeros puntos (Ch1,Pp1) aguas abajo, donde posiblemente se concentra los mayores cantidad agentes con potencial de alteración de descargas y alteraciones del hábitat fluvial, a diferencia de los puntos que se localizan en los tramos superiores (aguas arriba) del sector urbano (Ch3, Ch4, Pp3) los cuales se encuentran localizados antes de la mayoría de las actividades antrópicas, fuente de posible contaminación. Por su parte, las diferencias entre los puntos Pp1-Pp2 pueden obedecer a causas relacionadas con la estructura del cauce que con procesos de polución, dónde Pp1 registra mayor amplitud en el cauce que el punto Pp2. El cuerpo de agua considerado como control no registró diferencias

significativas en la riqueza de especies, lo que sugiere que el número de especies es semejante a lo largo de los cuatros puntos del curso muestreado, estado que es comprensible para cuerpos de agua que mantienen una buena calidad de conservación y no estaría sujeto a la influencia de factores contaminantes de manera marcada, lo que no ocurre con la abundancia, en las que sí existe diferencia significativa entre los puntos de muestreo, reflejado sobre todo en los sitios RC2-RC3 del cuerpo de agua control. Esta diferenciación responde a la variación incremental de las afectaciones hacia los cuerpos de agua, determinadas por los cambios del uso del suelo, conforme el cuerpo de agua desciende en altitud pudiendo ser esta diferencia causada por las actividades ganaderas evidenciadas en el punto RC3. Estos hallazgos se corroboran con otras investigaciones, como las de López (2017), Endara (2012), Marqués, Conde y Rovira (2001), en las que se evalúa el grado de perturbación en ríos contaminados, además, Rosero y Fossati (2009), realizaron las comparaciones entre los sitios de muestreo en los ríos del páramo de Papallacta, antes y después de las captaciones, para conocer la calidad de agua, verificando que existe diferencia entre los puntos que se encuentran en los tramos altos (sin intervención), en relación a los puntos que se encontraban en los tramos inferiores dónde existe cambios en el uso de suelo. Además, estudios como los de Rosado et al. (2017), también evidencian diferencias estadísticas en la riqueza y abundancia entre puntos de muestreo, considerando la localidad (zona urbana y agrícola o industrial) y en cuyo punto de control no presentó diferencias entre sus puntos de muestreo.

En cuanto a la similitud entre puntos de muestreo, mediante los diagramas de eslabonamiento, se pudo establecer que en el río Pichambiche, las comunidades de macroinvertebrados acuáticos que se encuentran aguas arriba o comienzan a atravesar la ciudad de Cotacachi, comparten la mayor similitud (45%) en su estructura y, estos a su vez de manera decreciente, registran una similitud menor al 20% con los puntos restantes aguas abajo.

La similitud entre los puntos de muestreo en el río Pichaví, permitió evidenciar que para las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, los puntos que se encuentran aguas arriba, en el extremo sur de la ciudad de Cotacachi, comparten

una similitud en su estructura y de manera decreciente un 44% en los puntos restantes aguas abajo. Los puntos Pp2-Pp3 presentaron una similitud del 71%, lo cual corresponde a los sitios que se encontraron localizados dentro del sector urbano, lo cual sugiere que pueden estar influenciados factores de alteraciones similares.

Finalmente, la similitud entre los puntos de muestreo en la Marquesa, permitieron establecer acerca de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, que los puntos que se encuentran aguas arriba, comparten una similitud en su estructura RC3-RC4(60%) y estos a su vez comparten de manera decreciente una similitud del RC1-RC2(5%) aguas abajo. Lo cual sugiere que en los tramos superiores no existe factores de alteración marcada o ambos están sujetos a la influencia de los mismos factores que difieren de los tramos inferiores. Como lo expresan Bejarano y Cruz (2017) en la investigación realizada en la microcuenca del Río Pollo, Distrito de Otuzco, existe un mayor grado de similitud en los puntos que se encuentran en las partes altas del cauce y menor similitud en la parte baja, pudiendo ser esto una consecuencia del vertido procedente del núcleo urbano de la ciudad de Otuzco.

La similitud entre ríos, ratifica los hallazgos realizados con el análisis entre puntos, dónde, se identifican dos grupos, el primero conformado por lo puntos del río Pichaví que se asemeja por su estado de afectación en un 28%, lo cual correspondería a las especies más comunes y resistentes (Paggi, 1999). El otro grupo, conformado por los puntos del río Pichambiche y la Marquesa, compartiendo una similitud entre éstos, del 37% en relación con el río Pichaví. Esta distribución responde un fenómeno propio de cuerpos de agua que atraviesan centros urbanos, en los cuales en su periferia se reduce la cobertura vegetal en su trayecto por la ciudad, debido a que reciben descargas de aguas negras, grises e industriales y, a su salida reciben efectos de la agricultura y ganadería, efectos que no se evidencian en el cuerpo de agua control, dónde la menor similitud alcanza más del 40% entre puntos.

Los efectos de la agricultura, ganadería, la deforestación y otras actividades, han provocado alteraciones en las condiciones del ecosistema acuático. Estos factores han determinado una posible influencia en este estudio ya que en lugares que se

evidenciaron alteraciones en los valores de los índices de calidad del hábitat fluvial (IHF) y de calidad de ribera (QBR-And) también se reflejó en la composición de las comunidades de los macroinvertebrados acuáticos, en concordancia con otros estudios realizados (Gustavson et al., 2013; Cao et al., 1997). De igual manera, Gallegos (2013) encontró que “la vegetación de ribera y cambios en el uso del suelo pueden afectar a la estructura del ensamblaje de los macroinvertebrados acuáticos” (p. 3). En los distintos puntos de muestreo, los ríos alterados tenían una “regular y pésima calidad de hábitats” para IHF y entre una “mala y pésima calidad de ribera” para el QBR-And. Estas puntuaciones obedecen a que la mayor parte del uso del suelo es destinado para la agricultura, ganadería y ciertas actividades industriales (tenerías y florícolas). Chugchilán (2018) coincide con los presente hallazgos, en su estudio realizado en las inmediaciones de la provincia de Cotopaxi, donde registró bajos valores, tanto para los índices IHF y QBR-And, atribuidos a la fragmentación del hábitat (agricultura y pastizales), de igual manera, la zona control presentó un IHF con “calidad media” y el QBR-And, indicó una “pésima calidad de ribera”, esto posiblemente responde a que se trata de una vertiente que en algún momento fue canalizada y abandonada, retomando con el tiempo las características de un cuerpo de agua natural. Otros estudios, como el de Ordóñez (2011), corroboran los presentes hallazgos, pues en su investigación asevera que, cuando existen cambios en la estructura de la cobertura vegetal a nivel de cuenca, éstos influyen en el estado de los ríos. Los autores Meza et al (2012), Arcos (2005) y Alonso (2006), exponen por su parte que “la ausencia de la vegetación de ribera produce pérdida en la diversidad de los macroinvertebrados acuáticos”.

Durante el análisis de PCA, se pudo establecer que las métricas ambientales que aportan mayor variabilidad a los fenómenos de estudio y, que tienen mayor influencia sobre la composición y estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, fueron la profundidad, sombra, sustrato fino, cantos rodados, sustrato guijarros e índice QBR-And. El PCA indica que la variación entre las variables ambientales, puede explicarse por los dos primeros componentes en un 68,96% y con el tercer componente se explica un 82,88% de la variabilidad total. Las variables del primer componente estuvieron integradas

por: sombra (Shd), profundidad (prf), sustratos finos (Fns) y ABI, variables que responden a la estructura y al factor biótico. Las variables de mayor influencia del segundo componente fueron: índice QBR-And, cantos rodados (cts) y sustratos finos (Fns) y corresponden a las variables netamente estructurales. El tercer componente presentó las siguientes variables: sustrato guijarros (Grjs), sombra (Shd) y sustratos finos (Fns), variables que se relacionan con la estructura del cuerpo de agua. Dentro de los tres componentes no todas las variables que se esperaba, demostraron tener correlaciones significativas que expliquen variaciones en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos. Aquellas variables que sí registraron correlaciones significativas, estuvieron relacionadas con ciertos aspectos de la física del agua como la temperatura, velocidad media, conductividad, profundidad y la estructura del cauce, en relación con el índice de hábitat fluvial. Estas variables responden al tipo de contaminación que reciben los cuerpos de agua y a la modificación de la calidad del hábitat fluvial. Hay que considerar que la temperatura afecta de manera significativa cuando se verifican gradientes mayores a 2°C, en un periodo corto de tiempo (Contreras et al., 2017). La velocidad media, es una variable que determina la capacidad para establecerse en las comunidades bióticas acuáticas, de esta manera, las velocidades muy bajas impiden una adecuada oxigenación y, velocidades muy altas, superiores a 3.5m/s, limitan el asentamiento de los organismos debido a la fuerza de arrastre. La conductividad es otro factor muy importante que regula la presencia de macroinvertebrados acuáticos y cuando sus valores son elevados, generan estrés en los organismos y alteran algunas capacidades fisiológicas, tal como lo evidenció Gallegos (2013) en su estudio. La profundidad también tiene gran importancia en el desarrollo de las comunidades de invertebrados acuáticos, a profundidades reducidas, se favorece el calentamiento del agua y se reducen el volumen para la dilución de cualquier contaminante. Finalmente, el hábitat fluvial es de extrema importancia para favorecer el desarrollo de las comunidades acuáticas, en los cauces sin vegetación, carentes de sombra, con poca heterogeneidad en su forma y cuyo sustrato es simple, son limitadas las áreas de refugio, reproducción, alimentación y por tanto el desarrollo de los macroinvertebrados acuáticos.

El análisis PCA también agrupó los puntos de muestreo siguiendo los patrones observados por los diferentes indicadores. Las localidades en la Marquesa se agruparon a la derecha de la gráfica, caracterizados principalmente por una mayor puntuación para el ABI, mayor presencia de sustratos finos, además de ser lugares más sombreados y con mayor profundidad. A la izquierda de la gráfica, en el cuartil superior, se localizaron los puntos de muestro del curso medio-bajo (Ch2), medio (Ch3) y alto (Ch4) del río Pichambiche, influenciados por un alto porcentaje de cantos y valores más altos de QBR-And. En el cuartil inferior izquierdo se agruparon todos los puntos del río Pichaví, junto con el punto bajo del Pichambiche (Ch1), caracterizados por su mayor porcentaje de gravas y guijarros.

La composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, utilizados como indicador de calidad de ecosistema acuático en los tres cuerpos de agua estudiados, evidenció que existen factores que han influenciado en su estructura y composición, estos factores pueden ser múltiples y actuar en distinta magnitud, sin embargo, algunos de ellos resultaron más significativos en su capacidad de afectar a los macroinvertebrados acuáticos.

Aquellos factores que resultaron ser poco significativos, es decir que inciden muy poco en la estructura y composición de las comunidades de MIAs, fueron sombra, sustrato fino, sustrato guijarros, QBR-And y cantos rodados. Las variables que sí evidenciaron tener una mayor influencia sobre los macroinvertebrados fueron: conductividad, IHF, temperatura del agua, profundidad y velocidad media. Estas variables resultaron altamente significativas y están relacionadas con contaminación por incorporación de sólidos disueltos, descargas de aguas con temperaturas elevadas, alteración de la profundidad y simplificación de la geometría del cauce, y finalmente alteración de la calidad del hábitat fluvial. La influencia de estas variables se experimenta de manera directa e inversamente proporcional, así las variables profundidad, IHF y velocidad media, cuando experimentan incrementos, también generan incrementos en el indicador biótico de macroinvertebrados acuáticos (ABI), mientras que, las variables conductividad y temperatura del agua, registran valores inversos al indicador biótico (ABI), es decir, por ejemplo: a mayor incremento de la temperatura del agua, menor es el

valor que se registrará para el ABI (ver Figuras 16-19). Acorde a estas observaciones, los autores Oseguera, Alcocer y Escobar (2016), Forero et al., (2014) y, Vivas et al., (2002), en sus estudios mencionan que los macroinvertebrados acuáticos se encuentran influenciados por dichas variables, estas variables están asociadas a las prácticas productivas que se desarrollan en el área de influencia del estudio. Además, las correlaciones descritas anteriormente, producto de esta investigación, concuerdan con las identificadas en otros estudios, dónde la temperatura y conductividad estuvieron asociadas a la práctica de las curtiembres. La profundidad, velocidad media y el IHF estuvieron vinculadas a las prácticas agrícolas y cambios en el uso del suelo según Cuarán y Ruiz (2019); Machado y Ramírez (2003). En cambio la agricultura, floricultoras, industrias y actividades urbanas, modificaron la concentración de las variables fisicoquímicas del agua y la composición de las comunidades de los macroinvertebrados acuáticos Machado y Ramírez (2003).

Conclusiones

Se caracterizó la calidad de los cuerpos hídrico utilizando parámetros como la composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, físico-químicos e hidromorfológicos en dos ríos, el Pichaví y Pichambiche, que atraviesan la ciudad de Cotacachi afectada por actividades relacionadas con la industria del cuero, y otras como agrícolas y ganaderas. Se escogió el río la Marquesa como zona control. La evaluación de la calidad de agua en la zona mostró distintos problemas como aparente resultado de sus prácticas productivas y cambios en el uso del suelo, considerando el contraste de estos resultados obtenidos en el río control.

Se pudo determinar que los cuerpos de agua Pichambiche y la Marquesa registraron una riqueza de 35 y 24 respectivamente, mientras que en el Pichaví se registraron 14. En cuanto a la abundancia y densidad por m² de superficie analizada, se evidenció que los cuerpos de agua afectados tuvieron valores mucho mayores en comparación a la zona control. Esta gran cantidad de organismos

pertenecientes a pocos taxones muy tolerantes a la contaminación sugieren una afectación ambiental significativa. La diversidad reflejó la típica huella de cuerpos de agua sometidos a afectaciones antrópicas, con valores más bajos en los dos ríos impactados, a diferencia del sitio control que reportó un valor medio.

El índice Biótico Andino (ABI) mostró que las comunidades bióticas de macroinvertebrados en los ríos Pichambiche (29,5) y Pichavi (15,75) son propias de ambientes sometidos a estrés permanente, producto de las actividades humanas asociadas a la ciudad de Cotacachi. En cambio, en el río la Marquesa presentó una puntuación de 67,75 sugiriendo una calidad buena debido a que presenta mejores condiciones de conservación y porque se encuentra relativamente alejada de las fuentes de contaminación procedente del sector urbano.

Mediante los análisis de similitud, se pudo establecer que los ríos Pichambiche y Pichaví comparten en sus tramos superiores una comunidad de organismos y que ésta va difiriendo conforme desciende el cuerpo de agua a su tramo inferior. La similitud entre ríos experimentó cierta diferencia inesperada; cuando la mayor similitud se dio entre el río Pichambiche y la Marquesa, sugiriendo que el río Pichambiche guarda todavía cierta capacidad de resiliencia ambiental, a diferencia del río Pichaví que guarda una reducida similitud con los otros dos cuerpos de agua y cuya composición estaría constituida por organismos altamente resistentes a las afectaciones y que en estas condiciones se vuelven abundantes.

El índice de calidad IHF para los ríos Pichambiche y Pichavi fue de 37 y 35 respectivamente, valoración asociada a las prácticas que modifican el uso del suelo y afectando el desarrollo de elementos que incrementen la heterogeneidad del hábitat, los cuales favorecen a las comunidades bióticas. Por otro lado, la Marquesa presentó un IHF de 50 asociado a lugares que mantienen mejores condiciones en la estructura del cauce de los cuerpos hídricos. Los valores del índice QBR-And fueron bajos para los ríos Pichaví y la Marquesa 13,75 y 25 respectivamente. Esto puede deberse a la fragmentación de hábitat (agricultura, ganadería, deforestación y entre otros). El río Pichambiche presentó un valor de

29 cuya calidad de ribera se encuentra relacionada con el cambio del uso del suelo.

De los parámetros físico-químicos evaluados se identificó a los de mayor influencia sobre la calidad del recurso determinado por las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, los cuales fueron: profundidad, conductividad, temperatura del agua, índice de hábitat fluvial y velocidad media.

Recomendaciones

Con el fin de proponer e implementar acciones dirigidas al mejoramiento de la calidad de los cuerpos de agua estudiados, se recomienda ampliar los estudios de calidad de agua y evaluación ecológica de los ríos Pichambiche y Pichavi, para fortalecer la información existente e incorporar datos históricos que ayuden a comprender su dinámica natural y sus amenazas.

Se propone desarrollar un inventario de actividades productivas y fuentes de contaminación que permita delimitar las responsabilidades y proponer las acciones para una correcta evaluación, manejo y remediación de los cuerpos de agua.

Se sugiere además fortalecer las campañas para la toma de datos fisicoquímicos y sedimentos del agua, en diferentes épocas de año, con el fin de detectar variaciones en las concentraciones de posibles sustancias polucionantes y contaminantes que afecten a las comunidades bióticas.

Es recomendable, implementar sistemas de evaluación multimétricos de integridad, tanto biológica como ecológica, para caracterizar el estado de conservación y la funcionalidad de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos. Además, con los resultados que se obtenga, se profundizará en la discusión y resolución de temas relacionados con una política pública asociada al buen uso y gestión del recurso hídrico.

Cotacachi se declaró como cantón ecológico y en esa coyuntura, se recomienda informar y motivar a las autoridades a implementar procesos de monitoreo para mejorar el manejo de sus cuencas hídricas, fundamentados en datos de campo

reales y actualizados en el tiempo, esta información será crucial para la toma de decisiones.

Todos los esfuerzos realizados en la parte biótica, deberían ser fortalecidos y acompañados con programas de sensibilización, concienciación, educación, organización de grupos de trabajo y limpieza comunitaria, diseño y mejoramiento de senderos, monitoreo constante del cauce del río (calidad de agua, cumplimiento de normativa y gestión de riesgo), recuperación de riberas, reforestación de bosques galería y modificación de normas que regulen el uso del recurso.

Se sugiere que las políticas públicas planteadas y desarrolladas para la gestión del recurso hídrico, se implementen corto y mediano plazo.

Se recomienda que los procesos de generación de información como son los estudios de investigación, tesis y trabajos de consultoría, ejecutados en el área, contribuyan a alimentar una base de datos regional o nacional y a fortalecer la implementación de sistemas de monitoreo estandarizados. La construcción de estas bases de datos regionales o de país, permite la elaboración de proyecciones o estimaciones del estado del recurso y sus posibles afectaciones naturales o antrópicas a través del tiempo.

Se plantea además incorporar y comprometer a las comunidades locales en los procesos de biomonitoreo, como un mecanismo independiente y eficiente de control y evaluación ciudadana.

Con la información generada en la presente investigación se propone un plan de biomonitoreo de los ecosistemas acuáticos del cantón Cotacahi, con el objetivo de establecer medidas que protejan y pretendan salvaguardar la calidad del recurso hídrico a futuro Anexo 2.

Literatura Citada

- Acosta, R., y Prat, N. (2009). Estudio de la Cuenca Altoandina del río Cañete (Perú): Distribución altitudinal de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y caracterización hidroquímica de sus cabeceras cársticas. *Departamento de Ecología, Facultad de Biología, Doctorado*, 153.
- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., y 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*, 28(1), 035-64.
- Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA)*, II(September), 202–213.
- Alonso, A. 2006. Valoración del efecto de la degradación ambiental sobre los macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares. *Ecosistemas*, Asociación española de ecología terrestre, 15(2): 1-5.
- Almeida, L. (2014). *Una revisión de la evaluación de la calidad de agua de los ríos de la provincia de Imbabura*. http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/8370/1/Almeida_Betancourt_Lucio_Antonio.pdf
- Álvarez, L. F. (2005). Macroinvertebrados Acuáticos Como Indicadores. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*, 05, 263.
- Alvarez, M., y Córdoba-córdoba, S. (2006). *Insectos. February*.
- Arias, M. (2020). Bioindicadores de contaminación en aguas residuales de sistemas agropecuarios en el Distrito de Riego Arenal Tempisque. Guanacaste, Costa Rica. *Oriulus Revista Científica*. Vol.1. N° 1.2020.
- Arcos, I. 2005. Efecto del ancho los ecosistemas riparios en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras: Tesis de Maestría, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba. 104 p.

- Ávila Daza, C. A. (2019). Composición y diversidad de la comunidad de macroinvertebrados a lo largo de un tramo urbano del Río Tunjuelo, Bogotá.
- Bravo Bustamante, M. A. (2016). *Fuentes de contaminación antropogénicas que afectan la calidad del agua del río Vences, año 2015. Plan de prevención* (Master's thesis, Quevedo: UTEQ).
- Bejarano Rodríguez, A. Y. (2017). Calidad Del Agua De La Microcuenca Del Río Pollo-Distrito De Otuzco, Empleando Macroinvertebrados Acuáticos Como Bioindicadores.
- Cao Y, Bark A, Williams P (1997) Analyzing benthic macroinvertebrate community changes along a pollution gradient: a framework for the development of biotic indices. *Wat. Res.* 31: 884-892
- Caicedo.Erik. (2020). *Evaluación Espacial De La Comunidad De Macroinvertebrados Como Herramienta De Medición De Calidad Del Agua Del Estero San Enrique, Durán* (Doctoral Dissertation, Universidad Agraria Del Ecuador).
- Cárdenas, E., Lugo, L., González, J., y Tenjo, A. (2018). Macroinvertebrados Para La Caracterización Del Río Bogotá Application of the Family Biotic Index of Macroinvertebrates for Water Characterization of the Teusaca River , Tributary of the Bogota River. *U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 21(2), 587–597.
- Castellanos, P.M.; Serrato, C. 2008. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de río en el páramo de Santurbán, Norte de Santander. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 32(122):79-86.
- Cortés-Guzmán, D., y Ospina-Torres, R. (2014). Comunidades de macroinvertebrados acuáticos en quebradas de la Isla de Providencia, mar Caribe colombiano. *Intropica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales*, 9(1), 9-22.
- Contreras, J. Y. O., y Botello, M. L. B. (2017). Diagnóstico espacio temporal de las variables abióticas y bióticas, que afectan la estructura de la comunidad de los macroinvertebrados bentónicos, presentes en un ecosistema lótico. *Respuestas*, 22(1), 112-128.

- Cuarán, D., y Ruiz, K. (2019). *Evaluación del Estado Trófico en relación a los parámetros físico-químico y macroinvertebrados bentónicos del Lago San Pablo, Cantón Otavalo*.
- Cuesta Parra, D. M. (2019). Evaluación ambiental asociada a los vertimientos de aguas residuales generados por una empresa de curtiembres, en la Cuenca del Río Aburrá.
- Chalar, G. (1994). Composición y abundancia Del zoobentos Del Arroyo Toledo (Uruguay) y su relación con La calidad de agua. *Revista chilena de historia natural*, 67, 129-141.
- Chen, B.P. (2018). Evaluation of Storm Water Surface Runoff and Road Debris as Sources of Water Pollution. Obtenido de Springer International Publishing AG: <https://bibliograficas.ucc.edu.co:2201/content/pdf/10.1007%2Fs11270-018-3793-2.pdf>.
- Chugchilán, V., y Jesùs, I. (2018). *Relacion entre los usos de suelo y los macroinvertebrados acuaticos como bioindicadores de la calidad hidrica en el rio Pilalo, Cotopaxi, Ecuador* (Bachelor's thesis, Quevedo-Ecuador).
- Damanik.-Ambarita, MN., Lock, K., Boets, P., Everaert, G., Nguyen, THT., Forio, MAE., Goethals, PLM. (2016). Ecological water quality analysis of the Guyas river basin (Ecuador) based on macroinvertebrates indices. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 57, 27-59. <http://doi.org/10.1016/j.limno.2016.01.001>
- Da Ros, G. (1995). *La contaminación de aguas en Ecuador: una aproximación económica*. Editorial Abya Yala..
- De La Cruz Sánchez, T. (2017). *Centro para la capacitación y fortalecimiento de la ritualidad en medicina ancestral para Cotacachi*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/12146>.
- Di Marzio, W. y M. E. Saenz. 2006. QSARs for aromatic hydrocarbons at several trophic levels. *Environ. Toxicol.* 21: 118-124.
- Domínguez, E., y Fernández, H. R. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. *Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina, 656.

- Durán, A. Z. O., y Suarez, D. A. G. (2018). Determinación del tratamiento y la calidad de agua utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. *Dinamica ambiental*, (2), 9-25.
- Encalda, A. (2010). ? Funciones ecosistémicas y diversidad de los ríos. Reflexiones sobre el concepto de caudal ecológico y su aplicación en el Ecuador". *Polemika*, 2(5): 40-47
- Endara, A. (2012). Identificación de macro invertebrados bentónicos en los ríos: Pindo Mirador, Alpayacu y Pindo Grande; determinación de su calidad de agua. *Enfoque UTE*, 3(2), 33-41.
- Figueroa, R., Valdovinos, C., Araya, E., y Parra, O. (2003). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista chilena de historia natural*, 76(2), 275-285.
- Flores, P. (2010). *Manejo integral de la Cuenca Hidrográfica del Río Ambi ubicado en la Provincia de Imbabura entre las poblaciones de Atuntaqui y Otavalo, sector Cantón Cotacachi* (Bachelor's thesis, Quito: USFQ, 2010).
- Forero, L. C., Longo, M., Ramírez, J. J., y Chalar, G. (2014). Índice de calidad ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para la cuenca del río Negro (ICE RN-MAE), Colombia. *Revista de biología tropical*, 62, 233-247.
- GAD, C. (2011). Plan de Desarrollo y de Ordenamiento Territorial del cantón Cotacachi *PDOT_Cotacachi*.
- Galeano-Rendón, E., y Mancera-Rodríguez, N. J. (2018). Efectos de la deforestación sobre la diversidad y la estructura del ensamblaje de macroinvertebrados en cuatro quebradas Andinas en Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1721–1740. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i4.31397>
- Gallegos-Sánchez, S. A. (2013). *Effect of riparian vegetation cover and season on aquatic macroinvertebrate assemblages in the Ecuadorian Andes* (Master's thesis, Norwegian University of Life Sciences, Ås).Giacometti, J.C. y Bersosa, F. (2006). Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad de agua en el río Alambi. *Serie Zoológica*, 2,17-32.

- Gil-Gómez, J. A. (2014). Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa (Tesis de maestría). Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas, Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.
- Giacometti, J. C., y Bersosa, F. (2006). Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Amlambi. *Serie Zoológica*, 2, 17-32.
- Gómez, H. (2014). Evaluación de ecosistema ripario en una subcuenca del Sistema Cutzamala (Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas). Universidad Autónoma de México, México D.F.
- González H.A., Crespo A. E., Acosta. C. R., Hampel H. (2018). Guía rápida para la identificación de macroinvertebrados de los ríos altoandinos del Cantón Cuenca. ETAPA EP. Cuenca. 156pp.
- Gustavson, S. S., Cosme, L. A., y Trama, F. A. (2013). *Macroinvertebrados Oxapampa Peru*. 03(02).
- Hamada, N., Nessimian, J. L., y Querino, R. B. (2014). *Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. Manaus: Editora do INPA, 2014..
- Hammer, Ø., Harper, D. A., y Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica*, 4(1), 9.
- Hernández Delorenzo, V. (2010). Comparación del zoobentos en dos embalses eutróficos de diferentes eco-regiones de la Cuenca del Santa Lucía.
- Isch, E., y Gentes, I. (2006). Agua y servicios ambientales: visiones críticas desde los Andes.
- Jackson, J.K.; Füreder. L. (2006). Long-term studies of freshwater macroinvertebrates: a review of the frequency, duration and ecological significance. *Freshwater Biology (USA)*. 51: 591-603.
- <http://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01503.x>

- Jacobsen, D. (2003). Los ríos de la Sierra ecuatoriana son más sensibles a la contaminación. Recuperado el 10 de abril de 2017, a partir de <http://repositorio.educaciónsuperior.gob.ec/handle/28000/614>.
- Jergnetz, S., Mugni, H., Bonetto, C., Schulz, R., (2005). Assessment of insecticide contamination in runoff and stream water of small agricultural streams in the main soybean area of Argentina. *Chemosphere* 61, 817–826.
- Lopretto, E. C., y Tell, G. (1995). *Ecosistemas de aguas continentales Metodologías para su estudio*. Ediciones Sur.
- López Buitrón, J. E. (2017). *Influencia de los macroinvertebrados acuáticos en la tasa de descomposición de la hojarasca en dos ríos de la zona alto andina de DMQ* (Bachelor's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2017).
- Machado, T., y Ramírez, J. J. (2003). Los macroinvertebrados acuáticos y su relación con los cambios en las variables físicas y químicas como indicadores de la calidad ecológica de la cuenca del río Negro (Informe final). *Convenio Universidad Católica de Oriente-Cornare. Rionegro*.
- Mafla Herrera, M. (2005). Guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicos en ríos de tamaño mediano, Talamanca, Costa Rica.
- Manrique-Abril FG, Manrique DA; Manrique RA; Tejedor M. (2007). Contaminación de la cuenca alta del río Chicamocha y algunas aproximaciones sobre la salud humana. *Rev Salud Hist y sanidad* 2 (1): 03-13
- Marqués, M. J., Martínez-Conde, E., y Rovira, J. V. (2001). Los macroinvertebrados como índices de evaluación rápida de ecosistemas acuáticos contaminados por metales pesados. *Ecotoxicology and Environmental Restoration*, 4(1), 25-31.
- Medianero, E., y Samaniego, M. (2004). Comunidad de insectos acuáticos asociados a condiciones de contaminación en el río Curundú, Panamá. *Folia Entomológica Mexicana*, 43(3), 279-294.
- Medina, A. I., y Paggi, A. C. (2004). Composición y abundancia de Chironomidae (Diptera) en un río serrano de zona semiárida (San Luis, Argentina).
- Meneses-Campo, Y., Castro-Rebolledo, M. I., y Jaramillo-Londoño, A. M. (2019). Comparación de la calidad del agua en dos ríos altoandinos

- mediante el uso de los índices BMWP/COL. Y ABI. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 299-310.
- Meza, Y. F., y Calderón. (2012). H. Diagnóstico Ambiental Cuenca Alta Rios Mico Y Siq. *Manejo Integral de Agua y Suelo en Centroamérica. Bases científicas para el desarrollo rural comunitario.*, 54.
- Moncada Pereira, M. F. (2007). *Incidencia de la industria del curtido de pieles animales en la calidad del agua del Río Cerrito, Valle del Cauca* (Bachelor's thesis, Universidad Autónoma de Occidente).
- Morelli, E., y Verdi, A. (2014). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en cursos de agua dulce con vegetación ribereña nativa de Uruguay. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(4), 1160-1170.
- Mosquera-Murillo, Z., y Córdoba-Aragón, K. E. (2015). Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en tres ciénagas de la cuenca media del río Atrato, Chocó, Colombia. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó Investigación, Biodiversidad y Desarrollo*, 34(1), 22-35.
- Munne, A., Prat, N., Sola, C., Bonada, N., Rieradevall, M., 2003. A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 13, 147e163.
- Naranjo, A. (2017). *La Otra Guerra: Situación de los Plauicidas en Ecuador*.
- Ordóñez Arízaga, M. V. (2011). *Influencia del uso del suelo y la cobertura vegetal natural en la integridad ecológica de los ríos altoandinos al noreste del Ecuador* (Bachelor's thesis, Quito: USFQ, 2011).
- Oseguera, L. A., Alcocer, J., y Escobar, E. (2016). Macroinvertebrados bentónicos de dos lagos tropicales de alta montaña en el volcán Nevado de Toluca, en la región central de México. *Hidrobiológica*, 26(3), 419-432.
- Oscoz, J., Campos Sánchez-Bordona, F., y Escala, M. D. C. (2006). Variación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en relación con la calidad de las aguas. *Limnetica*, 25(3), 683-692.

- Paggi, A. C. (1999). Los Chironomidae como indicadores de calidad de ambientes dulceacuícolas. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 58(1-2), 202-207.
- Pave, P. J., y Marchese, M. (2005). Invertebrados bentónicos como indicadores de calidad del agua en ríos urbanos (Paraná-Entre Ríos, Argentina). *Ecología austral*, 15(2), 183-197.
- Peña García, A. (2007). Una perspectiva social de la problemática del agua. *Investigaciones geográficas*, (62), 125-137.
- Pérez, R. (2012). Agricultura y Contaminación del Agua. En UNAM (Ed.), 2012 (Primera Ed).
- Posada-García, J. A., y Roldán-Pérez, G. (2003). Clave ilustrada y diversidad de las larvas de trichoptera en el nor-occidente de Colombia/Illustrated key for the larvae of Trichoptera in the northwest of Colombia. *Caldasia*, 169-192.
- Prat, N., M. Rieradevall, R. Acosta y C. Villamarin. (2011). Guía para el reconocimiento de las larvas de Chironomidae (Díptera) de los ríos altoandinos Ecuador y Perú. Clave para la determinación de los géneros. <http://www.4.ub.edu./riosandes/>
- Prat, N., y Munné, A. (2014). Biomonitorio de la calidad del agua en los ríos ibéricos: lecciones aprendidas. *Limnetica*, 33 (1), 47-64.
- Proaño, M. (2006). Diagnóstico de los Recursos hídricos de ña Reserva Ecológica Cotacaccho-Cayapas. *Ministerio del Ambiente*, 119.
- Puntí, T., Rieradevall, M., y Prat, N. (2009). Environmental factors, spatial variation, and specific requirements of Chironomidae in Mediterranean reference streams. *Journal of the North American Benthological Society*, 28 (1), 247-265.
- Ramírez, A. (2010). *Métodos de recolección*.
- Ríos-Touma, B., Acosta, R., y Prat, N. (2014). The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Revista de Biología Tropical*, 62, 249-273.

- Riojas-Rodríguez, H., Schilman, A., López-Carrillo, L., & Finkelman, J. (2013). La salud ambiental en México: situación actual y perspectivas futuras. *salud pública de méxico*, 55, 638-649.
- Rivera-Usme, J. J., Pinilla-Agudelo, G. A., y Rangel-Ch, J. O. (2013). Ensamblaje De Macroinvertebrados Acuáticos Y Su Relación Con Las Variables Físicas Y Químicas En El Humedal De Jaboque-Colombia: Assemblage of aquatic macroinvertebrates and its relationship whit physical and chemical variables in the wetland Jaboque-Colombia. *Caldasia*, 35(2), 389-408.
- Rodríguez, C. P., Aráuz, A. C., y Álvarez, L. A. (2018). Metabolismo urbano en la ciudad de Baeza, Ecuador. Análisis de sus flujos del agua. *Bitácora Urbano-Territorial*, 28(3), 131-141.
- Roldan, G. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Edit. Universidad de Antioquia. Primera edición. Medellín – Colombia.
- Bioindicación de la Calidad de Agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col. Antioquia: Universidad de Antioquia.
- Romero Cárdenas, I. N., y Zúñiga Acurio, T. K. (2017). *Evaluación de la calidad ecológica del río Ushimana utilizando comunidades de macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua* (Bachelor's thesis, Quito, 2017.).
- Rosado, Á. Y., Yanez, Á. B. Y., Zambrano, J. P. U., Cabezas, D. C. M., Chuez, N. M. G., y Cajas, C. C. T. (2017). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo: Ecuador. *Revista Ciencia y Tecnología*, 10(1), 27-34.
- Rosero, D., y Fossati, O. (2009). Comparación entre dos índices bióticos para conocer la calidad del agua en ríos del páramo de Papallacta. *Índices Bióticos. AguAndes: GEUA, IRD*.
- Rhoades, R. E., Zapata, X., y Aragundy, J. (2006). El cambio climático en Cotacachi. En *Desarrollo con identidad: comunidad, cultura, y sustentabilidad en los Andes*.
- Rudas, G., Marcelo, D., Armenteras, D., Rodríguez, N., Morales, M., Delgado, L. C., y Sarmiento, A. (2007). Biodiversidad y actividad humana: relaciones

- en ecosistemas de bosque subandino en Colombia. *Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.*
- Secundaria, T. U. D. L. L. Del Ministerio Del Ambiente–Tulsma (2002): Libro VI de la Calidad Ambiental, Título VII, Anexo I: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Ecuador.
- Sharma, R. C. y Rawat, J. S. (2009). Monitoring of aquatic macroinvertebrates as bioindicator for assessing the health of wetlands: A case study in the central Himalayas, India. *Ecological Indicators*, 9, 118-28.
- Sierpe, C., y Sunico, A. (2019). Familia Chironomidae (Orden Díptera) utilizada como bioindicador para la determinación de calidad ambiental de la cuenca del Río Gallegos (Santa Cruz, Argentina). *Informes Científicos Técnicos-UNPA*, 11(2), 92-105.
- Springer, M. (2010). Trichoptera. Escuela de Biología y Centro de investigación en Ciencias del AMr y Limnología. Universidad de Costa Rica. monika.springer@ucr.ac.cr
- Terneus-Jácome, E., y Yáñez-Moreta, P. (2018). Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1), 36-50.
- Tingal Chilón, D. C., y Gil Vásquez, A. T. (2019). Determinación de la Contaminación Orgánica del Río Llaucano–Cajamarca Perú Aplicando Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores de la Calidad del Ecosistema Acuático 2018.
- Tisnado, G. M., Tafur, C. M., Polo-Corro, J. L., y Revilla, M. H. (2020). Calidad Del Agua Según Los Macroinvertebrados Bentónicos Y Parámetros Físicoquímicos En La Cuenca Del Río Huacamarcanga (La Libertad, Perú). *Rebiol*, 40(1), 85-98.
- Villanueva, M. y Esquivel, R. (2012). Impactos antropogénicos en la calidad del agua del río Cunas. *Ciencias Sociales*, 02(02), 130-137.
- Vozmediano, P. (2015). Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como indicadores de la calidad del agua para generar una propuesta de manejo

participativo de la microcuenca del río San Joaquín para fomentar la gestión comunitaria del recurso hídrico.

Vivas, S., Casas, J., Pardo, I., Robles, S., Bonada, N., Mellado, A., y Jáimez-Cuéllar, P. (2002). Aproximación multivariante en la exploración de la tolerancia ambiental de las familias de macroinvertebrados de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED. *Limnetica*, 21(3-4), 149-173.

ANEXO 1. Indicadores de riqueza, abundancia y diversidad por punto de muestreo y total de MIA, para cada cuerpo de agua

RÍOS	PICHAMBICHE					PICHAVI					LA MARQUESA				
Puntos	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Total	Pp1	Pp2	Pp3	Pp4	Total	RC1	RC2	RC3	RC4	Total
Taxa_S (#sp)	2	10	14	18	24	6	7	5	7	14	21	24	18	19	35
Fml	2	8	13	12	35	5	6	4	5	20	18	20	15	14	67
Ordn	2	6	8	7	23	3	5	3	3	14	12	13	9	9	43
Individuals (# individuos)	6353	1780	543	1099	9775	743	4797	976	30	6546	374	398	1203	584	2559
exp H'	1,15	3,21	4,17	2,55		1,21	1,45	3,24	4,41		10,26	8,886	3,42	4,96	
Simpson_1-D (diversidad)	0,06	0,52	0,63	0,37	1,59	0,07	0,15	0,61	0,70	1,53	0,85	0,82	0,52	0,67	2,87
Dominance_D (0 a 1)	0,93	0,48	0,36	0,62	2,40	0,92	0,84	0,38	0,29	2,46	0,14	0,17	0,47	0,32	1,12
Densidad (Ind/m2)	6353	1780	543	1099	2443,75	743	4797	976	30	1636,5	374	398	1203	584	639,75
ABI	3	29	45	41	29,5	16	18	9	20	15,75	73	78	57	63	67,75

Familia (Fml), Orden (Ordn), índice Biótico Andino (ABI), Macroinvertebrados acuáticos (MIA) (corregir dígitos) dos gráficos

ANEXO 2

PLAN DE BIOMONITOREO DE LAS CUENCAS FLUVIALES DEL CANTÓN COTACACHI

ANTECEDENTES

Durante el año 2020 mediante esta tesis de maestría se caracterizó la calidad de los principales cuerpos hídricos que atraviesan la ciudad de Cotacachi generando una línea base que evaluara su calidad ambiental e impactos antrópicos. Para ello se analizaron parámetros como la composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, físico-químicos e hidromorfológicos en dos ríos, el Pichaví y Pichambiche, que atraviesan la ciudad y que están afectados por actividades relacionadas con la industria del cuero, y otras como agrícolas y ganaderas. Para poder tener una referencia de cómo debería ser un sistema hídrico poco impactado para la zona, se escogió el río la Marquesa como zona control. La evaluación de la calidad de agua en la zona mostró distintos problemas como resultado de las prácticas productivas y cambios en el uso del suelo, contrastando considerablemente con los resultados obtenidos en el río control.

Se pudo determinar que los cuerpos de agua Pichambiche y la Marquesa registraron una riqueza de 35 y 24 especies respectivamente, mientras que en el Pichaví se registraron 14. En cuanto a la abundancia y densidad por m² de superficie analizada, se evidenció que los cuerpos de agua afectados tuvieron valores mucho mayores en comparación a la zona control. Esta gran cantidad de organismos pertenecientes a pocos taxones muy tolerantes a la contaminación sugieren una afectación ambiental significativa. La diversidad reflejó la típica huella de cuerpos de agua sometidos a afectaciones antrópicas, con valores más bajos en los dos ríos impactados, a diferencia del sitio control que reportó un valor medio.

El índice Biótico Andino (ABI) mostró que las comunidades bióticas de macroinvertebrados en los ríos Pichambiche (29,5) y Pichaví (15,75) son propias de ambientes sometidos a estrés permanente, producto de las actividades humanas asociadas a la ciudad de Cotacachi. En cambio, en el río la Marquesa presentó una puntuación de 67,75 sugiriendo una calidad buena debido a que presenta mejores condiciones de conservación y porque se encuentra relativamente alejada de las fuentes de contaminación procedente del sector urbano.

El índice de calidad IHF para los ríos Pichambiche y Pichaví fue de 37 y 35 respectivamente, valoración asociada a las prácticas que modifican el uso del suelo y afectando el desarrollo de elementos que incrementen la heterogeneidad del hábitat, los

cuales favorecen a las comunidades bióticas. Por otro lado, la Marquesa presentó un IHF de 50 asociado a lugares que mantienen mejores condiciones en la estructura del cauce de los cuerpos hídricos. Los valores del índice QBR-And fueron bajos para los ríos Pichaví y la Marquesa 13,75 y 25 respectivamente. Esto puede deberse a la fragmentación de hábitat (agricultura, ganadería, deforestación y entre otros). El río Pichambiche presentó un valor de 29 cuya calidad de ribera se encuentra relacionada con el cambio del uso del suelo.

De los parámetros físico-químicos evaluados se identificó a los de mayor influencia sobre la calidad del recurso determinado por las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, los cuales fueron: profundidad, conductividad, temperatura del agua, índice de hábitat fluvial y velocidad media.

Estos resultados ponen en evidencia una grave problemática asociada a la falta de gestión de estas cuencas hídricas, por lo que resulta urgente llevar a cabo acciones que puedan dar lugar a estrategias de mitigación, remediación y restauración de estos ecosistemas. Con la información generada se propone el desarrollo de un plan de biomonitoreo y gestión de los ecosistemas acuáticos con el objetivo de garantizar su recuperación y conservación a futuro.

Importancia del Recurso

El agua es un elemento esencial para el desarrollo y mantenimiento de todo ser vivo que habita en la Tierra. Los ecosistemas dulceacuícola y de agua salada albergan una gran variedad de organismos. Los ecosistemas de agua dulce son sensibles a la perturbación antropogénica, en la actualidad son los que más afectados se encuentran debido a los impactos causados por la actividad humana. Existen varios factores que alteran los sistemas hídricos entre los cuales tenemos: las escorrentías, las aguas residuales, infraestructura inadecuada, industria y la contaminación atmosférica. La cantidad de desechos vertidos a los cuerpos hídricos causan un alto número de disturbios en el sistema acuático, los cuales se ven reflejados en composición y estructura de las comunidades biológicas (López, 2011; Rodríguez y Gómez, 2007).

Biomonitoreo de calidad de agua

El biomonitoreo se caracteriza por realizar un seguimiento empleando a los organismos que habitan en un ecosistema determinado con el propósito de evaluar el estado actual y variaciones en el transcurso del tiempo (Prat y Munné, 2014). La selección de bioindicadores y su variación respecto a presencia, abundancia y comportamiento aporta

con la identificación de efectos de cualquier tipo de estresor en ecosistemas acuáticos (García et al., 2017).

El biomonitoreo es considerado como una herramienta para mejorar la gobernanza del recurso hídrico. Las actividades del monitoreo proveen un espacio para compartir conocimientos y reflexionar sobre los resultados (Evans et al., 2014). Los mecanismos de identificación y evaluación (cantidad y calidad del recurso hídrico), control, monitoreo y remediación demandan tanto de los recursos humanos y equipos, como de poderes legales. El querer manejar el recurso hídrico sin información y monitoreo es una tarea imposible de gestionar (Solanes, 2015). Para contar con una buena gestión del recurso hídrico, se debe considerar una gobernanza fuerte basada en el liderazgo de las comunidades y todos los actores intervinientes, lo cual permitirá generar políticas públicas con justicia social en la gestión del agua (Vargas y Ramírez, 2016).

Este plan está diseñado para implementar el biomonitoreo de los cuerpos de agua sometidos a altos niveles de afectación en el área de influencia en la ciudad de Cotacachi (Pichambiche y Pichaví). Se fundamentará en la utilización de indicadores físicos, químicos y biológicos.

Los indicadores físicos y químicos serán aquellos que constan en la normativa ambiental y pueden generar información precisa de la amplia variabilidad de fuentes de contaminación. Los indicadores biológicos serán los macroinvertebrados que proporcionarán información relacionada con la calidad del recurso hídrico. Los indicadores biológicos en conjunto con los parámetros físico-químicos y de hábitat expresarán la salud del ecosistema acuático.

Objetivo general:

- Diseñar un plan de biomonitoreo de calidad del ecosistema acuático usando macroinvertebrados dulceacuícolas, en cuerpos hídricos del cantón Cotacachi.

Objetivos específicos:

- Determinar los sitios de afectación en la calidad hídrica.
- Identificar el grado de alteración de los cuerpos hídricos.
- Determinar las fluctuaciones de afectación en el tiempo.
- Establecer una base de datos que permita el manejo del recurso hídrico a futuro

Diseño del Plan de Biomonitorio

Área de estudio

El área de estudio comprende los cuerpos hídricos que forman parte de la subcuenca del río Ambi, la cual forma parte del sistema hídrico Mira. Entre ellos los ríos Pichambiche, Pichaví y la Marquesa. Se localizan en el Cantón Cotacachi, provincia de Imbabura (Flores, 2010; Almeida, 2014)

La microcuenca del río Pichaví nace en los flancos nororientales de la laguna de Cuicocha. Se encuentra entre los 2393 a 2609 msnm. Este río se caracteriza por presentar un caudal medio anual de 12 l/s (GAD, 2011; Almeida, 2014).

El río Pichambiche es uno de los principales drenajes de la parte sur de la Laguna de Cuicocha. Recorre de sur a norte por un lado superior de la comunidad Chilcapamba (Rhoades et al., 2006). Se encuentra entre los 2420 a 2623 msnm. Es un río perenne y su caudal es de 18 l/s. (De La Cruz Sánchez, 2017).

El río la Marquesa nace de un vertiente ubicada hacia el occidente del Cotacachi, es una de las fuentes de agua que abastece a la ciudad (agua potable y riego) , por lo que cumple un papel fundamental para el desarrollo agro-productivo del cantón (Rhoades et al., 2006). Este cuerpo presenta mejores condiciones de conservación (Figura 1).

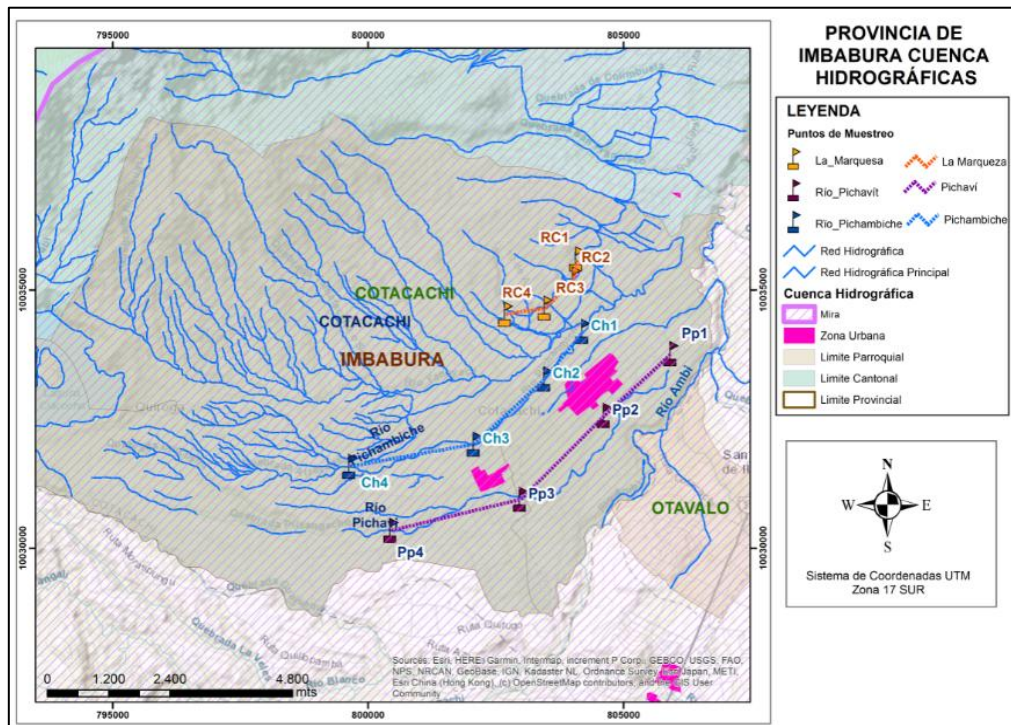


Figura 20. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en los ríos Pichaví, Pichambiche y la Marquesa.

Sitios de monitoreo

Para la ubicación de los sitios de monitoreo se seleccionará tanto los tramos superiores, medios y bajos de los cuerpos hídricos, tomando como referencia los sitios de intervención humana. El biomonitoreo se realizará en los mismos puntos de muestreo de los ríos Pichambiche, Pichaví y la Marquesa.

Tabla 12. Sitios de monitoreo en los ríos seleccionados

Descripción	N°	Lugar de estudio	Sitio de estudio	Código	Latitud	Longitud	Altitud msnm
Río contaminado	1	Río Pichaví	Tramo bajo	Pp1	805937	10033768	2379
	2	Río Pichaví	Tramo medio bajo	Pp2	804632	10032571	2444
	3	Río Pichaví	Tramo medio	Pp3	802987	10030945	2496
	4	Río Pichaví	Tramo alto	Pp4	800452	10030340	2609
Río contaminado	1	Río Pichambiche	Tramo bajo	Ch1	804209	10034198	2420
	2	Río Pichambiche	Tramo medio bajo	Ch2	803465	10033280	2461
	3	Río Pichambiche	Tramo medio	Ch3	802084	10032016	2526
	4	Río Pichambiche	Tramo alto	Ch4	799642	10031583	2623
Zona control	1	La Marquesa	Tramo bajo	RC1	804091	10035605	2481
	2	La Marquesa	Tramo medio bajo	RC2	804027	10035220	2492
	3	La Marquesa	Tramo medio	RC3	803474	10034650	2493
	4	La Marquesa	Tramo alto	RC4	802695	10034535	2503

Metodología

Trabajo de campo

El biomonitoreo tomará como referencia la red de muestreo establecida gracias a la elaboración de esta investigación. Para esta selección se consideró la representatividad longitudinal de cada microcuenca, los diversos impactos localizados a lo largo de su curso y su accesibilidad. Además, este trabajo sirve para establecer una línea base de calidad ambiental a la cuál dar continuidad en el tiempo, lo cual permitirá conocer los cambios en los ecosistemas estudiados, detectar nuevas afectaciones o evaluar la efectividad de futuras acciones de gestión.

Muestreo de macroinvertebrados /bioindicadores

Se emplearán métodos y protocolos sugeridos por Álvarez (2005) para realizar monitoreos en ríos andinos. Para la obtención de muestras cuantitativas, se empleará la red surber. Se removerá el sustrato por un lapso de tres minutos, esto se replicará por nueve veces en diferentes lugares dentro de los 100m de longitud, para finalmente tener 1m² como unidad muestral. Se realizará nueve repeticiones en diferentes sitios, en un tramo de 100 m de longitud. Las muestras colectadas serán puestas en bolsas de sello hermético (ziploc), debidamente rotuladas correctamente con el código del sitio de monitoreo y preservadas en alcohol al 95%

Se deberá obtener los respectivos permisos ambientales para realizar el biomonitoreo de los macroinvertebrados acuáticos.

.Muestreo parámetros físico-químicos del agua

Se debe considerar los siguientes parámetros: pH, conductividad-TDS, oxígeno disuelto, temperatura del agua, velocidad media, profundidad y amplitud del cauce.

Se recomienda incrementar los análisis químicos del agua, basándose en los parámetros establecidos en las tablas de límites máximos permisibles para descargas de aguas residuales y criterios de la calidad admisible para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces del Libro VI TULSMA Acuerdo Ministerial 028 (Tabla 3 y 12) Anexo 1.

Las muestras de agua serán tomadas utilizando botellas de vidrio ámbar de un litro las cuales serán sumergidas en cada uno de los puntos de monitoreo, siguiendo estrictamente los protocolos establecidos por los laboratorios certificados (Servicio de acreditación ecuatoriana-SAE).

Considerando el incremento del coste del programa de monitoreo que supondrá llevar a cabo análisis químicos, estos muestreos podrían llevarse a cabo con menor periodicidad que los biomonitoreos. Se recomienda llevarlos a cabo al menos una vez al año, para completar la evaluación de calidad y respaldar los datos bióticos.

Muestreo del entorno físico

Para caracterizar el entorno físico se utilizará la metodología propuesta por Acosta et al (2009), el cual plantea el índice de hábitat fluvial (IHF). Se evalúa las características del cauce del río (Anexo 2), completando una ficha de campo de manera *in situ*.

Para evaluar las características del IHF, se analizarán siete aspectos: 1) inclusión en los rápidos, 2) frecuencia de rápidos, 3) composición del sustrato, 4) régimen de velocidad y profundidad, 5) porcentaje de sombra, 6) elementos de heterogeneidad, 7) cobertura de vegetación acuática. Los valores varían de 0 a 100 (0 siendo pésima calidad de hábitat fluvial y 100 siendo excelente calidad de hábitat fluvial). Se considerará la

siguiente puntuación: mayor a 75 se trataría de un hábitat en óptimas condiciones para el desarrollo de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos; pero si su puntaje es menor a 40, se pensaría que existe alteraciones en el hábitat fluvial. Es decir >90 muy alta diversidad de hábitats; 71-90 alta diversidad de hábitats; 50-70 Diversidad de hábitat media; 31-49 baja diversidad de hábitats y < 30 muy baja diversidad de hábitats (Acosta et al., 2009).

Para conocer el estado de la ribera se utilizará el índice de calidad de ribera QBR-And para bosques andinos. El mismo que fue modificado y adaptado para utilizar en los Andes (QBR-And) (Acosta et al., 2009). Éste índice analizará la calidad de bosque de ribera de la siguiente manera: 1) el grado de cubierta de zona de ribera 2) estructura de la cubierta, 3) calidad de la cubierta y 4) grado de naturalidad del canal fluvial. Cada uno de los aspectos tendrá un valor máximo de 25 puntos y la sumatoria de cada sección será el resultado final del índice. Identificando cinco rangos de calidad de la zona de ribera: >95 estado natural; 90-75 calidad buena; 70-55 calidad aceptable: 30-50 calidad mala y < 25 calidad pésima (Munné et al., 2003) (Anexo 2.1). Realizar dentro del transecto de 100m de longitud (dependiendo de las características del río) para las respectivas caracterizaciones.

Laboratorio

Separar las muestras de los macroinvertebrados acuáticos en bandejas blancas bien iluminadas, utilizar pinzas entomológicas para separar cuidadosamente a los organismos y evitar de maltratarlos. Se colocarán a los organismos en cajas Petri y se identificarán con la ayuda de un estereomicroscopio.

Guías de identificación

Se recomienda utilizar bibliografía especializada y actualizada, guías rápidas para identificación de macroinvertebrados de ríos altoandinos y claves taxonómicas como: González, Crespo, Acosta y Hampel (2018), Prat, Acosta, Villamarín y Rieradevall (2018), Hamada, Nessimian, Barabosa (2014); Springer (2010), Mafla (2005), Domínguez y Fernández (2009), Posada y Roldán (2003) y (Prat et al., 2011). Se identificará a los individuos hasta el mayor nivel de taxonómico posible.

Es importante identificar especies indicadoras de mala calidad y de buena calidad como las que tenemos a continuación:

Familias indicadoras de mala calidad según (Álvarez, 2005)

Chironomidae: dentro de esta familia de dípteros se encuentran géneros y especies que forman parte de todo tipo de ecosistema dulceacuícola. Esta familia se caracteriza porque se puede encontrar en zonas de buena calidad y en áreas muy contaminadas y anóxicas. Un claro ejemplo de esto es el género *Chironomus* sp, tiene la capacidad de captar oxígeno en ríos que presentan muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto.

Dystiscidae: esta familia no tiene valor como bioindicadora.

Gerridae y Vellidae: son organismos muy tolerantes a diferentes tipos de contaminación antrópica, estos no pueden vivir si existe agentes tensoactivos que reduzca la tensión superficial del agua, es por ello que no se les considera como bioindicadores de buena calidad de agua.

Hidracarina (ácaros acuáticos): esta familia no es buena indicadora de calidad de agua, debido a que tienen una amplia distribución y son muy tolerantes a cambios en el ecosistema.

Familia de macroinvertebrados acuáticos de buena calidad de agua Anexo 3

Frecuencia de la toma de muestras

Para la realizar el biomonitoreo se considerará la estacionalidad como un factor determinante y de cambios en los procesos físicos, biológicos, ecológicos e hidrológicos. Se sugiere hacer los monitoreos de manera semestral en cada uno de los puntos seleccionados de los cuerpos de estudio, para verificar variaciones en las épocas de estiaje y crecida tanto en los parámetros físicos, químicos y biológicos. Las muestras serán tomadas en base a un calendario previamente establecido.

Gestión de la información

Se empleará hojas de campo para el respectivo levantamiento de información biótica y parámetros físico-químicos *in situ*. Se elaborará base de datos con la respectiva sistematización de la información (hojas de cálculos, tablas, gráficas y entre otros) Anexo 4-4.1.

Análisis de datos

Realizar los respectivos análisis de riqueza, abundancia, densidad, diversidad y calculará el Andean Biotic Index (ABI) de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos. De esta manera, observar si existen cambios en la composición de los organismos acuáticos. Realizar las comparaciones entre puntos de monitoreo y entre ríos con los indicadores biológicos empleando los programas estadísticos de ANOVA (Varianza de un factor) y Kruskal Wallis. Además, observar el grado de similitud entre los puntos de monitoreo y entre ríos.

Resultados esperados

Se espera obtener listas de especies por cada punto de muestreo debidamente clasificadas taxonómicamente. Además, se obtendrá un registro de especies bioindicadoras de los ríos monitoreados con la finalidad de determinar su calidad. Así mismo, se obtendrá el listado de los parámetros físico-químicos analizados versus los valores permisibles establecidos en el Libro VI TULSMA, y a su vez, se establecerá la evaluación correspondiente a la calidad de hábitat fluvial y de calidad de ribera.

Con los resultados obtenidos se espera localizar particularmente las zonas de alteración en cada uno de los cuerpos hídricos. Además, identificar la magnitud de afectación mediante los análisis físico-químicos, biológicos e índices de calidad de hábitat fluvial y de ribera. Se podrá analizar los cambios o variaciones del estado de la vegetación de ribera de cada uno de los puntos y cómo influye en la composición de los organismos acuáticos.

Se espera recopilar en una base de datos la información de todos los parámetros anteriores registrados a través del tiempo (frecuencia de monitoreo) con la finalidad de, mediante comparaciones, establecer el comportamiento de las alteraciones identificadas en cada cuerpo hídrico sujeto de estudio.

Este plan de biomonitoreo permitirá obtener una valoración a corto, mediano y largo plazo sobre la variación de la calidad ecológica de los ríos Pichambiche, Pichaví y la Marquesa y con esta base, poder plantear medidas de manejo y gestión del recurso hídrico.

Literatura Citada

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., y 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*, 28(1), 035-64.
- Almeida, L. (2014). Una revisión de la evaluación de la calidad de agua de los ríos de la provincia de Imbabura. http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/8370/1/Almeida_Betancourt_Lucio_Antonio.pdf
- Álvarez, L. F. (2005). Macroinvertebrados Acuáticos Como Indicadores. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 05, 263.
- Cornejo A, E. López-López, J. E. Sedeño-Díaz, R.A. Ruiz-Picos, P. Macchi, B. Kohlmann, F. Correa-Araneda, L. Boyero, J. Bernal-Vega, T. Ríos, I. Ávila y A.R. Tuñón. 2019. Protocolo de biomonitoreo para la vigilancia de la calidad del

- agua en afluentes superficiales de Panamá. Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud. 81 p.
- De La Cruz Sánchez, T. (2017). Centro para la capacitación y fortalecimiento de la ritualidad en medicina ancestral para Cotacachi. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/12146>.
- Domínguez, E., y Fernández, H. R. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina, 656.
- Evans K, Larson AM, Mwangi E, Cronkleton O, Maravanika T, Hernández X, Mülle P, Pikitle A, Marchena R, Mukasa C. et al. (2014). Field guide to Adaptive Collaborative Management and improving women's participation. Bogor, Indonesia. Centro para Investigación Forestal Internacional (CIFOR).
- Flores, P. (2010). Manejo integral de la Cuenca Hidrográfica del Río Ambi ubicado en la Provincia de Imbabura entre las poblaciones de Atuntaqui y Otavalo, sector Cantón Cotacachi (Bachelor's thesis, Quito: USFQ, 2010).
- GAD, C. (2011). Plan de Desarrollo y de Ordenamiento Territorial del cantón Cotacachi PDOT_Cotacachi.
- García, J.M., Sarmiento, L. F., Salvador, M., Porras, L.S. (2017). Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: aplicación en ríos tropicales de alta montaña. Revisión corta. UGCIencia, 23 47-62.
- González H.A., Crespo A. E., Acosta. C. R., Hampel H. (2018). Guía rápida para la identificación de macroinvertebrados de los ríos altoandinos del Cantón Cuenca. ETAPA EP. Cuenca. 156pp.
- Hamada, N., Nessimian, J. L., & Querino, R. B. (2014). Insetos acuáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia. Manaus: Editora do INPA, 2014.
- López, L., y Gutiérrez, P. (2011). Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Agua. Mediante macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. Metodología de muestreo.
- Mafla Herrera, M. (2005). Guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicos en ríos de tamaño mediano, Talamanca, Costa Rica.
- Posada-García, J. A., & Roldán-Pérez, G. (2003). Clave ilustrada y diversidad de las larvas de trichoptera en el nor-occidente de Colombia/Illustrated key for the larvae of Trichoptera in the northwest of Colombia. Caldasia, 169-192.

- Prat, N., y Munné, A. (2014). Biomonitorio de la calidad del agua en los ríos ibéricos: lecciones aprendidas. *Limnetica*, 33 (1), 47-64.
- Prat, N., M. Rieradevall, R. Acosta y C. Villamarin. (2011). Guía para el reconocimiento de las larvas de Chironomidae (Díptera) de los ríos altoandinos Ecuador y Perú. Clave para la determinación de los géneros. <http://www.4.ub.edu./riosandes/>
- Proaño, M. (2006). Diagnóstico de los Recursos hídricos de ña Reserva Ecológica Cotacaccho-Cayapas. Ministerio del Ambiente, 119.
- Rodríguez, L., y Gómez, Y.(2007). El origen cósmico del agua. Ciencia.
- Rhoades, R. E., Zapata, X., y Aragundy, J. (2006). El cambio climático en Cotacachi. En Desarrollo con identidad: comunidad, cultura, y sustentabilidad en los Andes.
- Solanes, M. (2015). Gobernanza del agua. Caracas: CAF. Retrieved from <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/785>.
- Springer, M. (2010). Trichoptera. Escuela de Biología y Centro de investigación en Ciencias del AMr y Limnología. Universidad de Costa Rica. monika.springer@ucr.ac.cr
- Vargas, R. Ramírez N. (2016). Gobernaza del agua y participación ciudadana en Bogota. *Revista Republicana*. ISSN:1909-4450Núm.21. Julio-Diciembre de 2016, págs. 159-177.

Cronograma de actividades Anual Referencial

Actividades	Meses														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Adquisición de materiales						X						X			
Monitoreo de las áreas de estudio						X						X			
Laboratorio macroinvertebrados							X						X		
Laboratorio análisis físico-químicos						X						X			
Procesamiento de datos							X						X		
Informe preliminar								X							X
Informe final															X

Presupuesto Referencial

Equipos y Materiales	Unidad de Cuenta	cantidad	Costo unitario	Costo más IVA
Flexómetro	unidad	1	21,58	24,2
Fundas con cierre hermético grandes	paquete	2	6	13,4
Fundas con cierre hermético medianas	paquete	6	4	26,9
Fundas plásticas de basura	paquete	1	1,3	1,5
Baldes de plástico (16 L)	unidad	1	9,5	10,6
Alcohol potable 95%	Galón	3	11,76	39,5
Solución estándar de calibración rápida Marca Hanna Instruments, frasco de 500ml.	Unidad	1	62	69,4
Cinta de embalaje	unidad	1	3	3,4
Pilas AA	paquete	2	6	13,4
Sal de mesa	paquete	1	0,8	0,9
Impresiones (recarga cartuchos)	unidad	1	50	56,0
hojas de campo	unidad	2	5,61	12,6
Trabajo de laboratorio				
Picetas	unidad	2	3,51	7,9
Pinza entomológica	unidad	3	2,5	8,4
Fascos microtubos 2 ML	Paquete	2	26,85	60,1
Bandejas para los viales de plástico	Paquete	2	44,8	100,4
Marcadores	unidad	2	3	6,7
Tijeras	unidad	1	3,05	3,4
Lápices	caja	1	2,17	2,4
Sacapuntas	unidad	2	0,25	0,6
Cartuchos	unidad	1	50	56,0
Análisis de aguas para NO ₃	unidad	3	10	33,6
Análisis de agua para NO ₂	unidad	3	10	33,6
Análisis de cromo hexavalente	unidad	3	15	50,4
Fenóles	unidad	3	20	67,2
Demanda bioquímica de oxígeno BBO ₅	unidad	3	20	67,2
Ademanda química de oxígeno, DQO	unidad	3	20	67,2
Imprevistos	unidad	1	200	224,0
Logística				
Alimentación (3 comidas)	personas	2	5 (4 días)	134,4
Hospedaje	personas	2	18,5(4días)	165,8
Movilización	gasolina		30	30
TOTAL				1501,0

Este presupuesto está sujeto a modificaciones en el diseño y eventualidades presentadas al momento del desarrollo del biomonitorio.

ANEXO 1.

ABLA 3. Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario.

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible		
			Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y de estuario
Clorofenoles	Concentración total de PCBs.	mg/l	0,5	0,5	0,5
Bifenilos policlorados/PCBs		mg/l	0,001	0,001	0,001
Oxígeno Disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% y no menor a 6 mg/l	No menor al 60% y no menor a 5 mg/l	No menor al 60% y no menor a 5 mg/l
Potencial de	pH		6, 5-9	6, 5-9	6, 5-9, 5

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible		
			Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y de estuario
hidrógeno Sulfuro de hidrógeno ionizado	H ₂ S	mg/l	0,0002	0,0002	0,0002
Amoniaco	NH ₃	mg/l	0,02	0,02	0,4
Aluminio	Al	mg/l	0,1	0,1	1,5
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	0,1	1,5
Boro	B	mg/l	0,75	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,001	0,001	0,005
Cianuro Libre	CN	mg/l	0,01	0,01	0,01
Zinc	Zn	mg/l	0,18	0,18	0,17
Cloro residual	Cl	mg/l	0,01	0,01	0,01
Estaño	Sn	mg/l			2,00
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2	0,2
Plomo	Pb	mg/l			0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,02	0,02	0,05
Cromo total	Cr	mg/l	0,05	0,05	0,05
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0,001	0,001	0,001
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3	0,3	0,3
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3	0,3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,5	0,5	0,5
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	Concentración total de HAPs	mg/l	0,0003	0,0003	0,0003
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1	0,1
Materia flotante	visible		Ausencia	Ausencia	Ausencia

Continúa..

Mercurio	Hg	mg/l	0,0002	0,0002	0,0001
Níquel	Ni	mg/l	0,025	0,025	0,1
Plaguicidas organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	µg/l	10,0	10,0	10,0
Plaguicidas organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	µg/l	10,0	10,0	10,0
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/l	0,05	0,05	0,05
Plata	Ag	mg/l	0,01	0,01	0,005
Selenio	Se	mg/l	0,01	0,01	0,01
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5	0,5
Temperatura	°C		Condiciones naturales + 3 Máxima 20	Condiciones naturales + 3 Máxima 32	Condiciones naturales + 3 Máxima 32
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		200	200	200

ANEXO 2.

Ficha de campo para el muestreo de las condiciones del hábitat fluvial IHF (De Pardo et al. 2002)

Bloques			
1. Inclusión rápidos			
Rápidos	Piedras, cantos y gravas no fijadas por sedimentos finos. Inclusión 0 - 30%.	10	
	Piedras, cantos y gravas no fijadas por sedimentos finos. Inclusión 30 - 60%.	5	
	Piedras, cantos y gravas no fijadas por sedimentos finos. Inclusión >60%.	0	
Total (una categoría)			
2. Frecuencia de rápidos			
	Alta frecuencia de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río < 7	10	
	Escasa frecuencia de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río 7 - 15	8	
	Ocurrencia ocasional de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río 15 - 25	6	
	Constancia de flujo laminar o rápidos someros. Relación distancia entre rápidos/anchura del río >25	4	
	Sólo pozas	2	
Total (una categoría)			
3. Composición del sustrato (en caso de ausencia absoluta el valor debe ser 0 para cada apartado)			
	% Bloques y piedras	1 - 10%	2
		> 10%	5
	% Cantos y gravas	1 - 10%	2
		> 10%	5
	% Arena	1 - 10%	2
		> 10%	5
	% Limo y arcilla	1 - 10%	2
		> 10%	5
Total (sumar categoría)			
4. Regímenes de Velocidad y profundidad			
somero:< 0.5 m/s	4 categorías. Lento-profundo, lento-somero, rápido-profundo y rápido-somero.		10
lento:< 0.3 m/s	Sólo 3 de las 4 categorías		8
	Sólo 2 de las 4		6
	Sólo 1 de las cuatro		4
Total (una categoría)			
5. Porcentaje de sombra en el cauce			
	Sombreado con ventanas		10
	Totalmente en sombra		7
	Grandes claros		5
	Expuesto		3
Total (una categoría)			
6. Elementos heterogeneidad (si hay ausencia de hojarasca el valor debe ser cero puntos)			
	Hojarasca	> 10% ó < 75%	4
		< 10% ó > 75%	2
	Presencia de troncos y ramas		2
	Raíces expuestas		2
	Diques naturales		2
Total (una categoría)			
7. Cobertura de vegetación acuática (en caso de ausencia absoluta el valor debe ser cero para cada apartado)			
% Plocon + briofitos	10 - 50%		10
	< 10% . > 50%		5
	Ausencia absoluta		0
% Pecton	10 - 50%		10
	< 10% . > 50%		5
	Ausencia absoluta		0
% Fanerógamas	10 - 50%		10
	< 10% . > 50%		5
	Ausencia absoluta		0
Total (sumar categoría)			
PUNTUACIÓN FINAL (sumar las puntuaciones anteriores)			

ANEXO 2.1

ÍNDICE QBR-And
Calidad de la ribera para
Comunidades arbóreas
Protocolo CERA



La puntuación de cada uno de los 4 apartados no puede ser negativa ni exceder de 25 puntos	Estación	
	Observador	
	Fecha	
Grado de cubierta de la zona de ribera	Puntuación bloque 1	
Puntuación		
25	> 80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera (las plantas anuales no se contabilizan)	
10	50-80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera	
5	10-50 % de cubierta vegetal de la zona de ribera	
0	< 10 % de cubierta vegetal de la zona de ribera	
+ 10	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es total	
+ 5	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es superior al 50%	
- 5	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es entre el 25 y 50%	
- 10	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es inferior al 25%	
Estructura de la cubierta (se contabiliza toda la zona de ribera)		
Puntuación bloque 2		
Puntuación		
25	recubrimiento de árboles superior al 75%	
10	recubrimiento de árboles entre el 50 y 75 % o recubrimiento de árboles entre el 25 y 50 % y en el resto de la cubierta los arbustos superan el 25 %	
5	recubrimiento de árboles inferior al 50 % y el resto de la cubierta con arbustos entre 10 y 25 %	
0	sin árboles y arbustos por debajo del 10 %	
+ 10	si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es superior al 50 %	
+ 5	si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es entre 25 y 50 %	
+ 5	si existe una buena conexión entre la zona de arbustos y árboles con un sotobosque.	
- 5	si existe una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es > 50 %	
- 5	si los árboles y arbustos se distribuyen en manchas, sin una continuidad	
- 10	si existe una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es < 50 %	
Calidad de la cubierta		
Puntuación bloque 3		
Puntuación		
25	Todos los árboles de la zona de ribera autóctonos	
10	Como máximo un 25% de la cobertura es de especies de árboles introducidas	
5	26 a 50% de los árboles de ribera son especies introducidas	
0	Más del 51% de los árboles de la ribera son especies introducidas	
+ 10	>75% de los arbustos son de especies autóctonas.	
+ 5	51-75% o más de los arbustos de especies autóctonas	
- 5	26-50% de la cobertura de arbustos de especies autóctonas	
- 10	Menos del 25% de la cobertura de los arbustos de especies autóctonas	
Grado de naturalidad del canal fluvial		
Puntuación bloque 4		
Puntuación		
25	el canal del río no ha estado modificado	
10	modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal	
5	signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río	
0	río canalizado en la totalidad del tramo	
- 10	si existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río	
- 10	si existe alguna presa o otra infraestructura transversal en el lecho del río	
- 5	si hay basuras en el tramo de muestreo de forma puntual pero abundantes	
- 10	si hay un basurero permanente en el tramo estudiado	
Puntuación final (suma de las anteriores puntuaciones)		

ANEXO 3

Propuesta para el Índice Biótico Andino (ABI) para evaluar la calidad del agua de los ríos andinos. (Acosta et al, 2009)

Turbellaria	5		Trichoptera	Helicopsychidae	10
Hirudinea	3			Calamoceratidae	10
Oligochaeta	1			Odontoceridae	10
Gasteropoda				Leptoceridae	8
Ancyliidae	6			Polycentropodidae	8
Physidae	3			Hydroptilidae	6
Hydrobiidae	3			Xiphocentronidae	8
Limnaeidae	3			Hydrobiosidae	8
Planorbidae	3			Glossosomatidae	7
Bivalvia	Sphaeriidae	3		Hydropsychidae	5
Amphipoda	Hyalellidae	6		Anomalopsychidae	10
Ostracoda		3		Philopotamidae	8
Hydracarina		4		Limnephilidae	7
Ephemeroptera	Baetidae	4	Lepidoptera	Pyralidae	4
Leptophlebiidae	10		Coleoptera	Philodactylidae	5
Leptohyphidae	7			Lampyridae	5
Oligoneuridae	10			Psephenidae	5
Odonata	Aeshnidae	6		Scirtidae (Helodidae)	5
Gomphidae	8			Staphylinidae	3
Libellulidae	6			Elmidae	5
Coenagrionidae	6			Dryopidae	5
Calopterygidae	8			Gyrinidae	3
Polythoridae	10			Dytiscidae	3
Plecoptera	Perlidae	10		Hydrophilidae	3
Gripopterygidae	10			Hydraenidae	5
Heteroptera	Veliidae	5	Diptera	Blepharoceridae	10
Gerridae	5			Simuliidae	5
Corixidae	5			Tabanidae	4
Notonectidae	5			Tipulidae	5
Belostomatidae	4			Limoniidae	4
Naucoridae	5			Ceratopogonidae	4
Estación: _____				Dixidae	4
Fecha: _____				Psychodidae	3
Operador: _____				Dolichopodidae	4
				Stratiomyidae	4
				Empididae	4
				Chironomidae	2
				Culicidae	2
				Muscidae	2
				Ephydriidae	2
				Athericidae	10
				Syrphidae	1

ANEXO 4

P-001. PLAN DE MUESTREO				
1. DATOS GENERALES				
Nombre del Proyecto:				
Persona de contacto:				
Provincia o provincias:				
Fecha(s) de muestreo:				
2. OBJETIVO DEL MUESTREO				
3. IDENTIFICACIÓN				
No de Control	Lugar	Tipo de muestra	Programación	
			Fecha	Hora

Fuente: Protocolo de biomonitoreo para la vigilancia de la calidad del agua en afluentes superficiales de Panamá (2019)

ANEXO 4.1

P-001. PLAN DE MUESTREO										
4. PARAMETROS A EVALUAR										
PARAMETROS	Unidad	Estaciones de muestreo								Observaciones
		1	2	3	4	5	6	7	8	
<i>In Situ*</i>										
Conductividad										
pH										
Temperatura										
Oxígeno disuelto										
Salinidad										
Turbiedad										
5. DATOS DE LOS RESPONSABLES DEL MUESTREO										
Técnicos: _____										
Conductor: _____										
Fecha elaboración plan: _____					Firma Responsable: _____					
6. VERIFICACIÓN DE MATERIALES										
El Responsable del muestreo debe asegurar que se cuenta con los siguientes materiales y condiciones:										
a) Equipos e instrumentos de medición										
<input type="checkbox"/> Verificar adecuación de los embalajes		No	<input type="checkbox"/>	_____						
<input type="checkbox"/> Limpieza de los equipos		No	<input type="checkbox"/>	_____						
<input type="checkbox"/> Verificación metrológica de los instrumentos										
<input type="checkbox"/> Llevar Fluómetro	<input type="checkbox"/>	Patrones de verificación	<input type="checkbox"/>	Cámara fotográfica						
<input type="checkbox"/> Llevar Termómetro	<input type="checkbox"/>	Patrones de verificación								
<input type="checkbox"/> Llevar Conductímetro	<input type="checkbox"/>	Patrones de verificación								
<input type="checkbox"/> Llevar Multiparímetro	<input type="checkbox"/>	Patrones de verificación								
<input type="checkbox"/> Llevar GPS	<input type="checkbox"/>	Patrones de verificación								
b) Información documental:										
<input type="checkbox"/> Protocolo de biomonitorio para la vigilancia de la calidad del agua (Cornejo et al., 2019)										
<input type="checkbox"/> P-001. Plan de Muestreo				P-004. Protocolo de Muestreo Multihábitat						
<input type="checkbox"/> P-002. Protocolo de Caracterización Visual y Fisicoquímica				P-005. Análisis de Muestras de Macroinvertebrados en Laboratorio y Aplicación de BMW/PAN						
<input type="checkbox"/> P-003a. Protocolo de Caracterización de Hábitat, gradiente alto										
<input type="checkbox"/> P-003b. Protocolo de Caracterización de Hábitat, gradiente bajo										
c) Indicar los materiales que lleva a campo para el muestreo:										
<input type="checkbox"/> Red tipo D	<input type="checkbox"/>	unidades	<input type="checkbox"/>	Envases plásticos	<input type="checkbox"/>	unidades	<input type="checkbox"/>	Caja de Herramienta		
<input type="checkbox"/> R.Triangular	<input type="checkbox"/>	unidades	<input type="checkbox"/>	Frascos fisicoq.	<input type="checkbox"/>	unidades	<input type="checkbox"/>	Tijeras	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Colador	<input type="checkbox"/>	unidades	<input type="checkbox"/>	Cinta métrica	<input type="checkbox"/>	unidades	<input type="checkbox"/>	Batas	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Lápices	<input type="checkbox"/>	unidades	<input type="checkbox"/>	C. fluorescentes	<input type="checkbox"/>	unidades	<input type="checkbox"/>	Tabla anot.	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Logos	<input type="checkbox"/>	unidades	<input type="checkbox"/>	Viales de plásticos	<input type="checkbox"/>	unidades	<input type="checkbox"/>	Alcohol	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Tarnicos	<input type="checkbox"/>	unidades	<input type="checkbox"/>	Pilotos indelebles	<input type="checkbox"/>	unidades	<input type="checkbox"/>	C. adhesiva	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Etiquetas	<input type="checkbox"/>	unidades	<input type="checkbox"/>	Pinzas entomol.	<input type="checkbox"/>	unidades	<input type="checkbox"/>	Otros	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Guantes	<input type="checkbox"/>	unidades	<input type="checkbox"/>	Bandejas blancas	<input type="checkbox"/>	unidades	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Mascaramas	<input type="checkbox"/>	unidades	<input type="checkbox"/>	Botellas de lavado	<input type="checkbox"/>	unidades	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	

Fuente: Protocolo de biomonitorio para la vigilancia de la calidad del agua en afluentes superficiales de Panamá (2019)