

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

“MAGÍSTER EN ESTADÍSTICA APLICADA”

TEMA:

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIADO EN LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA
DE LOS RÍOS DE LA CIUDAD DE CAÑAR, ECUADOR**

AUTOR:

LUIS SALVADOR MONCAYO MOLINA

Guayaquil - Ecuador

2024

RESUMEN

Las aguas de los ríos Pucuhuayco y Zham-Zham, que atraviesan la ciudad de Cañar en la zona sur del callejón interandino ecuatoriano, son esenciales para el suministro doméstico, el riego agrícola y la producción ganadera en las zonas altas y bajas del cantón. Por ello, la calidad de estas aguas es crucial. Este estudio empleó técnicas estadísticas multivariadas e índices de calidad del agua para evaluar diversos factores que deterioran gradualmente la calidad del agua en estos ríos. Se monitorearon 22 parámetros fisicoquímicos y 49 especies de macroinvertebrados en cinco puntos de muestreo a lo largo de ambos ríos, durante las estaciones de invierno y verano entre 2019 y 2021. La mayoría de los parámetros mostraron variaciones espaciales significativas, indicando la influencia de actividades humanas. Además, todos los parámetros presentaron diferencias estacionales importantes debido a la alta variabilidad de los indicadores fisicoquímicos y microbiológicos. Los valores medios del Índice de Calidad del Agua (ICA) variaron de 78,67 (buena) a 33,02 (mala) en el río Pucuhuayco y de 80,01 (buena) a 33,02 (mala) en el río Zham-Zham. Similares variaciones se observaron en los indicadores BMWP/Col y EPT en ambos ríos. El Análisis Multivariado, mediante el Análisis de Componentes Principales (ACP) y el Análisis de Correspondencia Canónica (ACC), clasificó los cinco sitios de muestreo de cada río en tres grupos: puntos de buena calidad, regular calidad y mala calidad del agua. Se determinó que el oxígeno disuelto, el pH, la conductividad, la turbidez, las sales disueltas, las sustancias nitrogenadas y fosfatadas, y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) están interrelacionadas y son responsables de las variaciones estacionales y la diversidad y abundancia de macroinvertebrados en cada punto de muestreo. Los resultados del Análisis Multivariado mostraron una estrecha relación con los valores obtenidos mediante métodos tradicionales de análisis de calidad del agua como el ICA, BMWP/Col y EPT. Se concluye que el uso de herramientas de Análisis Multivariado en el estudio de la calidad del agua puede ser más eficiente y económico, permitiendo generar un nuevo conjunto de variables no correlacionadas y un número menor de puntos de muestreo, lo que facilita el diseño de estrategias de seguimiento y control comunitario.

Palabras clave: Análisis multivariado, propiedades fisicoquímicas y microbiológicas, macroinvertebrados, calidad del agua.

ABSTRACT

The waters of the Pucuhuayco and Zham-Zham rivers, which cross the city of Cañar in the southern area of the Ecuadorian inter-Andean alley, are essential for domestic supply, agricultural irrigation and livestock production in the high and low areas of the canton. Therefore, the quality of these waters is crucial. This study employed multivariate statistical techniques and water quality indices to evaluate various factors that gradually deteriorate water quality in these rivers. 22 physicochemical parameters and 49 macroinvertebrate species were monitored at five sampling points along both rivers, during the winter and summer seasons between 2019 and 2021. Most of the parameters showed significant spatial variations, indicating the influence of human activities. . Furthermore, all parameters presented important seasonal differences due to the high variability of physicochemical and microbiological indicators. The mean values of the Water Quality Index (AQI) varied from 78.67 (good) to 33.02 (bad) in the Pucuhuayco River and from 80.01 (good) to 33.02 (bad) in the river Zham-Zham. Similar variations were observed in the BMWP/Col and EPT indicators in both rivers. The Multivariate Analysis, through Principal Component Analysis (PCA) and Canonical Correspondence Analysis (CCA), classified the five sampling sites of each river into three groups: good quality points, fair quality and poor water quality. It was determined that dissolved oxygen, pH, conductivity, turbidity, dissolved salts, nitrogenous and phosphate substances, and biochemical oxygen demand (BOD5) are interrelated and are responsible for seasonal variations and the diversity and abundance of macroinvertebrates at each sampling point. The results of the Multivariate Analysis showed a close relationship with the values obtained through traditional water quality analysis methods such as ICA, BMWP/Col and EPT. It is concluded that the use of Multivariate Analysis tools in the study of water quality can be more efficient and economical, allowing the generation of a new set of uncorrelated variables and a smaller number of sampling points, which facilitates the design of strategies community monitoring and control.

Keywords: Multivariate analysis, physicochemical and microbiological properties, macroinvertebrates, water quality.

DEDICATORIA

Agradezco a mi esposa por su apoyo incondicional; contigo todo ha sido posible.

A mis hijos por su paciencia y comprensión.

Hubo momentos en los que papá no pudo estar con ustedes.

AGRADECIMIENTO

¡Dios!... gracias por seguir a mi lado,
gracias por esta nueva oportunidad.

A la Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL), y a todos los
profesores quienes nos compartieron sus conocimientos en la Maestría

Mi infinito agradecimiento a la Dra. Andrea Cristina Gracia Angulo,
por su incondicional apoyo y guía.

¡Que Dios del pague!

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Titulación, me corresponde exclusivamente y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. El patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Luis Salvador Moncayo Molina

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Sergio Bauz Olvera, PhD.
PRESIDENTE

Ing. Andrea García Angulo, PhD.
TUTOR

Ing. Omar Ruiz Barzola. PhD.
DOCENTE EVALUADOR

ABREVIATURAS O SIGLAS

PO₄ (Fosfatos): Nutriente esencial que en exceso puede causar eutrofización.

NH₄ (Amonio): Forma de nitrógeno que puede ser tóxica a altas concentraciones.

NO₂ (Nitritos), NO₃ (Nitratos): Indicadores de la presencia de sustancias nitrogenadas en el agua, generalmente provenientes de actividades agrícolas o industriales.

DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días)

DQO (Demanda Química de Oxígeno): Indicadores de la cuantificación de la materia orgánica suspendida en el agua.

Sólidos_T (Sólidos Totales): Indican la cantidad total de sólidos disueltos y suspendidos en el agua.

pH: Mide la alcalinidad o el grado de acidez del agua.

Oxígeno Disuelto (Oxígeno disuelto): Crucial para la vida acuática y un indicador de la calidad del agua.

Colif (Coliformes): Indica contaminación microbiológica, generalmente por aguas residuales.

ACP: Análisis de Componentes Principales

ACC: Análisis de Correspondencia Canónica

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1	1
1.2 Descripción del problema.....	2
1.3. Objetivos	4
1. 4. Alcance.....	5
CAPÍTULO 2	6
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.2. Recursos hídricos	6
2.3. Gestión de los recursos hídricos.....	8
2.4. Monitoreo de la calidad de los cuerpos de agua.....	9
2.5. Bioindicadores de la calidad de las masas de agua	14
2.6. Macro invertebrados bentónicos	16
2.7. Protocolo de Evaluación Rápida (PAR).....	18
2.8. Técnicas estadísticas multivariadas.....	19
CAPÍTULO 3	22
3. METODOLOGÍA	22
3. 1. Enfoque y diseño.....	22
3. 2. Zona de estudio	22
3. 4. Recolección de datos.....	24
3. 5. Análisis de datos.....	28
CAPÍTULO 4	37
4. RESULTADOS.....	37
4. 1. Análisis descriptivo de las variables fisicoquímicas y microbiológicas	37
4.2. Relaciones entre parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y presencia de macro invertebrados en la cuenca de los ríos del cantón Cañar, mediante técnicas estadísticas de reducción de dimensionalidad.	49
4.3. Comparación de los resultados de los análisis multivariantes con un índice de calidad del agua (ICA) e indicadores biológicos de la calidad del agua basado en el comportamiento de los macro invertebrados.	64
4.4. Discusión.....	83
CAPÍTULO 5	87
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87

REFERENCIAS	90
ANEXOS	103

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Situación geográfica del Río Pucuhuayco	26
Tabla 2 Situación geográfica del Río Zham-Zham	26
Tabla 3 Procedimientos metodológicos para la evaluación de los parámetros físico-químicos analizados en los 5 puntos de muestreo, en la subcuenca de los ríos Pucuhuayco y Zham-Zham, respectivamente	27
Tabla 4 Clases de calidad del agua y valores de referencia, según el índice BMWP	33
Tabla 5 Clases de calidad del agua, valores BMWP/Col	34
Tabla 6 Valoración de la calidad del agua, según el método EPT	36
Tabla 7 Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río Pucuhuayco.....	37
Tabla 8 Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río Zham-Zham	38
Tabla 9 Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río Zham-Zham	¡Error!
Marcador no definido.	
Tabla 10 Presencia y abundancia de macroinvertebrados en el Río Zham-Zham.....	47
Tabla 11 Parámetros físico-químicos y microbiológicos en época lluviosa, según ICA ..	64
Tabla 12 Parámetros Físico-químicos y microbiológicos, época seca, según ICA.	65
Tabla 13 Calidad del agua del río Pucuhuayco según el método ICA	67
Tabla 14 Calidad del agua del río Zham-Zham, según el método ICA.....	68
Tabla 15 Valores del índice BMWP/Col obtenidos en los puntos de muestreo del río Pucuhuayco, en época lluviosa y seca	69
Tabla 16 Valores del índice BMWP/Col obtenidos en los puntos de muestreo del río Zham-Zham, en época lluviosa y seca	70
Tabla 17 Valores del índice EPT obtenidos en los puntos de muestreo del río Pucuhuayco, en época lluviosa y seca.....	70
Tabla 18 Valores del índice EPT obtenidos en los puntos de muestreo del río Zham-Zham, en época lluviosa y seca.....	71
Tabla 19 Valores del análisis multivariado obtenidos en los puntos de muestreo del río Pucuhuayco, durante la época lluviosa y seca.....	77
Tabla 20 Valores del análisis multivariado obtenidos en los puntos de muestreo del río Zham-Zham, durante la época lluviosa y seca	83

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación geográfica del cantón Cañar (GADIC, 2022)	23
Figura 2	Zona intermedia y de desembocadura de los ríos Pucuhuayco y Zham-Zham... 25	
Figura 3	Puntos de muestreo en el curso de los ríos Pucuhuayco y Zham-Zham	25
Figura 4	Visualización de las variables en el espacio de los Componentes Principales Río Pucuhuayco.....	51
Figura 5	Visualización de las variables en el espacio de los Componentes Principales Río Zham-Zham.	54
Figura 6	Visualización de las variables en el espacio de la Correspondencia Canónica – Río Pucuhuayco.....	58
Figura 7	Visualización de las variables en el espacio de la Correspondencia Canónica - Río Zham-Zham	61
Figura 8	Variación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en el río Pucuhuayco, en época lluviosa.....	65
Figura 9	Variación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en el río Zham-Zham, en época seca.....	66
Figura 10	Variación de los valores del ICA, por punto de muestreo en el río Pucuhuayco, en época lluviosa.	67
Figura 11	Variación de los valores del ICA, por punto de muestreo en el río Pucuhuayco, en época seca	68
Figura 12	Visualización de la relación entre las variables fisicoquímicas y microbiológicas en los puntos de muestreo - Río Pucuhuayco, época lluviosa	72
Figura 13	Visualización de la relación entre las variables fisicoquímicas y microbiológicas en los puntos de muestreo – Río Pucuhuayco, época seca	74
Figura 14	Visualización de la relación entre las variables fisicoquímicas y microbiológicas en los puntos de muestreo - Río Zham-Zham, época lluviosa.....	78
Figura 15	Visualización de la relación entre las variables fisicoquímicas y microbiológicas en los puntos de muestreo - Río Zham-Zham, época seca	81

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1 Principales métodos de evaluación de la calidad del agua	11
---	----

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Los ríos constituyen los principales recursos hídricos continentales para uso doméstico, industriales y de riego en muchas zonas, y rescatan un papel importante en el ciclo hidrológico y biogeoquímico. Sin embargo, hay ríos que se mantienen en condiciones pésimas debido a las intensas actividades humanas. La contaminación del agua superficial de los ríos es hoy en día una gran preocupación ambiental en todo el mundo (Coello et al., 2016). Los ríos son cuerpos de agua altamente vulnerables debido a su papel en el transporte y la asimilación de contaminantes tanto de fuentes puntuales (por ejemplo, aguas residuales municipales y descargas industriales), como de fuentes no puntuales (por ejemplo, escorrentía agrícola, pecuaria y deposición urbana) (Ouyang et al., 2016). Las descargas del agua residual municipal e industrial componen fuentes constantes de contaminación, mientras que las escorrentías superficiales son fenómenos estacionales, que afectan en gran medida el clima local dentro de la cuenca (Molano et al., 2019). La variación estacional de las precipitaciones, la escorrentía superficial, los flujos intermedios, el flujo del agua subterránea y la transferencia antropogénica tiene un fuerte efecto en la descarga de los ríos y, posteriormente, en la acumulación de degradantes y contaminantes en el agua superficial de los ríos (Vega et al., 1998). Puesto a estas complejidades, los especialistas en calidad del agua y las autoridades involucradas a menudo se enfrentan a desafíos importantes en sus esfuerzos por intervenir en la contaminación de los ríos (Álvarez et al., 2016).

Al identificar patrones espaciales y temporales en la calidad del agua de las vertientes, una mejor comprensión de las condiciones ambientales puede ayudar a los administradores a establecer prioridades para la sostenibilidad de la calidad del agua (Terneus-Jácome & Yáñez, 2019). En este sentido, a escala de cuenca urbanas y rurales puede ilustrar la influencia cambiante de diversas actividades humanas en diferentes subcuencas y a medida que se avanza desde las cabeceras hasta los tramos aguas abajo.

1.2 Descripción del problema

Estudios anteriores han demostrado que Ecuador enfrenta actualmente graves problemas de agua; no sólo la sobreexplotación y la distribución espacial desigual de los recursos hídricos, sino también una grave contaminación del agua en los principales ríos y lagos del callejón interandino, que contribuyen a la escasez de agua en condiciones adecuadas. Alrededor de dos tercios del total de aguas residuales vertidas por Ecuador en ríos, lagos y mares provienen de la industria, y alrededor del 80% de ellas no son tratadas. La mayor parte de las descargas no tratadas provienen de industrias rurales (Arroyo & Encalada, 2019).

En el cantón Cañar, en las estaciones de monitoreo se ha encontrado que la calidad del agua de los ríos principales está por debajo del estándar de calidad deseada, especialmente en las zonas urbanas (adecuada como fuentes de agua potable para la ciudad y las comunidades, agua de riego y acuicultura), incluidos los sitios a lo largo del río Pucuhuayco y Zham-Zham (Sotomayor, 2019). La descarga anual de desechos industriales y aguas residuales domésticas a los ríos superan las 2 mil toneladas, lo que representa más del 17% de la carga de desechos anuales de la ciudad de Cañar. Las crecientes descargas de agua residual municipal e industrial debido especialmente a la rápida urbanización e industrialización, las prácticas agrícolas nocivas, junto con las instalaciones y la capacidad limitadas de tratamiento del agua residual, son los principales impulsores de los eventos de contaminación del agua.

La Dirección Provincial de Salud realizó una investigación sobre los niveles de contaminación de los ríos Zham-Zham y Pucuhuayco, encontrando niveles de contaminación que representan graves complicaciones para la salud de los habitantes colindantes y el hábitat normal de estas zonas urbanas y periurbanas. Los principales factores responsables de la contaminación de estos ríos incluyen el vertido del agua residual doméstica y la liberación de aceites usados por los sistemas de lavado de automóviles (MSP, 2022). Esta situación es alarmante para la región, dado que estas aguas se utilizan para el riego de cultivos de legumbres y vegetales, los cuales luego son comercializados en los mercados de toda la provincia.

El uso de diversas técnicas estadísticas multivariadas, como el análisis de conglomerados, el análisis de componentes principales, el análisis factorial y el análisis discriminante, es fundamental para interpretar matrices de datos complejas y comprender mejor la calidad del agua y el estado ecológico del sistema estudiado. Estas herramientas permiten identificar factores que afectan la calidad del agua y contribuyen a una gestión eficaz de los recursos hídricos, además de facilitar la rápida resolución de problemas de contaminación (Lee et al., 2001; Adams et al., 2001; Reghunath et al., 2002).

Las investigaciones sobre la variabilidad espacial y estacional de la calidad del agua han señalado que problemas como la eutrofización están fuertemente vinculados a los patrones de uso del suelo y a la escorrentía de las cuencas (Yang et al., 2010; Zhang et al., 2011). Estudios realizados en Shanghai (China) y otras grandes ciudades del mundo también han encontrado una relación significativa entre la urbanización y la calidad de las aguas superficiales (Wang et al., 2008; Duh et al., 2008).

Planteamiento del Problema

Evaluar la calidad del agua superficial de los ríos es fundamental para la gestión sostenible del recurso hídrico. Los resultados obtenidos servirán para gestionar el agua en el área de estudio, cubriendo diversas demandas futuras como el consumo doméstico, la irrigación agrícola, las industrias y la conservación de los ríos. Se examinarán parámetros cruciales desde el punto de vista ecológico, como el oxígeno disuelto, la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno y demás parámetros fisicoquímicos.

Los ríos han sido siempre las fuentes de agua dulce más vitales, alrededor de los cuales se desarrollaron antiguas civilizaciones, y siguen siendo esenciales para muchas actividades de desarrollo. La contaminación de origen industrial, doméstico y agrícola puede afectar a los ríos, causando un deterioro significativo en la calidad del agua.

El crecimiento del desarrollo, la industrialización y el rápido aumento de la población han incrementado notablemente la demanda de agua en las áreas urbano marginales de las ciudades en Ecuador. En la ciudad de Cañar, la urbanización y la industrialización en expansión han deteriorado la calidad del agua en los ríos debido a la descarga de aguas residuales y desechos municipales.

Justificación

En esta investigación se desarrolló un análisis de la calidad del agua del río de la ciudad de Cañar, para determinar las fuentes responsables del deterioro de la calidad del agua de diversas utilidades. Más del 70% del suministro de agua potable y del agua de riego de las comunidades aledañas de la ciudad de Cañar, provienen de los vertederos alto de las cuencas de los ríos Pucuhuayco y Zham-Zham (Guaraca, 2007); de ahí que sea importante controlar la calidad del agua de estos ríos.

Al igual que otros recursos, estos ríos también se encuentra bajo estrés ambiental debido a la sedimentación, la invasión humana, la alta población macrofítica y la entrada de aguas residuales de diversas fuentes. Hay una serie de vertidos como aguas residuales, aguas residuales domésticas y efluentes industriales directamente a los ríos. Así mismo, el río ha recibido fertilizantes, insecticidas y pesticidas que contienen limo y que se utilizan para la agricultura.

Por otra parte, el creciente problema de degradación de nuestro ecosistema fluvial requiere un monitoreo para valorar la calidad del agua de varios ríos a lo largo y ancho del país y así conocer su capacidad de producción, potencial de utilidad y planificar medidas restaurativas, con miras a evaluar sus mejores usos hidrológicos en diferentes sitios.

Hasta ahora no se han realizado estudios sistematizado que permitan analizar e interpretar la gran cantidad de datos obtenidos como insumos que permita la evaluación constante de las fuentes hídricas, usando técnicas estadísticas multivariadas que posibiliten la obtención de información más concreta, precisa, barata y fácil de interpretar.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar la calidad del agua de los ríos Pucuhuayco y Zham-Zham del cantón Cañar, mediante técnicas estadísticas de análisis multivariado, durante el período 2019 – 2023.

1.3.2 Objetivos Específicos:

1. Describir los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y presencia de macro invertebrados en la cuenca de los ríos del cantón Cañar del estudio mediante estadística descriptiva.
2. Analizar las relaciones entre parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y presencia de macro invertebrados en la cuenca de los ríos del cantón Cañar mediante técnicas estadísticas de reducción de dimensionalidad.
3. Comparar los resultados de los análisis multivariantes con un índice de calidad del agua (ICA) e indicadores biológicos de la calidad del agua basado en el comportamiento de los macro invertebrados.

1.4. Alcance

Aplicar diferentes técnicas estadísticas multivariadas en la evaluación espacial e interpretación de los datos obtenida en el período de monitoreo del agua de las cuencas de los ríos del cantón Cañar, Ecuador en el periodo 2019-2021.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.2. Recursos hídricos

La biología comparte el concepto de que la vida no puede existir sin agua, siempre y cuando todos los seres vivos la necesiten, desde satisfacer las demandas básicas hasta sostener su vitalidad y naturaleza externa. Al igual que la biología, la historia también destaca la importancia fundamental del agua en la conservación de la vida medio ambiental, al retratar que, en general, los hombres se asientan donde hay agua abundante. Estas afirmaciones refuerzan la idea de que el agua es un recurso esencial y que su acceso no es una cuestión de elección, sino un derecho fundamental que debe ser garantizado para todos, sin importar su condición social, económica o cualquier otra circunstancia. (Bernard, 2019)

Respecto a todas sus características, aspectos, propiedades y beneficios, es conveniente señalar que el agua se diferencia de otros bienes dispuestos naturalmente en la tierra, ya que es la única materia prima ambiental cuyo uso alude a un efecto de retorno sobre el medio ambiente (Rebouças, 2001). Según (Costa et al., 2019), son precisamente estas intervenciones las que caracterizan al agua como recurso hídrico, ya que la terminología abarca cualquier tipo de agua superficial o subterránea destinada a algún uso humano.

Hoy en día los recursos hídricos se han visto alterados a costa de múltiples impactos ambientales derivados principalmente de la actividad humana, como la construcción, minería y embalses, liberación de efluentes industriales y domésticos sin el debido tratamiento, canalización y desvío del curso natural del agua, deforestación y uso inadecuado de la tierra en regiones ribereñas y llanuras aluviales.

Por lo tanto, la degradación del recurso hídrico debe ser vista como una realidad, ya que estas prácticas implican un progresivo proceso de deterioro de la idoneidad del agua para el consumo, además de comprometer la cantidad disponible de este recurso, inviabilizando o restringiendo su uso (Goulart & Calixto, 2013). Considerando la diversidad de impactos a los que están expuestos los ecosistemas acuáticos, así como la multiplicidad de funciones

que estos ambientes desempeñan, Domínguez & Giorgi (2020) sostienen que la diligencia en los diferentes y constantes aprovechamiento del recurso hídrico local, además de implicar la calidad y la disponibilidad de agua, puede hacer que los indicadores de sus condiciones sean inferiores a los recomendados por la legislación. Júnior (2022) agrega que la escasez de agua y la degeneración de los diversos cuerpos de agua constituyen los principales factores que limitan su uso, demostrando, en la mayoría de los casos, reflejos de la interferencia humana derivada de los patrones de consumo expuestos por las sociedades contemporáneas.

Estudios realizados por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) indican que la demanda global de agua ha aumentado drásticamente a un ritmo de aproximadamente el 1% anual, mientras que los eventos de estrés hídrico se han vuelto cada vez más comunes. Asimismo, se estima que una gran parte de la población mundial reside en áreas que enfrentan la posibilidad de escasez de agua al menos un mes al año. Esta cifra podría incrementar exponencialmente, alcanzando alrededor de los 4.800 y los 5.700 millones de personas para el año 2050 (et al., 2018; Koncagül et al., 2021).

El crecimiento de cambios constantes y significativos en los ecosistemas regionales ha contribuido a su proceso de degradación, impactando concomitantemente los recursos hídricos, los cuales, como componentes indispensables del medio físico, pueden verse copiosamente comprometidos (Silva, 2013). De esta manera, también se hace énfasis en las ciudades como Cañar, que han registrado caídas en la disposición de agua en los últimos años, resultando en pérdidas considerables en sus embalses y eventualmente, problemas en el suministro de agua (Molerio León, 2019). Los daños derivados de la crisis del agua no afectan única y exclusivamente a los seres humanos. Los servicios eco sistémicos, el mantenimiento del ciclo de los nutrientes, la biodiversidad acuática y la sostenibilidad de ríos, lagos, represas, zonas inundadas y aguas subterráneas se ven perjudicados simultáneamente, ya sea por la reducción de la cantidad disponible de agua, o por el exceso de contaminantes presente en las aguas (Silva, 2013).

La escasez y el uso inadecuado del agua dulce representan una amenaza seria y creciente para el desarrollo sostenible, la protección del medio ambiente y la salud y el bienestar humanos. Por lo tanto, es importante señalar que los ecosistemas acuáticos estarán en riesgo

a menos que se gestionen adecuadamente los recursos hídricos y terrestres (Paucar, 2023; Torres-Vintimilla, 2023). De esto se desprende la importancia de adoptar prácticas de conservación, uso adecuado, regulación del acceso y gestión integral de los recursos hídricos.

2.3. Gestión de los recursos hídricos

Además de las intervenciones humanas, las fallas en la gobernanza derivadas de la ineficiencia del sistema de gestión del agua también son responsables de contribuir gradualmente a la degradación de las masas de agua. Así, como lo discuten (Andrade-Figueroa, 2023; Cortes, 2023), el primer imperativo a considerar a la hora de adoptar estrategias que posibiliten una gestión colaborativa y eficiente se refiere al cambio cultural de los residuos, de modo que se comprenda que el agua es un recurso agotable. La Global Water Partnership (GWP), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), la organización internacional fundada en 1996 por el Banco Mundial, junto y el Ministerio Sueco de Cooperación y Desarrollo, entiende la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos como un “enfoque que promueve la gestión y la coordinación entre el agua, la tierra y los recursos relacionados, apuntando al bienestar económico y social, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas” (Guevara-Pérez et al., 2022).

2.3.1 Las cuencas hídricas de los ríos como unidad de estudio

Se define la cuenca hidrográfica como un área geográfica natural delimitada por divisores topográficos (Maidment et al., 1994; Burgos et al., 2016). Este término también se refiere a una zona de la superficie terrestre drenada por un curso de agua principal y sus afluentes, donde todo el caudal de efluentes se vierte a través del emisario, la salida de la cuenca. Es importante destacar que estas áreas reflejan la interacción entre las condiciones naturales y las actividades humanas, ya que en ellas se llevan a cabo todas las actividades humanas (Júnior, 2022). En Ecuador, como se mencionó previamente, la adopción de las cuencas fluviales como unidad territorial de gestión del agua se implementó tras la aprobación de la Ley de Aguas, marcando un avance en la gestión, definiendo la cuenca como una unidad territorial para la gestión de recursos hídricos. Además, se estableció que la gestión debe contemplar el uso múltiple del agua, realizarse de manera descentralizada, integrada, participativa, y considerar las diversas características físicas, bióticas, demográficas,

económicas, sociales y culturales de los ecosistemas de distintas regiones del país (Xavier et al., 2022; Paucar, 2023). Por lo tanto, las cuencas hidrográficas son esenciales para la gestión y planificación, constituyendo unidades territoriales con su propio orden espacial, siendo una parte integral del Sistema de Gestión de Recursos (Lopes et al., 2019).

Respecto al comportamiento de una cuenca a lo largo del tiempo, es importante resaltar que este ocurre debido a dos factores, el primero se refiere al orden natural, el cual es responsable de la inclinación del ambiente hacia la degradación ambiental; el segundo, en cambio, surge por interferencias de actividades humanas, que pueden actuar directa o indirectamente sobre el funcionamiento de la cuenca. Es de destacar que la adopción de medidas, como la subdivisión de una determinada cuenca hidrográfica de orden superior en sus componentes (subcuencas), que permite identificar, controlar y establecer prioridades de mitigación o mitigación de posibles impactos ambientales (Hasdenteufel et al., 2018). Andrade-Muñoz et al., (2023) por su parte consideran que las cuencas fluviales han sido constantemente utilizadas como modelos holísticos destinados, sobre todo, a comprender los ambientes acuáticos. El principal argumento a favor de la mencionada afirmación se refiere al hecho de que estos territorios abarcan simultáneamente recursos hídricos, aspectos de vegetación, geología, clima, uso y ocupación del suelo, que subsidian la formación de un mosaico de subsistemas funcionales interconectados por medios bióticos y abióticos. Aldaz et al. (2021) utiliza el argumento de que los aspectos enumerados contribuyen a la ejecución de estudios interdisciplinarios esenciales para gestionar recursos hídricos. Además, en palabras de Lopes et al. (2019) y Reis (2022), el uso de las cuencas hidrográficas como unidad de estudio pretende diseñar, interceder, ejecutar y gestionar formas más convenientes de explotar los recursos naturales disponibles en ellas. En este contexto se inserta el monitoreo ambiental, que posibilita establecer estrategias para el uso, manejo, control y conservación del medio natural.

2.4. Monitoreo de los cauces para determinar la calidad del agua

Lograr una gestión integrada del recurso hídrico requiere el monitoreo sistemático del agua que abarque información sobre su calidad y cantidad. Con base en esta afirmación, los monitores de la calidad del agua se convierte en factores claves para la gestión eficiente del agua, ofreciendo subsidios para la planificación, otorgamiento, inspección y clasificación de los cauces de agua de los ríos (Rodríguez et al., 2019; Reis, 2022). El monitoreo ambiental

puede definirse como el seguimiento y conocimiento sistemático de las condiciones de los recursos naturales, del medio físico y biótico, encaminado a mejorar, mantener o restablecer la calidad ambiental de un determinado territorio, calidad que, a su vez, está relacionada con el control de variables ambientales, que eventualmente son modificadas, debido a acciones humanas o transformaciones naturales. También es de destacar que el monitoreo de las condiciones ambientales del medio natural permite la evaluación del abastecimiento de agua, lo que consolida decisiones que incluyen el uso múltiple e integrado del agua y la reducción de perturbaciones o presiones sobre el medio ambiente (Ferreira et al., 2019). Según Erneus-Jácome & Yánez (2019) y Rodríguez et al. (2019), el monitoreo sistemático implica el establecimiento de series de datos históricos, cuya interpretación permite una mayor comprensión de la evolución temporal de la calidad ambiental y su conexión con otros fenómenos, brindando así la garantía de protección y mejoramiento de la calidad del medio ambiente, mediante el desarrollo de planes de contingencia de control, inspección, inversión o legislación específica. Con respecto al monitoreo de la calidad del agua, según Maia et al. (2019), su ascenso se debió a la necesidad de asegurar la viabilidad de los diversos fines de uso del recurso hídrico, influyendo directamente en la gestión de este recurso y la búsqueda de soluciones a los conflictos por su uso. Este monitoreo no es más que un proceso de muestreo, determinación de parámetros de interés y almacenamiento de datos considerando las principales características de los ambientes acuáticos. En vista de lo anterior la valoración de la calidad del agua, la implementación del monitoreo también se enfoca en fortalecer el control, la planificación y la gestión del agua. Un aspecto importante a considerar en la evaluación de la calidad del agua en un cuerpo de agua se refiere a la realización de monitores en el tiempo y el espacio mediante la adquisición de datos físicos, químicos y biológicos, con el objetivo de obtener la información necesaria para llevar a cabo análisis con tendencias tanto a corto como a largo plazo (Costa et al., 2019).

Hernández et al. (2020) describe que el monitoreo a lo largo del espacio evalúa el comportamiento de parámetros de calidad previamente establecidos, en puntos determinados de secciones de un mismo cuerpo de agua. Una evaluación de este tipo facilita la identificación de tramos críticos, donde la calidad del agua se ve significativamente comprometida debido, por ejemplo, a factores meteorológicos, emisiones contaminantes o cambios en el flujo. Respecto al monitoreo temporal, el autor define que este permite monitorear la tendencia de la variación en la calidad del agua, de esta manera, la recolección

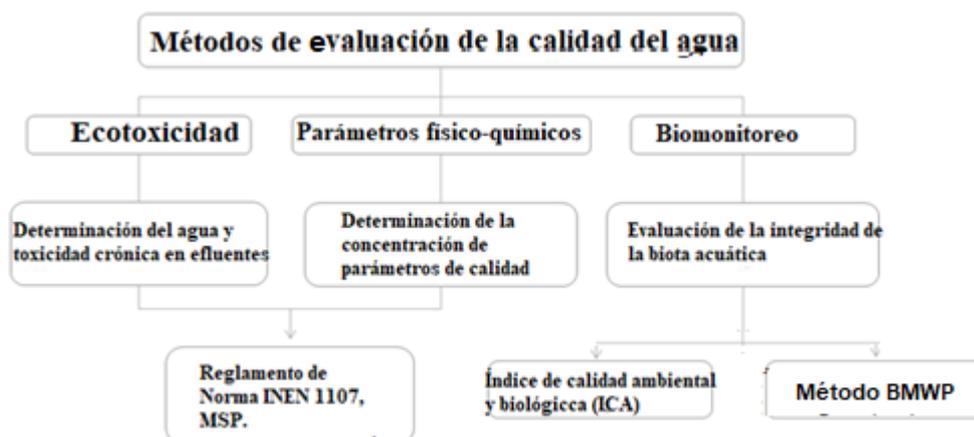
de datos permite verificar la condición específica de la calidad del agua en el tiempo para, cuando sea necesario, subsidiar un eventual mantenimiento.

Para Lupi et al. (2022), respecto a la duración del seguimiento, se puede distinguir en dos tipos. El primero consiste en un seguimiento sistemático a largo plazo y comprende un patrón de mediciones, observaciones, evaluaciones e informes de masas de agua con el objetivo de definir niveles y tendencias. La segunda, denominada “encuesta” de duración definida, contiene programas intensivos, evaluaciones e informes de calidad ambiental con propósitos específicos. Estos monitores de la calidad del recurso hídrico es responsabilidad legal de los órganos de la administración pública responsables de proteger y mejorar la calidad ambiental del recurso hídrico (Costa et al., 2019). Según Padilla (2015), el monitoreo sigue siendo fundamental para el establecimiento de políticas ambientales, considerando que dichos procedimientos garantizan la adquisición de información sobre las condiciones del medio acuático que sustentan.

En general, la evaluación de la calidad del agua se basa en la determinación cuantitativa de los parámetros físicos y químicos de los cuerpos de agua, la toxicidad de los efluentes micro industriales y domésticos, y la degradación de los ecosistemas acuáticos (Figura 1) (Bem, 2015)

Cuadro 1

Principales métodos para evaluar la calidad del agua



Fuente: Adaptado de (Bem, 2015; Álvarez et al., 2016)

En Ecuador y otras partes del mundo se aplican parámetros fisicoquímicos para la determinación de la calidad del agua de los ríos; sin embargo, los resultados obtenidos proporcionan el estado de ese ecosistema en ese momento, pero no a lo largo del tiempo (Carrera Reyes & Fierro Peralbo, 2011). Por este motivo, se ha desarrollado diversos índices bióticos en base a la presencia de macroinvertebrados para abordar de manera integral y ecológica la calidad del agua de los ríos (Dominguez-Granda et al., 2018). El índice del Biological Monitoring Working Party (BMWP), se trata del índice de calidad del agua utilizado para determinar la salud general del medio ambiente de los ríos de acuerdo a la abundancia y riqueza de macroinvertebrados acuáticos, como crustáceos, moluscos e insectos. Estas especies son usadas como indicadores que determinan la calidad del agua, debido especialmente a su sensibles al cambio en aquellas condiciones fisicoquímicas del agua determinadas por la presencia de contaminantes en los ríos(Roldán-Pérez, 2016).

Los datos obtenidos de los parámetros fisicoquímicos reflejan la calidad del agua en el momento de su recolección y proporcionan resultados cuantitativos que deben compararse con los valores establecidos por el Índice de Calidad del Agua (ICA) (Torres et al., 2019), la Norma INEN 1107 (Álvarez et al., 2016), el Biological Monitoring Working Party (BMWP) (Magallon Ortega et al., 2021) y las ordenanzas del Ministerio de Salud (Rodríguez et al., 2019), como la Ordenanza de Consolidación n° 5 de 28 de septiembre de 2017, que en su Anexo XX detalla los procedimientos de control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano y las normas de potabilidad (Rodríguez et al., 2019). Esta resolución también establece que “los responsables de la contaminación de las fuentes de los recursos hídricos deben realizar monitoreo para controlar y supervisar periódicamente los efluentes vertidos en los cuerpos receptores, basándose en muestreos representativos” (Olmos, 2003).

El monitoreo de la calidad del agua también se puede realizar utilizando biota acuática, como los macro invertebrados bénticos; sin embargo, a diferencia de los análisis antes mencionados, el monitoreo biológico consiste en una evaluación cualitativa, no teniendo así valores de referencia para comparación o consideración legal (Bem, 2015).

Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario destacar que los análisis de los parámetros físicos y químicos de los cuerpos de agua, recomendados por el aparato legal y realizados actualmente en el panorama nacional, son en definitiva, costosos y requieren de un mayor límite de tiempo de muestreo, para atribuir las causas y efectos de los procesos degradativos,

ya que el monitoreo con esta composición refiere a una evaluación inmediata que puede diferir de la situación altamente dinámica que se presenta en los ecosistemas acuáticos (Whitfield, 2019).

Considerando los análisis antes mencionados, otro punto importante a discutir es el hecho de que no son apropiados para indicar y predecir efectos nocivos sobre la biota, es decir, no son muy eficientes para detectar cambios en la diversidad de hábitats y microorganismos y las consecuencias del cambio de la calidad del agua en las comunidades biológicas (Baršienė et al., 2022). Además, varios autores, como Pratt & Coler (2006) y Arias et al. (2017) utilizan el argumento de que el monitoreo tradicional, basado en características físicas, químicas y bacteriológicas, no cubre toda la complejidad que implican los múltiples usos del agua.

En cuanto a los métodos de aplicación del biomonitoreo, cabe destacar que estos incluyen el relevamiento y evaluación de cambios relacionados con la abundancia de especies y los índices de diversidad, como la reducción o ausencia de las más sensibles o la riqueza de las más resistentes; índices de productividad primaria y secundaria; y sensibilidad a niveles de concentración de compuestos o sustancias tóxicas (Regina, 2019).

En este contexto y considerando las palabras de Brown Jr. (1997), a través de cambios en las proporciones de ciertos recursos, algunos componentes sensibles especializados pueden volverse más escasos, mientras que aparecen otros generalistas, reflexionando así sobre la composición y estructura de los bioindicadores.

Un bioindicador, según Markert et al. (2007) y Molano et al. (2019), es un organismo, parte de un organismo o una comunidad de organismos que proporciona información sobre la calidad del medio ambiente o de una parte del mismo. Los autores señalan que un indicador biológico ideal, debe cumplir con al menos las siguientes características: baja movilidad, solidez taxonómica, distribución amplia o cosmopolita, características ecológicas bien conocidas, abundancia numérica, idoneidad para experimentos de laboratorio, alta sensibilidad a los factores estresantes ambientales, capacidad de estandarización y cuantificación alta. Las respuestas que surgen de un indicador biológico pueden atribuirse al impacto de un contaminante determinado. Dicho esto, cabe señalar que los bioindicadores acumulan agentes tóxicos, en proporciones similares a su nivel de concentración en el ambiente, además de resaltar su período de exposición al estresor ambiental, a través de

análisis capaces de estimar las concentraciones ambientales del compuesto de interés. en el tejido de los organismos recolectados (Reis, 2022). Prestes & Vincenci (2019) y Ali et al. (2021) explican que los bioindicadores más utilizados son aquellos que indican no sólo interacciones a largo plazo, sino que también reaccionan ante cambios repentinos, como cambios estacionales y ciclos lluvia-sequía, estrés hídrico y la introducción de contaminantes. Los autores destacan que, en estas condiciones, existen varios grupos de indicadores, siendo las comunidades planctónicas, bentónicas y de peces las más frecuentemente elegidas para ser foco de estudios y análisis.

El uso de bioindicadores es brevemente destacado por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169 y 2176:98, muestreo, calidad de las fuente hídricas, conservación y manejo de muestras y que pretende considerar, en uno de sus preceptos, que “la salud y el bienestar humanos, así como el equilibrio ecológico acuático, no deben verse afectados por el deterioro de los recursos naturales”, la calidad del agua (Morales et al., 2023), justificando la esencialidad de evaluar las comunidades biológicas para mantener la calidad apropiada de los ecosistemas acuáticos (Silveira-Rabelo & Caldeira-Costa, 2018).

En vista de lo anterior, aumenta la necesidad de adoptar un enfoque integrado que contribuya a la gestión de los recursos hídricos y al control ambiental de los riesgos ecológicos derivados de las actividades humanas, de modo que las condiciones ambientales se revelen adecuadamente y los ecosistemas acuáticos mantengan su integridad (Goulart & Calixto, 2013).

En el Ecuador, desde el año 2003 existe TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente), es un marco regulatorio que consolida diversas regulaciones ambientales, incluyendo relaciones con las propiedades optimas de calidad del agua, la gestión de residuos y la contaminación del aire.

2.5. Bioindicadores de la calidad de las masas de agua

El monitoreo biológico se define generalmente como el uso sistemático de organismos vivos en la determinación de las condiciones o modificaciones ambientales de un territorio determinado (Lazo-Sedamano & Valera-Escobar, 2018). Ali et al. (2021), basado en la aplicación de diferentes protocolos de evaluación, índices biológicos y milimétricos (Goulart

& Calixto, 2013). Según Paniagua-Zambrana et al. (2020) y (Purihuamán-Leonardo & Sánchez-Bustamante (2022), los análisis biológicos utilizan métodos de estudio de especies, con el objetivo de comprender las condiciones ambientales predominantes. Esta afirmación se justifica por el hecho de que los organismos bioindicadores son sensibles a las perturbaciones, lo que permite dilucidar diversas cuestiones ambientales en la comunidad analizada. Esta práctica tuvo su auge a partir de la necesidad de complementar la información surgida de análisis ya realizados, considerados insuficientes para describir completamente el nivel de calidad del agua superficial del río (Arias et al., 2017), y ha proporcionado, según Dornfeld (2006), mejoras en la diagnóstico de las condiciones de los recursos hídricos, cuando se realiza simultáneamente con la evaluación de los índices fisicoquímicos del agua; sobre todo, por las características complementarias y convergentes que presentan ambas técnicas.

Según Terneus-Jácome & Yáñez (2019), la combinación de ambos métodos que posibilitan detectar intermitentes ondas tóxicas agudas, emisiones crónicas continuas y focos de contaminación difusa y proporciona información sobre los efectos antropogénicos sobre los seres vivos y el medio ambiente, resaltando así aspectos positivos para su aplicación a escala regional. En el monitoreo biológico en ecosistemas fluviales, las mediciones pueden seleccionarse desde determinados niveles biológicos de organización (suborganismo, organismo, población, comunidad y ecosistema); sin embargo, históricamente se han utilizado ampliamente métodos ecológicos y niveles más altos de organización, como poblaciones, comunidades y ecosistemas (Ali et al., 2021).

En cuanto a los métodos de aplicación del biomonitoreo, cabe destacar que estos incluyen el relevamiento y evaluación de cambios relacionados con la abundancia de especies y los índices de diversidad, como la reducción o ausencia de las más sensibles o la riqueza de la más resistente; índices de productividad y sensibilidad a niveles de concentración de compuestos o sustancias tóxicas (Barbour, 1999). En este contexto y considerando las palabras de Brown (1997), a través de cambios en las proporciones de ciertos recursos, algunos componentes sensibles especializados pueden volverse más escasos, mientras que aparecen otros generalistas, reflexionando así sobre la composición y estructura de los bioindicadores.

Sin embargo, la citada legislación, que, a su vez, clasifica los cursos de agua según norma y valor máximo y mínimo permitidos para parámetros fisicoquímicos, no incluye información equivalente a la dinámica de interacción de los organismos, bioindicadores de la calidad del agua (Pimenta et al., 2016). Si bien el biomonitoreo y el uso de organismos bioindicadores no están debidamente incluidos como variables en el seguimiento de masas de agua en la legislación medioambiental en Ecuador, o aunque los limitados registros históricos de datos taxonómicos sobre la fauna autóctona emergen como un factor que dificulta el desarrollo de investigaciones centradas en monitoreo biológico (Queiroz et al., 2008), varios estudios y grupos de investigación han estado adoptando el enfoque de evaluaciones biológicas. A pesar de la información expuesta, entre otras no mencionadas, se destaca la necesidad de revisar la legislación ambiental pertinente a la calidad del agua, para que contemple las interrelaciones de la calidad del agua con los parámetros físico-químicos y bioindicadores, de modo que dichos métodos sean adoptados por las autoridades ambientales, organismos y/o divisiones otorgantes de licencias, así como incentivar el desarrollo de estudios que aborden los temas de las evaluaciones biológicas de las condiciones de los ecosistemas fluviales y la calidad o, con el objetivo de alcanzar un nivel de conocimiento satisfactorio (Goulart & Calixto, 2013; Pimenta et al., 2016).

2.6. Macro invertebrados bentónicos

Se denominan bénticos o bentónicos al organismo que forman parte de los bentos, término que, a su vez, proviene del griego “bentos” que significa fondo. Así, se observa que dichos organismos habitan en las profundidades del ecosistema acuático, al menos durante parte del ciclo vital, estando asociados a diferentes tipos de sustratos orgánicos e inorgánicos, como macrófitos acuáticos, hojarasca o sustratos de rocas, gravas y arenas (Sonoda, 2009). Habitualmente, la comunidad bentónica se divide según su posición en la cadena trófica, su forma de vida o su tamaño. Ahora bien, existen los zoobentos, que comprenden organismos consumidores, siendo estos animales vertebrados o invertebrados asociados al sedimento, y los fitobentos, clasificados como productores primarios, como las algas o las gramíneas que colonizan la superficie de los sedimentos. En cuanto a su forma de vida, los bentos se clasifican según su posición en el sedimento, así, los que viven, se mueven y se alimentan en la capa superficial se denominan epifaunales, mientras que los que viven enterrados o en galerías se denominan infaunales (Biscalquini, A, 2019). Como se mencionó, estos organismos se dividen según su tamaño.

Según la clasificación basada en el tamaño de la malla utilizada para separar dichos organismos del sedimento, los organismos menores de 32 μm no retenidos en una malla, como bacterias, protozoos y microalgas, pertenecen al microbentos, mientras que los mayores de 62,5 μm . como nematodos, copépodos, harpacticoideos, tardígrados, se clasifican como meiobentos y, finalmente, los organismos mayores a 500 μm , retenidos por un tamiz de malla de 0,5 mm, representados principalmente por poliquetos, moluscos, crustáceos, equinodermos y poríferos se denominan macrobentos (Warwick, 1993). Los macroinvertebrados bentónicos son componentes fundamentales en la cadena alimentaria acuática, capaces de interconectar materia orgánica y recursos nutricionales, como hojarasca, algas y detritos, en los niveles tróficos más altos (Wallace & Webster, 1996).

La fauna bentónica tiene una alta diversidad taxonómica y está representada principalmente por organismos pertenecientes a los filos Arthropoda (Clase Insecta, Suorden Prostigmata y Subfilo Crustacea), Mollusca (Clase Gastropoda y Clase Bivalvia), Annelida (Subclase Oligochaeta y Subclase Hirudinea). De ellas, la clase Insecta es la más numerosa y diversa, y también la más importante en los enfoques de seguimiento (Bem, 2015). Históricamente, el bento ha demostrado su eficacia en el seguimiento y evaluación de los impactos ambientales. Entre las principales ventajas del uso de macroinvertebrados bentónicos en el biomonitoreo de ecosistemas fluviales y quebrados destaca su sensibilidad a una diversidad de estresores ambientales. Además, la gran mayoría de estos organismos tienen hábitos sedentarios, siendo así representativos de las condiciones ecológicas específicas del lugar (Ali et al., 2021). Además de tener una etapa de vida sensible y relativamente larga, los macroinvertebrados bentónicos son abundantes y ubicuos, con una amplia gama de niveles tróficos y tolerancias a la contaminación, atributos que resaltan su capacidad para interactuar con los efectos de la variación ambiental de corto plazo, proporcionando, por tanto datos contundente para interpretar las condiciones ambientales del curso de agua analizado (Hutchinson et al., 1998). Según Callisto et al. (2001), la comunidad bentónica necesita de ciertos períodos para establecer sus poblaciones, las cuales, a su vez, requieren de sus propias condiciones ambientales para permanecer en el medio ambiente.

En vista de lo anterior, Goulart & Calixto, (2013) afirman que la tolerancia del macroinvertebrado a las adversidades cotoninas, cabe señalar que se pueden separar en tres grupos, con excepciones, a saber, sensibles o intolerantes, tolerantes y resistentes.

organismos. El primer grupo está representado por organismos que requieren alta concentración de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua y que habitan ambientes con alta diversidad de hábitats y microhábitats, como Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera. El grupo dos a su vez, comprende organismos que dependen de concentraciones de oxígeno inferiores a las del primero, requiere de una menor diversidad de hábitats y microhábitats y está formado por una variedad de insectos e invertebrados acuáticos, como moluscos, bivalvos, algunas familias de dípteros y representantes de los órdenes Heteroptera, Odonata y Coleoptera (De Oliveira et al., 2009; Goulart & Calixto, 2013). Finalmente, el tercer grupo está formado por organismos extremadamente tolerantes a los cambios del medio, capaces de habitar cuerpos de agua en condiciones de agotamiento total de oxígeno durante varias horas y además son organismos detritívoros, favoreciendo así su adaptación a los más diversos ambientes. por ejemplo, existen larvas de Chironomidae, Diptera y toda la clase Oligochaeta (Goulart & Calixto, 2013). Es importante resaltar que la proporción de cada grupo funcional en el ambiente dilucida la integridad y características del ecosistema, en este sentido, los lugares contaminados generalmente comprenden diversidad de especies baja y una densidad alta de individuos tolerantes (Callisto et al., 2001).

Existen una serie de factores, además de las condiciones de degradación, capaces de influir directamente en la riqueza y abundancia de las asociaciones macrobentónicas, entre los que destacan la corriente, el tipo de sustrato, la vegetación y la temperatura (Costa et al., 2019). Tales factores, según (Clarke & Warwick, 2001), así como otras perturbaciones o cambios ambientales, pueden dar lugar a variaciones en la densidad, riqueza y composición de las especies.

2.7. Protocolo de Evaluación Rápida (PAR)

Como señalan los autores, debido al cambio en cursos hidricos, algunos organismos pueden volverse más escasos, mientras que otros adquieren hábitos más generalistas. Como resultado, se pueden aplicar varios índices ecológicos para ayudar en la interpretación de datos cualitativos del biomonitoreo. Según (Alba-Tercedor, 1996), el índice de calidad biológica ambiental es una herramienta de primer nivel para inferir la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos, con el Biological Monitoring Working Party System (BMWP), propuesto en 1976, en Gran Bretaña, a varios ríos. cuencas del mundo, uno de los índices más utilizados.

Sin embargo, aún hoy, los problemas en la data de calidad del agua y la deficiencia en la captura de individuos por la red de monitoreo llevan a los investigadores a reevaluar los procedimientos utilizados y pensar en adoptar métodos complementarios que mejoren los datos sobre el estado real de los cursos de agua evaluados y los análisis estadísticos eficientes (Rodrigues & Castro, 2008). Así, los PAR se insertan en este contexto como instrumentos útiles, ya que consideran el análisis integrado de los ecosistemas, a través de una metodología fácil, viable y sencilla de aplicar (Barbour, 1999). Por definición, los PAR son documentos de referencia que reúnen una serie de estándares metodológicos adecuados para la evaluación rápida, cualitativa o semicualitativa, de variables que representan componentes físicos que condicionan los procesos ecológicos de los sistemas fluviales (Callisto et al., 2001).

En definitiva, estos documentos constituyen una especie de lista de verificación que evalúa parámetros previamente determinados, que pueden adaptarse a las condiciones ambientales locales, con miras a obtener una puntuación equivalente al estado de conservación del curso de agua mediante un análisis multivariado para mejorar la eficiencia en el análisis e interpretación de los datos, definido como objeto de estudio. Para monitorear la calidad del agua, la información de los PAR es útil para: aumentar la conciencia comunitaria sobre temas de preservación ambiental, motivando así la participación e inclusión de las comunidades en las discusiones sociales, políticas y económicas; ayudar a proporcionar alertas inmediatas sobre la ocurrencia de accidentes ambientales; permitir el establecimiento de técnicas y métodos con miras a desarrollar programas de biomonitoreo; y por ofrecer una evaluación apropiada de las condiciones ecológicas de las cuencas hídricas en la que se ubican, o incluso de subcuencas adyacentes (Hannaford et al., 1997).

2.8. Técnicas estadísticas multivariadas

La aproximación tradicional para evaluar la calidad de agua se considera el uso de Índice de calidad del agua (ICA) y el índice biológico de la calidad del agua que usa la presencia de macroinvertebrados según lo descrito en los apartados anteriores. En las últimas décadas, algunos estudios han aplicado técnicas estadísticas multivariadas para caracterizar y determinar el tipo de agua dulce, evaluar y son útiles para evaluar las variaciones temporales

y espaciales causadas por factores ambientales naturales y antropogénicos vinculados a la estacionalidad (Helena et al., 2008; Singh et al., 2020).

Los estudios que investigan la variación estacional y espacial de la calidad del agua han informado que la eutrofización como problema de calidad del agua depende en gran medida de los patrones de uso de la tierra y de las influencias de la escorrentía de las cuencas (Zhang et al., 2021; Aatik-Chouari, 2024)

Los estudios realizados en Ecuador y otras ciudades importantes del mundo también han demostrado significativa relación entre la urbanización y la calidad del agua superficial (Sotomayor, 2019; Almeida et al., 2024).

Además, numerosas investigaciones han identificado fuentes de contaminación y posibles influencias de los procesos naturales y las actividades antropogénicas en la variación espacio temporal del tipo de agua con el apoyo de las técnicas de análisis multivariado en su identificación e interpretación (Huang et al., 2010; Fan et al., 2019)

La aplicación de diferentes herramientas estadísticas multivariadas, como el Análisis de Componentes Principales (ACP) y el Análisis de Correspondencia Canónica (ACC), ayuda en la interpretación de la data estructurada en matrices complejas que ¿posibilita comprender de mejor manera el estado ecológico del sistema estudiado y la calidad del agua. Estas herramientas posibilitan identificar factores que influyen en la calidad del agua y ayuden a gestionar confiablemente de los recursos hídricos, así como en la solución rápida del posible problema de contaminación (Lee et al., 2001; Adams et al., 2001; Reghunath et al., 2002).

2.8.1. Técnicas de reducción de dimensionalidad.

El análisis estadístico multivariado tiene como un objetivo prioritario reducir la dimensionalidad de grandes bases de datos con muchas variables tal que se pueda interpretar la información de una mejor manera. Existen muchas técnicas de reducción de dimensionalidad desarrolladas, sin embargo, en este apartado se describen dos de las principales y que son usadas en este análisis: análisis de componentes principales (ACP) y el análisis de correspondencia canónica (ACC).

El Análisis de componentes principales (ACP), se ha diseñado para transformar las variables originales en nuevas variables (ejes) no correlacionadas, llamadas componentes principales, que resulta de las combinaciones lineales de las variables que originales (Hotelling, 1933). Los ejes resultantes se disponen en dirección de máxima varianza.

ACP proporciona una forma objetiva de encontrar índices de este tipo para que la variación en los datos se pueda explicar de la manera concisa y apropiada (Brumelis et al., 2000).

ACP proporciona datos sobre los parámetros más significativos e interpretan describiendo la mayoría del conjunto de datos, lo que permite una reducción de datos con una pérdida relativamente ínfima de la data original (Helena et al., 2000). Estas componente principal (PC) se puede expresar como:

$$z_{ij} = a_{i1}x_{1j} + a_{i2}x_{2j} + \dots + a_{im}x_{mj}$$

donde z es la puntuación del componente, a es la carga del componente, x el valor medido de la variable, i es el número del componente, j el número de muestra y m el número total de variables.

En los conjuntos de datos sobre la calidad del agua en ríos, un componente principal (PC) se define como una combinación lineal de las variables observadas relacionadas con la calidad del agua (Vega et al., 1998; Helena et al., 2000)

El análisis ACP utiliza variables normalizadas para extraer PC significativas para disminuir significativamente la contribución de variables con menor significancia. Al final un menor número de variables normalmente daría cuenta de aproximadamente similar cantidad de información que un conjunto significativamente mayor que las variables originales.

Para Ter-Braak (1986), el análisis correspondencia canónica (ACC) es una técnica Multivariante muy útil para explorar y modelar las relaciones entre dos matrices de datos . En el conjunto de datos de calidad de agua, una matriz de variables categóricas (generalmente ambientales) y otra matriz de variables de respuesta (generalmente biológicas, como abundancia de especies). Es especialmente útil en ecología y estudios ambientales para analizar de qué forma los factores ambientales están influyendo en la distribución de los individuos de una determinada especie en los puntos de muestreo y correlacionar su presencia con la calidad del agua que los contiene.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

Tratando de cumplir los cada objetivo planteado en la presente investigación se plantean los siguientes procedimientos como guía para llevar a cabo el proceso de manera efectiva:

3. 1. Enfoque y diseño

Esta investigación presenta un enfoque cuantitativo, de alcance descriptivo y de tipo transversal (Hair et al., 2010). Se realizan análisis descriptivos de los principales indicadores fisicoquímicos y microbiológicos, así como las variaciones biológicas de los macroinvertebrados.

Se aplicaron técnicas estadísticas multivariantes de Análisis de Componentes Principales y Análisis de Correspondencia para entender las principales relaciones que existen en los indicadores ambientales que intervienen significativamente en la calidad del agua de los ríos investigados.

3. 2. Zona de estudio

La ciudad de Cañar está situada en la región centro sur del callejón interandino ecuatoriano ($5^{\circ}25'13.03''S$ $80^{\circ}46'26.73''O$), específicamente en el corazón de la provincia que comparte su nombre. Es considerado parte de la región de sierra fría y de zonas levemente áridas (INERI, 2022).

Se encuentra delimitado al norte por la provincia de Chimborazo; al sur por la provincia del Azuay y los cantones de Biblián y Azogues; al este, por el cantón Azogues; y al oeste, por la provincia del Guayas.

Cañar abarca una extensión de alrededor de 1.751.20 kilómetros cuadrados, lo que representa el 56% del territorio provincial, convirtiéndolo en el cantón más extenso de la provincia del Cañar (Figura 1)

Figura 1

Ubicación geográfica del cantón Cañar (GADIC, 2022)



Fuente: Google Maps (2024)

Se localiza en la meseta de la cordillera de los Andes, con picos que superan los 3.900 m.s.n.m, como es el caso del cerro Buerán, con una altitud de 3.806 metros, seguido por los cerros Molobog y Huirapungo, que pueden superar la altura de 3.000 m.s.n.m.

Debido a su elevada altitud y ubicación, presenta un clima frío seco con precipitaciones escasas (menos de 150 mm/año) (Amorós & Ota, 2022), con una temperatura promedio de 11.8°C.

Cañar se halla en una inclinación geográfica de sur a norte, conformando una estructura irregular de altiplanos que son hondonadas que dan lugar a la formación de pequeños pantanos húmedos que está bañada por las quebradas de Pucahuayco (Latitud: -2.5490, Longitud: -78.9350) y Zhamizhan (Latitud: -2.5360, Longitud: -78.9090), que en su curso atraviesan la cabecera cantonal y sus poblados. Estos ríos nacen en las inmediaciones de la cordillera del Bueran y Rumipungo, a 3.860 m.s.n.m., que atraviesan los márgenes laterales de la ciudad de Cañar, cuya área urbana se extiende a una altimetría promedio de 3.126.

Estos dos ríos se unen aguas abajo con el río San Clemente para forman el río Cañar (2°31'34.0"S 78°56'17.6"W), a una altura de 2965 m.s.n.m., que en la zona costanera de Zhucay, cambia de nombre a río Naranjal y desembocando finalmente en el golfo de Guayaquil. Los ríos Pucahuayco y Zham-Zham cubren una superficie de 579 hectáreas y

realizan un recorrido de 19 y 23 Km, respectivamente, incluido el recorrido de las zonas urbano marginales y urbana de la ciudad de Cañar.

3. 4. Recolección de datos

Recolección de la información:

Se recopilaron los datos correspondientes al monitoreo mensuales de los parámetros de calidad del agua, desde 2021 hasta 2022. Estos datos se obtuvieron mediante dispositivos de medición como pH metro, oxímetro, medidor de salinidad y conductividad. En cuanto a otros indicadores fisicoquímicos y microbiológicos, se recolectaron muestras de agua, las que fueron enviadas al laboratorio para el análisis correspondiente. Esto proporciona un alto nivel de confianza en la validez de los datos obtenidos.

Muestreo de datos

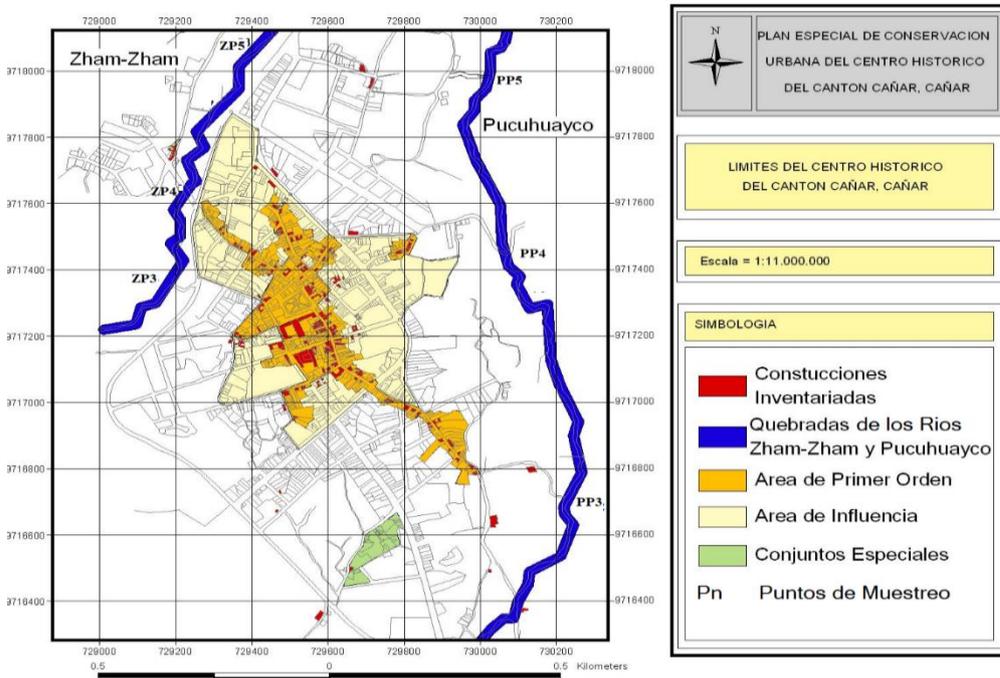
Se recolectaron muestras de agua en los años 2021-2022, durante las temporadas de invierno (marzo, abril y mayo) y verano (agosto, septiembre y octubre). El área investigada corresponde a las tres regiones principales (alta, media y baja) de las subcuencas evaluadas, seleccionándose cinco puntos de muestreo para cada una de las regiones principales de los ríos Pucuhuayco y Zham-Zham, totalizando así 5 puntos estacionarios en cada río.

Para cada subcuenca se muestrearon tres zonas: nacimiento, intermedio y desembocadura, obteniéndose un muestreo total de 10 puntos en ambos ríos (Figura 2).

En la zona de nacimiento de cada río se situaron dos puntos de muestreo en cada río. En cuanto a la zona intermedia y zona baja, para reflejar con precisión la calidad del agua de los ríos y determinar las áreas con niveles graves de contaminación se seleccionaron las seis secciones geográficamente representativas de la cabecera cantonal (Figura 3)

Figura 2

Zona intermedia y de desembocadura de los ríos Pucuhuayco y Zham-Zham



Fuente: GADIC – Cañar (2024)

Los puntos de muestreo fueron seleccionados previamente mediante imágenes satelitales, obtenidas mediante la plataforma Google Earth Pro (versión 7.3.4.8248). Estas estaciones de monitoreo cubren principalmente la corriente principal de los ríos. (Figura 3)

Figura 3

Puntos de muestreo en el curso de los ríos Pucuhuayco y Zham-Zham



Fuente: Google Earth (2024)

Se recogieron muestras de agua en 9 y 18 cm (dependiendo del caudal), por debajo de la superficie de agua en medio del río en el día correspondiente. Los 22 parámetros básicos de calidad del agua, según estándares de la calidad ambiental del agua superficial (GB 3838-2002), se midieron mensualmente desde marzo a mayo (época lluviosa) y de agosto a octubre (época seca) de los años 2021 y 2022 en ambos ríos.

La conductividad eléctrica (CE), el oxígeno disuelto (OD) y el pH del agua superficial se determinaron in situ utilizando un instrumento multiparamétrico Professional Plus (Pro Plus). El resto de parámetros fisicoquímicos fueron analizados posteriormente, ex situ, en el laboratorio. Sulfuro, demanda biológica de oxígeno (DBO), nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$), demanda química de oxígeno (DQO), el nitrógeno total (TN), el fosfato total (TP), los coliforme fecales (CF) y coliformes totales (CT) se determinaron utilizando los métodos analíticos básicos conforme a los estándares de calidad ambiental para aguas superficiales (GB3838-2002).

Tabla 1

Situación geográfica del Río Pucuhuayco

Puntos	Localización	Altitud (m.s.n.m.)
Sector Llano grande, Quinuapata	2°36'05.1"S 78°56'32.3"W	3.544
Puente entrada al Sector Citacar	2°35'06.6"S 78°56'32.4"W	3.370
Puente, Calle Colón y Panamericana Norte, Sector Hospital Luis F.Martinez	2°34'10.7"S 78°56'02.9"W	3.179
Puente. Pinzhul, Av. Ingapircal, Sector Pinzhul.	2°33'28.6"S 78°55'58.6"W	3.107
Puente Panamericana Norte, Sector Nar	2°32'35.6"S 78°56'01.5"W	2.998

Tabla 2

Situación geográfica del Río Zham-Zham

Puntos	Localización	Altitud (m.sn.m.)
Estero Chorocópte	2°36'03.6"S 78°58'00.2"W	3.585
Puente del sector La Capilla	2°34'15.5"S 78°56'49.1"W	3.430
Puente de la Lavadora San Andrés	2°33'38.8"S 78°56'39.7"W	3.142
Puente Paseo de los Cañaris. Y Panamericana.	2°33'23.0"S 78°56'26.2"W	3.088
Puente Sector Nar.	2°32'31.4"S 78°56'06.1"W	2.960

Las muestras con el material recolectado fueron almacenadas en frascos de vidrio de color ámbar de 1 litro, previamente esterilizados y debidamente identificados con etiquetas que contienen informaciones sobre los lugares de recolección, para su posterior análisis en el Laboratorio de Agua y microbiología de la Universidad Católica de Cuenca. Todos los análisis siguieron los procedimientos metodológicos de los Métodos Estándar de la Asociación Estadounidense de Salud Pública (APHA, 2015; 2012), según Tabla 3.

Tabla 3

Procedimientos metodológicos para la evaluación de los parámetros físico-químicos analizados en los 5 puntos de muestreo, en la subcuenca de los ríos Pucuhuayco y Zham-Zham, respectivamente

Parámetros	Equipamiento	Referencias
Oxígeno disuelto (mg L-1)	Sonda YSI Profesional Plus	4500 G (APHA, 2005)
Temperatura (°C)	Sonda YSI: Profesional Plus	2550 B (APHA, 2005)
pH	pHmêtro ExtraTech	4500 (APHA, 2012)
Conductividad eléctrica (EE.UU. cm-1)	Medidor de conductividad	2510 B (APHA, 2005)
Color aparente (uH)	Colorímetro DLA – COLOR	2120 (APHA, 2012)
Turbidez (uT)	Turbidímetro PoliControl AP 2000	2130 (APHA, 2012)
Residuo total (mg L-1)	Horno de mufla N1200 JUNG,	Invernadero SOLAB SL 2540 B (APHA, 2012)
Nitrato (mg L-1)	Espectrofotómetro UV-Visible Evolution 201	4500 B (APHA, 2005)
Sólidos configurables (mL/L)	Cono Imhoff	2540 F (APHA, 2005)

APHA: Asociación Estadounidense de Salud Pública (2022)

La colecta de ejemplares de macroinvertebrados en las subcuencas de los ríos Pucuhuayco y ZhamZham se realizaron durante las épocas de invierno y verano, en los meses de marzo a mayo y de agosto a octubre de los años 2021 y 2022, respectivamente. Las recolecciones se realizaron con la ayuda de una red de inmersión de agua “dipnet” (malla de 250 µm). Durante las colectas se buscó explorar todo tipo de hábitat presente en las localidades, tales como: riberas, fangos, vegetación, fondos rocosos y arenosos.

Para recolectar un mayor número de individuos, se buscó remover las piedras/rocas y otros sedimentos ubicados en el fondo de los arroyos, con el fin de liberar los ejemplares atrapados en estos sedimentos. El material biológico recolectado se colocó en el sitio de recolección en bandejas de colores claros para seleccionar individuos del sustrato con ayuda de pinzas de punta fina (preclasificación).

Una vez seleccionado el material biológico, los individuos fueron inmediatamente colocados en frascos de vidrio, debidamente identificados, que contenían alcohol etílico al 70%, para su posterior cribado e identificación de los especímenes en el laboratorio. Se utilizó un tiempo de muestreo de 30 a 45 minutos para recolectar macroinvertebrados en cada punto de muestreo. En el laboratorio, las muestras recogidas se analizaron con el apoyo de un estereoscópico, usando aumentos hasta de 45 veces, identificándose siempre que era posible a los individuos hasta el nivel familiar.

Para la identificación taxonómica se utilizó como base las siguientes reseñas: McCafferty (1981), Merritt; Cummins (1984), Lopretto; Tell (1995), Fernández; Domínguez (2001), PES et al (2005), Benetti et al. (2006), Costa et al. (2006), Lecci y Froehlich (2007), Mariano y Froehlich (2007), Pereira et al. (2007), Pinho (2008), Souza et al (2007), Mugnai et al. (2010), Segura et al. (2011).

3. 5. Análisis de datos

Procesadas las muestras y con sus respectivos datos de análisis se procedió a tabular en una hoja electrónica de Excel ver. 2016, obteniéndose dos tablas, la una con los datos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en época de recolección de datos y puntos de muestreo, en las columnas y los valores de cada parámetro, en las filas. De igual manera en la segunda tabla, en las columnas la época y puntos de muestreo, y en las filas organizados en orden, familias, género y especie se tabula cada individuo macroinvertebrado encontrado en los puntos de muestreos.

Previo a los análisis posteriores, las variables de la base de datos fueron sometidas a tratamientos previos, como: llenado de ceros en las celdas vacías y transposición de términos, cambiando las columnas por filas y filas por columnas.

Estadística Descriptiva. Análisis Multivariante

En el análisis multivariado se utilizó el software estadístico R (versión 4.1.3) con la librería “vegan”. El objetivo es encontrar la combinación lineal de las variables ambientales que mejor expliquen la variación de cada variable biológica y el hábitat de los organismos macroinvertebrados presentes en el cauce de los ríos investigados.

Análisis de componentes principales (ACP)

En cada río estudiado, para el ACP se utilizó la matriz de datos con variables fisicoquímicas y biológicas con una estructura:

$$X = (x_{ij})_{n \times p} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix}$$

Donde $n = 1.320$, que corresponde a los 5 puntos de muestreo, en las 3 mediciones por cada una de las 2 temporadas en cada río. Y $p = 22$, que corresponde al total de variables fisicoquímicas y microbiológicas recolectadas.

La estimación del método ACP en los datos se realizó por medio de la función `prcomp()` de la librería `stats` en R. A continuación, se detallan los pasos realizados que realiza internamente la función utilizada para la obtención de los componentes principales:

1. Estandarización: Los datos originales se estandarizaron con una fórmula de estandarización de puntuación Z para eliminar el impacto de la dimensión (Belkhiri et al., 2015).

$$x_{ij}^* = (x_{ij} - \bar{x}_j) / s_j,$$

donde x_{ij} es la variable estándar, \bar{x}_j es el valor promedio de la variable j , y s_j la desviación estándar para el j -ésima variable. El proceso de estandarización es la opción predeterminada de la función `prcomp()` de la librería `stats` en R.

2. Obtención de la matriz de correlación:

$$R = (r_{ij})_{p \times p} = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n x_{ti}^* * x_{tj}^* \quad (i, j = 1, 2, \dots, p)$$

3. Cálculo de los valores propios y los vectores propios de la matriz de coeficientes de correlación. Los valores propios nos dan información del porcentaje de variabilidad explicado por cada componente principal.

4. Obtención de cada componente principal como la combinación lineal de variables ponderadas por los vectores propios obtenidos.

Visualización en Biplots:

Los resultados del ACP se visualizaron por medio de los diagramas de Biplot que permiten visualizar la relación entre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos usando los dos primeros componentes principales. Las flechas representan las variables estudiadas y su longitud determina la fuerza de la relación con los componentes principales. La proximidad de las observaciones entre sí y a las flechas de variables sugiere una asociación fuerte. Estas relaciones permiten entender características del nivel de calidad de agua en cada punto de muestreo del cauce de los ríos.

Análisis canónico de correspondia (ACC)

En cada río estudiado, para el ACC se utilizó dos matrices: una matriz de datos con variables fisicoquímicas y biológicas y otra matriz de datos con especies de individuos macroinvertebrados categorizados en su respectiva orden y familia. Para el ACC se utilizó la función `prcomp() cca()` de la librería `vegan` en R. La función internamente calcula las correlaciones canónicas de las dos matrices y calcula los componentes principales.

Visualización en Biplots:

Los resultados ACC se visualizaron por medio de los diagramas de Biplot que permiten visualizar la relación entre los indicadores fisicoquímicos, microbiológicos y especies de macroinvertebrados usando las dos primeras dimensiones. Las flechas representan las variables fisicoquímicas y microbiológicas investigadas, y los individuos de las especies de

macroinvertebrados. La proximidad de las especies con a las flechas de variables sugiere una asociación fuerte. De igual manera, estas relaciones permiten entender características del nivel de calidad de agua en cada punto de muestreo, ahora incorporando información de los factores biológicos.

Índice de Calidad del Agua (ICA)

Para comparar los resultados obtenidos por medio de los métodos multivariantes con los métodos de evaluación clásica de calidad de agua, se aplicó el ICA del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, método tradicional para obtener los indicadores que determinan la calidad fisicoquímica y bacteriológica. Para realizar un análisis de calidad del agua de ríos mediante la metodología ICA, es esencial medir una combinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, pues cada uno aporta información crucial sobre el estado del cuerpo de agua y su aptitud para distintos usos:

Indicadores Fisicoquímicos: pH: con el cual se determina la acidez o alcalinidad del agua. *La temperatura del agua:* Influyen en la solubilidad de gases y en la tasa de reacciones químicas y biológicas, *Oxígeno disuelto (OD):* Indicador clave de la salud acuática, esencial para la vida de cada organismo acuático, *Turbidez:* Indica la claridad del agua, afectada por partículas suspendidas, *Fosfatos (PO₄-):* Proviene de detergentes, fertilizantes y residuos industriales, *Nitratos (NO₃-):* Indicador de contaminación agrícola y urbana, *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅):* Cuantifica el oxígeno requerido por la vida de los microorganismos que descomponen la materia orgánica, *Sólidos disueltos totales (TDS):* Determina la cantidad total de sustancias disueltas en el agua, *Conductividad eléctrica:* Hace posible la medición de la capacidad del agua para conducir electricidad, en relación con la presencia de la concentración de sales disueltas en el agua.

Indicadores Microbiológicos: Coliformes fecales: Indicadores de contaminación fecal y la presencia potencial de patógenos orgánicos (World Health Organization, 2024)

Pasos para obtenerlo (Lera-Modino, 2021)

Selección de Parámetros: Consiste en elegir los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se incluirán en el cálculo del ICA. Comúnmente, estos incluyen pH,

oxígeno disuelto, turbidez, sólidos disueltos totales, nitratos, fosfatos, DBO5 y coliformes fecales.

Recolección de Datos: Obtención de los datos obtenidos del análisis de las muestras de agua en diferentes puntos de muestreo y tiempos. Es necesario considerar la cantidad representativa y apropiada del cuerpo de agua que se está evaluando.

Transformación de datos a unidades sin dimensión (subíndices): Cada parámetro se transforma a una escala común (por ejemplo, de 0 a 100) utilizando funciones de transformación específicas para cada parámetro, conocidas como subíndices. Estas funciones pueden ser lineales o no lineales y dependerá de aquellos estándares establecidos de calidad del agua (OMS, EPA, etc.).

Cálculo de Subíndices: Utiliza las fórmulas de subíndices para convertir los valores medidos de cada parámetro en valores de subíndice. Estas fórmulas suelen estar disponibles en la normativa de calidad del agua del país o en publicaciones científicas.

Fórmula para subíndice de oxígeno disuelto: $OD \text{ subíndice} = \left(\frac{OD \text{ medido}}{OD \text{ óptimo}} \right) \times 100$

Asignación de Ponderaciones: Asigna ponderaciones a cada parámetro basado en su importancia relativa en la calidad del agua. Las ponderaciones reflejan cuánto contribuye cada parámetro al índice total.

Cálculo del ICA:

Integra los subíndices ponderados para obtener el ICA total. Una fórmula comúnmente

utilizada es la siguiente: $ICA = \sum_{i=1}^n (w_i \times S_i)$

donde w_i es la ponderación del parámetro i y S_i es el subíndice del parámetro i .

Clasificación de la calidad del Agua: Clasifica el ICA obtenido en categorías cualitativas de calidad del agua (excelente, buena, aceptable, mala, muy mala), basadas en rangos predefinidos.

Índice Biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party)

Método de análisis muy usado para evaluar la calidad del agua en base a la riqueza y a la abundancia de individuos macroinvertebrados acuáticos.

Pasos para obtener el Índice BMWP (Armitage et al., 2018)

Recolección de muestras: Selecciona de cada punto de muestreo, identificando los hitos en puntos históricos del río, preferentemente, donde se van a tomar las muestras.

Métodos de muestreo: Usar una red de mano o un muestreador de fondo para recolectar muestras de macroinvertebrados del sustrato del río. Es importante asegurarse de que las muestras sean representativas de los diferentes microhábitats presentes.

Identificación de macroinvertebrados: se clasifica a los macroinvertebrados identificándolos a nivel de familia o género, luego a la familia y orden de pertenencia. Para obtener un índice BMWP preciso, generalmente se requiere la identificación a nivel de familia.

Tabla BMWP: Utilizar una tabla que asocia cada familia de macroinvertebrados con un valor de puntuación basado en su sensibilidad a la concentración de contaminantes. Por ejemplo, familias muy sensibles a la contaminación tienen puntuaciones altas (Ephemeropteros, Plecoptera), mientras que familias más tolerantes tienen puntuaciones más bajas (Dipteros, Nemátodos).

Asignación de Puntuaciones: Puntuación por familia, asignar la puntuación correspondiente a cada familia identificada utilizando la tabla BMWP.

Suma de Puntuaciones: Se realiza la sumatoria de las puntuaciones de todas las familias presentes en la muestra para obtener el valor total del BMWP.

Cálculo del BMWP: La puntuación total del BMWP resulta de la suma de las puntuaciones individuales que cada familia presente en la muestra.

Interpretación de Resultados: Utiliza las siguientes categorías para interpretar el valor del índice BMWP:

Tabla 4

Clases de calidad del agua y valores de referencia, según BMWP/Col

Valor	Calidad del agua
>150	Clase I – Excelente
101-149	Clase II - Bueno
61-100	Clase III - Aceptable
36-60	Clase IV - Dudoso

16-35	Clase V –Crítico
<15	Clase VI - Muy crítico

Fuente: (Roldán-Pérez, 2016)

Para cada investigación, en el punto de muestreo (P4), se identifica las siguientes familias de macroinvertebrados con sus correspondientes puntuaciones BMWP:

Epheméridae (Efemerópteros): 10

Baetidae (Efemerópteros): 7

Gammaridae (Anfípodos): 6

Chironomidae (Dipteros): 2

La puntuación total del BMWP sería: $10+7+6+2=25$ $10 + 7 + 6 + 2 = 25$

Esto indicaría que el agua tiene una calidad baja según la clasificación BMWP.

Consideraciones Adicionales: Temporalidad: Se realizan muestreos en diferentes estaciones del año para tener un análisis completo.

Para evaluar la calidad ecológica del agua se utiliza el índice BMWP/Col (Carrera Reyes & Fierro Peralbo, 2011), en base de la riqueza y abundancia de individuos de las especies en cada sitio de muestreo, y se basó en un puntaje de tolerancia asignado al macroinvertebrado. Esta puntuación osciló entre 1 y 10 (puntuaciones de baja tolerancia y puntuaciones de alta sensibilidad). Posteriormente, el puntaje total del BMWP/Col, de cada sitio de muestreo se encontró sumando los puntajes de todas las familias que habitan cada sitio de muestreo. Según Roldán-Pérez (2016), la calidad ecológica del agua se fijó según el valor BMWP/col (Tabla 5).

Tabla 5

Clases de calidad del agua, valores BMWP/Col

Clase	Calidad	BMWP/Col	Significado	Color
I	Buena	>150 101-120	Aguas muy limpias a limpias	Azul
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Fuente: (Roldán-Pérez, 2016)

El Índice EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera)

Se trata de un método biológico también muy usado para evaluar la calidad del agua de ríos y arroyos basado en la riqueza y abundancia de tres órdenes específicos de insectos acuáticos: Efemerópteros (Ephemeroptera), Plecópteros (Plecoptera), y Tricópteros (Trichoptera). Macroinvertebrados que son sensibles a la contaminación y su presencia determina una buena calidad del agua. A continuación, se describen los pasos para obtener este índice:

Recolección de muestras: Selección de puntos de muestreo, identifica y selecciona los puntos de muestreo en los ríos investigados.

Métodos de muestreo: Utilizar una red de mano, una red surber, o un muestreador de fondo para recolectar macroinvertebrados del sustrato del río. Es necesario asegurarse que las muestras sean representativas de los diferentes microhábitats.

Identificación de macroinvertebrados: Clasificación, identificando los macroinvertebrados a nivel de orden, específicamente buscando individuos macroinvertebrados a las órdenes Ephemeroptera, Plecoptera, y Trichoptera.

Conteo: Se cuenta el número de macroinvertebrados de cada uno de estos órdenes en la muestra.

Cálculo del Índice EPT: Abundancia Relativa (opcional). Se puede calcular la abundancia relativa de cada orden (número de macroinvertebrados de cada orden dividido por el número total de individuos en la muestra).

Riqueza de EPT: Resulta de la suma el número total de familias/géneros que forman parte de las órdenes Ephemeroptera, Plecoptera, y Trichoptera, presentes en los puntos de muestreo.

Interpretación de Resultados: Alta Riqueza EPT, indica buena calidad del agua ya que estos insectos son sensibles a la contaminación. Baja Riqueza de EPT, indica posible contaminación o degradación de la calidad del agua.

Un ejemplo de la investigación: Una muestra de un punto del río se identifican los siguientes individuos:

Ephemeroptera: 30 individuos

Plecoptera: 10 individuos

Trichoptera: 15 individuos

El índice EPT será la suma de estos individuos:

$$\text{Índice EPT} = 30 (\text{Ephemeroptera}) + 10 (\text{Plecoptera}) + 15 (\text{Trichoptera}) = 55$$

Consideraciones Adicionales: para el cálculo de la variabilidad temporal, se realizan muestreos en las diversas estaciones del año, lo que permitiría un análisis completo. Variabilidad Espacial, asegurarse de muestrear en diferentes microhábitats dentro del río para una evaluación representativa.

Se determinó el valor del índice dividiendo el número de EPT presentes en cada punto de muestreo entre la abundancia total de organismos encontrados, y luego multiplicando por 100 para obtener el resultado en porcentaje, según se muestra en la ecuación (1). Este valor se comparó posteriormente con una tabla de calificaciones de calidad de agua (ver Tabla 7), que clasifica la calidad del agua desde “muy buena” hasta “mala” (Tito et al., 2022).

$$\text{EPT} = (\text{nEPT}/\text{n}) * 100 \quad (1)$$

La Tabla 6, indica la escala de valoración cuantitativa y cualitativa, en base a la puntuación lograra para cada especie de EPT identificadas en los cinco puntos de muestreo del rio evaluado.

Tabla 6

Evaluación de la calidad del agua, según el método EPT

Clase	Índice EPT (%)	Calidad del agua	Color
I	75 - 100	Muy buena	Blue
II	50 - 74	Buena	Green
III	25 - 49	Aceptable	Yellow
IV	< 25	Mala	Red

Fuente: (Roldán-Pérez, 2016)

3.6. Consideraciones éticas

La investigación se llevó a cabo siguiendo los principios éticos que guían la práctica de los estudios, de acuerdo con las directrices de la Declaración de Helsinki (Asociación Médica Mundial, 2017). Se aseguró el anonimato de los datos recopilados, y la información fue almacenada conforme a principios que garantizan su uso exclusivo para fines de investigación.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

Parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y presencia de macro invertebrados en la cuenca de los ríos del cantón Cañar del estudio mediante estadística descriptiva.

4. 1. Análisis descriptivo de las variables fisicoquímicas y microbiológicas.

Las muestras recolectadas en dos ríos y en cinco sitios diferentes, desde su nacimiento, pasando por la zona urbano de la ciudad y hasta la desembocadura en el río Cañar, durante las estaciones de invierno (época lluviosa, 3: marzo, 4: abril y 4: mayo) y verano (época seca, 8: agosto, 9: septiembre y 10: octubre), en los años 2019-2021, resumidos en la Tabla 1a y 1b (Anexo 1). Los resultados analíticos de los puntos de muestreos se detallan en la Tabla 7 y 8. Medidas de tendencia central y variabilidad de cada indicador fueron obtenidos para entender mejor las características del agua y del medio ambiente de los ríos Pucuhuayco y Zham-Zham.

Tabla 7

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río Pucuhuayco

Indicadores	Mínimo	Máximo	1er Cuartil	Mediana (Q2)	Media	3er Cuartil (Q3)	Dev. Est
Caudal (L/s)	120,0	1760,0	195,0	575,0	611,7	857,5	433,0
Temp_Amb (°C)	7,9	18,9	10,2	11,9	12,7	14,9	3,2
Temp_agua (°C)	5,7	10,2	7,7	9,1	8,6	9,7	1,4
Turbidez (NTU)	0,68	54,34	2195,00	6770,00	14728,00	19058,00	16,35
pH	4,1	7,9	5,6	7,0	6,5	7,2	1,1
Alcalinidad (mg/l)	20,12	744,00	52,00	77,50	178,16	119,50	232,66
Conductibilidad (µS cm-1)	41,90	743,70	103,90	173,00	282,90	504,00	220,74
Salinidad (mg/l)	0,00	0,40	0,00	0,10	0,15	0,28	0,14
PO4- (mg/L)	0,38	4,01	0,42	0,87	1,42	2,20	1,23
NH4 (mg/L)	0,01	1,91	0,03	0,08	0,33	0,18	0,53
NO3- (mg/L)	0,10	14,23	2,09	3,00	6,63	13,63	5,96
NO2- (mg/L)	0,01	1,79	0,22	0,90	0,85	13,63	0,65
K+1 (mg/L)	0,32	2,74	0,85	1,03	1,18	1,69	897,67
Oxígeno disuelto (mg/L)	1,20	10,52	3,53	6,15	6,34	9,25	3,12
DBO5 (mg/L)	0,66	11,19	1,89	3,78	5,05	8,09	3,90
DQO (mg/L)	23,00	618,00	173,20	332,00	292,40	407,20	169,48

Cl- (mg/L)	1,40	56,70	2,57	7,78	22,23	44,50	23,04
DurezaT (mg/L)	25,2	184,0	35,3	59,1	78,3	96,2	54,0
SólidosT (mg/L)	57,0	351,0	113,2	191,0	189,5	216,8	96,9
ColiF (UFC/100ml)	7	59600	193	928	9127	7623	17126
ColiT (UFC/100ml)	9	72712	224	1126	10987	8766	20918

Tabla 8

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río Zham-Zham

Indicadores	Mínimo	Máximo	1er Cuartil	Mediana (Q2)	Media	3er Cuartil (Q3)	Dev. Est
Caudal (L/s)	170,00	910,00	492,50	605,00	596,70	807,50	221,57
Temp_Amb (°C)	7,10	17,90	9,90	12,40	12,07	13,90	3,09
Temp_agua (°C)	6,00	11,90	7,28	8,75	8,73	9,98	1,64
Turbidez (NTU)	0,18	53,34	1,64	6,27	13,70	18,56	15,55
pH	4,2	7,7	5,0	6,8	6,2	7,1	1,2
Alcalinidad (mg/l)	22,00	789,00	52,25	77,50	183,53	120,50	243,18
Conductibilidad (µS cm-1)	38,90	743,70	100,20	172,50	279,20	496,80	220,65
Salinidad (mg/l)	0,00	0,40	0,00	0,10	0,14	0,28	0,15
PO4- (mg/L)	0,20	4,02	0,42	1,07	1,71	3,06	1,42
NH4 (mg/L)	0,01	1,81	0,04	0,09	0,35	0,45	0,52
NO3- (mg/L)	0,20	16,61	2,17	3,31	7,19	14,11	6,58
NO2- (mg/L)	0,02	2,15	0,24	1,00	1,02	1,86	0,79
K+1 (mg/L)	0,49	2,94	1,05	1,53	1,60	2,04	0,72
Oxígeno disuelto (mg/L)	1,70	10,80	4,40	7,60	6,82	9,35	2,87
DBO5 (mg/L)	0,87	12,39	1,97	4,67	5,94	10,01	4,51
DQO (mg/L)	54,00	917,00	186,20	363,00	364,20	441,00	248,55
Cl- (mg/L)	1,70	61,20	2,30	9,10	26,02	56,20	26,74
DurezaT (mg/L)	27,60	201,00	38,70	61,35	88,08	104,67	58,23
SólidosT (mg/L)	64,00	412,00	113,50	212,00	209,30	246,00	107,06
ColiF (UFC/100ml)	8,00	17045,00	63,25	280,50	2612,93	2194,75	4.895,47
ColiT (UFC/100ml)	10,00	19514,00	77,75	335,00	3138,77	2495,50	5.914,27

La variación del caudal en el tramo de análisis del río Pucuhuayco sugiere fluctuaciones significativas en el flujo de agua, posiblemente debido a cambios característicos de cada punto de muestreo o a eventos de lluvia (media = 611,7 L/s, desviación estándar = 433,0 L/s). Los valores mínimos, máximo, el 3er. cuartil, y una mediana de 605,00 L/s, indican que la mayoría de los valores de caudal (75%) están por debajo de 807,50 L/s. Analizando la relación entre el tercer cuartil y el valor máximo, se sugiere la presencia de algunos valores de caudal extremadamente altos.

En el caso del río Zham-Zham, el rango de los valores del caudal es amplio, indicando una variabilidad considerable en los datos (170,00 L/s a 910,00 L/s). La distribución de datos en los puntos de muestreo es ligeramente sesgada hacia valores más bajos (media = 596,70 L/s y mediana = 605,00 L/s), con una variabilidad considerable (desviación estándar = 221,57 L/s).

En cuanto a la temperatura del agua y la ambiental del río Pucuhuayco, ambas temperaturas tienen rangos y medidas similares. La temperatura del ambiente tiene una media de 12,7 °C y alcanza una desviación estándar de 3,2 °C, lo que indica que la data está concentrada alrededor de la media. Por otra parte, la temperatura del agua al momento del muestreo indica una variabilidad moderada en los diferentes momentos y en la diferencia de altura de los puntos de muestreo (media = 6,8 °C, desviación estándar = 1.4 °C). La distribución de la temperatura del agua parece estar sesgada hacia valores muy bajos, pues la mayoría de las temperaturas del agua están por debajo de 10.2 °C, con una mediana de 8.6 °C; entonces, lo que podría afectar la solubilidad del oxígeno en el agua y con ello la vida acuática.

El río Zham-Zham, las temperaturas ambientes varían entre 7,10 °C y 17,90 °C., y la temperatura del agua es aún más fría. La media está muy cerca de la mediana, lo que indica una distribución bastante simétrica y la distribución estándar indica una variabilidad moderada en los datos, en ambos casos.

La variación de la turbidez (mediana = 14728,00 NTU, desviación estándar = 16,35 NTU) en el río Pucuhuayco, indica diferentes niveles de partículas suspendidas y presencia significativa de sedimentos en el agua, lo que podría afectar la calidad del agua y la vida acuática local. El 75% de las medidas de turbidez están por debajo de 20,0 NTU, con una mediana de 10.0 NTU. Presenta valores dispersos (desviación estándar = 16,35 NTU) y picos de turbidez no solo en épocas de incremento de caudal en época de lluvia sino posiblemente debido a eventos de constante contaminación.

La turbidez en el río Zham-Zham varía bastante entre los puntos de muestreo, lo que se corrobora con el valor de la desviación estándar, la mediana y la media, indicando una gran variabilidad y una distribución sesgada hacia valores más altos.

El pH en el río Pucuhuayco varía desde bastante ácido (4,1) hasta casi neutro (7,9). Con una media = 6,5, el pH está por debajo de la mediana (6,481), lo que sugiere una ligera inclinación hacia valores más ácidos. El 25% de los datos tienen un pH por debajo de 5,588, el 50% por debajo de 7,045; a pesar de que la mediana cercana a 7 indica que el mayor porcentaje de las muestras tienen un pH neutro a ligeramente ácido (distribución estándar = 1,1). Sin embargo, la dispersión de los datos (rango) es moderada, desde 4,090 hasta 7,970, lo que sugiere que, aunque la mayoría de las muestras tienen un pH cercano a neutro, hay algunas muestras altamente ácidas, conforme se avanza el recorrido de cada punto de muestreo (P3, P4 y P5), y el clima va de lluvioso a seco. Las muestras con un pH mínimo de 4,1 pueden ser altamente ácidas, lo cual puede ser perjudicial para la vida y puede indicar la presencia de contaminación industrial o lluvia ácida. En el caso del río Zham-Zham, una desviación estándar = 1,2 indica moderada variabilidad en los valores de pH, que difieren de un rango de ligeramente ácido hasta neutro, que se puede observar con una distribución relativamente simétrica de media y mediana cercanas.

La alcalinidad en los ríos indica la capacidad para neutralizar ácidos en las aguas. Los datos muestran una amplia dispersión (alta desviación estándar, 232,7 mg/L), con valores medianos y medios relativamente altos. En el río Pucuhuayco, la alcalinidad se encuentra entre 20,12 y 744,00 mg/L, la media (178,16 mg/L) es significativamente mayor que la mediana (77,50 mg/L), lo que sugiere que hay valores extremadamente altos que están afectando la media. En relación a los cuartiles, la mayoría de los valores de alcalinidad están por debajo de 119,50 mg/L, con una dispersión considerable hasta el máximo valor obtenido en el análisis. La alcalinidad en el río Zham-Zham en cuanto a su variabilidad (desviación estándar=243,18 mg/l) se refleja en la amplitud del valor de cada punto de muestreo (P1, P5), con los datos de la media (183,53 mg/l) y la mediana (77,50 mg/l), se reflejan una distribución sesgada hacia valores más altos.

En cuanto a la conductibilidad, que es la capacidad para conducir corriente eléctrica, está determinada por la concentración de iones de sales minerales y otro. En el río Pucuhuayco, los datos evanecían una dispersión moderada con valores de la mediana y mediana relativamente altos. Valores bajos (41,9 mg/L) indican una baja concentración, común en aguas limpias o de origen natural. Valores altos (743,7 mg/L) pueden indicar una alta concentración de determinadas sales y sustancias en disolución, debido a la presencia de aguas residuales, efluentes agrícolas e industriales. En las zonas bajas del perímetro urbano

de la ciudad de Cañar, datos alto que elevan el valor de la media. Los valores encontrados en el río Zham-Zham, presentan considerable diferencia (desviación estándar = 220,65 $\mu\text{S cm}^{-1}$), especialmente en los puntos de muestreo (P3 a P5), que delimitan el caudal de los ríos en la zona urbana de la ciudad. Presenta también una distribución sesgada positiva, evidenciada por valores como la media, la mediana, los valores mínimos y máximo de conductibilidad.

Por su parte, la salinidad indica las sales disueltas concentradas en el agua (especialmente el NaCl). En el río Pucuhuayco, la data muestra una baja dispersión con valores cercanos al cero, la media y la mediana presentan también valores bajos, indicando que en general, el agua presenta baja salinidad como en agua no contaminadas. Sin embargo, valores más altos (0,40 mg/L) indican vertidos de agua salada o contaminación por actividades humanas, desde el punto de muestreo P3, aguas abajo. En el río Zham-Zham, los valores de desviación estándar = 0,14 mg/l y mediana = 0,10 mg/l son relativamente cercanos y bajos, indicando una distribución ligeramente sesgada a valores más altos, con variabilidad en la salinidad, conforme avanza el cauce del río.

El fosfato es esencial para la vida acuática, sin embargo, su exceso causa eutrofización producida por algas y el déficit de oxígeno en el agua. En el cauce del río Pucuhuayco, los niveles de fosfato varían moderadamente de 0,38 a 4,01 mg/L (desviación estándar = 0.10 mg/L), la media es mayor que la mediana lo que sugiere distribución sesgada a valores más altos, indicando posible diferencia por contaminación con fertilizantes. A diferencia del río Pucuhuayco, el río Zham-Zham indica una variación de los datos de fosfatos (desviación estándar = 1,42 mg/L), desde 0,20 mg/L a 4,02 mg/L, con una media ligeramente mayor que la mediana, produciendo un sesgamiento hacia valores más altos en la distribución. Lo que indica un notable incremento en la concentración de fosfatos a medida que va bajando el cauce del río y atraviesa la zona urbana de la ciudad.

El amonio es un indicador muy utilizado en la evaluación de la contaminación del agua, su presencia es tóxica para el medio ambiente acuático. En el río Pucuhuayco, los datos muestran una dispersión moderada, con valores de la mediana y media relativamente bajos, pero con distribución sesgada ascendente, lo cual sugiere que hay algunas muestras con concentraciones de amonio significativamente altas, aunque el 75% de los valores están por debajo de 0,18 mg/L. Niveles altos de amonio pueden indicar contaminación por materia

orgánica, como residuos animales o aguas residuales. En el río Zham-Zham, los valores de amonio varían desde 0,01 mg/L hasta 1,81 mg/L, con sesgamiento a valores más altos, con moderada a alta variabilidad (desviación estándar = 0,52 mg/L).

Los nitritos y nitratos son nutrientes esenciales para las plantas, sin embargo, su exceso puede producir eutrofización. En el río Pucuhuayco, los valores se diferencian significativamente en el cauce del río (desviación estándar = 6,58 mg/L), cuya distribución se sesga ascendentemente de forma considerable, al ser la media mayor que la mediana por la identificación de valores altos en cada punto de muestreo P3, P4 y P5. Similares resultados se encontraron en el río Zham-Zham, pues también se observan una gran variabilidad en los datos (desviación estándar = 6,58 mg/L), con una influencia más significativa en los puntos de muestreo P3 y P4. En ambos casos, los valores del cuartil Q1 y la mediana indica como baja a moderada contaminación por nitratos, lo que podría ser ocasionado por la actividad agropecuaria.

Los nitritos en ambos ríos, mientras menor sea su concentración la mediana es ligeramente mayor que la media, indicando una distribución bastante equilibrada, desde un mínimo de 0,01 mg/L hasta un máximo de 1,79 mg/L, con una media de 0,85 mg/L. Los datos con un valor bajo son propios de aguas naturales con baja contaminación, no así los valores altos indicando contaminación por el vertido de agua residual.

En el río Pucuhuayco, la concentración de potasio varía desde un mínimo de 0,32 mg/L hasta un máximo de 2,74 mg/L, con una media de 1,18 mg/L. En el río Zham-Zham, los valores de potasio varía entre 0,49 mg/L y 2,94 mg/L. La media es un poco mayor que la mediana, sugiriendo la presencia de algunos valores más altos. Datos bajos de potasio sugieren una menor influencia de actividades humanas, mientras que los valores más altos pueden indicar la presencia de residuos de fertilizantes o industriales.

En cuanto al oxígeno disuelto, un indicador bajo puede deberse a una calidad baja del agua, debido probablemente a la contaminación orgánica o a la alta demanda biológica de oxígeno. En el río Pucuhuayco, los niveles de oxígeno disuelto van desde un mínimo de 1,20 mg/L hasta un máximo valor de 10,52 mg/L, con una media cercana a 6,34 mg/L. De forma similar, en el río Zham-Zham también se evidencia una considerable variación en la concentración del oxígeno disuelto (desviación estándar = 2,87 mg/L). En ambos ríos la media es

ligeramente inferior a la mediana, sugiriendo distribuciones sesgadas hacia valores más bajos en ambos ríos.

Los indicadores de DBO₅, datos bajos indican una baja carga orgánica y, por tanto, buena calidad del agua. Indicadores más altos sugieren una mayor carga orgánica, lo que puede ser problemático para la vida acuática debido a la reducción del oxígeno disponible. En el río Pucuhuayco este indicador varía desde un menor valor de 0,66 mg/L hasta un máximo valor de 11,19 mg/L, con una media de 5,05 mg/L. La media es mayor que la mediana, indicando la presencia de algunos valores más altos que elevan el promedio. De forma similar que el río anterior, en el río Zham-Zham la presencia de una considerable variación de los datos (desviación estándar = 4,51 mg/L), indicaría una distribución sesgada hacia valores más altos en los puntos terminales de muestreo.

La DQO indica la cantidad de material orgánico y otros compuestos reductores identificados en el agua. Valores altos indican una mayor contaminación orgánica y química. En los ríos Pucuhuayco y Zham-Zham, el indicador DQO varía considerablemente como una media (de 292,4 mg/L y 364,20 mg/L, respectivamente), un poco menor que la mediana, presentando una distribución con algunos valores altos al final del cauce de los ríos. La gran variabilidad en los datos es evidenciada por la alta desviación estándar en ambos ríos.

La presencia de cloruro residual en el agua de los ríos Pucuhuayco y Zham-Zham provienen de fuentes naturales o antropogénicas como microindustria o aguas residuales. En ambos ríos, una alta desviación estándar sugiere una considerable variabilidad en los datos, corroborado por los datos máximos y mínimos encontrados en los análisis. La media es considerablemente mayor que la mediana, sugiriendo un aumento de promedio por la identificación de valores muy altos.

En cuando a la dureza presente en el agua, está relacionada con la concentración de sales minerales como magnesio y calcio. En ambos ríos, los valores altos de la desviación estándar indican variabilidad en los datos que se sesgan hacia valores más altos que afectan a la media. Sólidos disueltos y en suspensión indican sólidos totales cuyos valores altos pueden afectar aumentando la turbidez y reduciendo la penetración de la luz afectando a la vida acuática. En el río Pucuhuayco, los valores de sólidos totales varían desde un valor mínimo de 57,0 mg/L hasta un valor máximo de 351,0 mg/L, con una media de 189,5 mg/L. La mediana de

191,0 mg/L indica que la mitad de los valores son menores a este nivel. La media es muy cercana a la mediana, sugiriendo una distribución equilibrada. En el río Zham-Zham, los valores encontrados indican variabilidad en los indicadores (desviación estándar = 107,06 mg/L), con una distribución relativamente simétrica.

Los coliformes fecales son indicadores de contaminación por materia fecal y pueden indicar la presencia de patógenos peligrosos. Valores altos son una señal de contaminación fecal reciente, posiblemente por aguas residuales. En el río Pucuhuayco, los valores de coliformes fecales es muy variable (mínimo = 7,0 UFC/100 ml hasta máximo de 59.600,0 UFC/100 ml). Al igual que en este río, en el Zham-Zham, la mediana de indica que la mitad de los valores son menores y la media es significativamente mayor que la mediana, sugiriendo la presencia de valores muy altos.

En cuanto a la presencia de coliformes totales incluye tanto coliformes fecales cuyos valores altos indican una amplia contaminación microbiológica y puede ser peligroso para la salud del hombre. En los dos ríos, los valores de coliformes totales varían desde un mínimo (9,0 UFC/100 ml y 10,00 UFC/100ml), hasta un máximo (72.712,0 UFC/100 ml a 19514,00 UFC/100ml), respetivamente. En ambos casos, la alta desviación estándar sugiere una considerable variabilidad en datos de cuanto a coliformes totales, especialmente en los último tres puntos de muestro del cauce de los dos ríos.

4. 1.2. Análisis descriptivo de los Macroinvertebrados bénticos

Este análisis puede ayudar a entender mejor la vida y la dinámica de las comunidades de macroinvertebrados y cómo responde a las variaciones estacionales en el punto de muestreo, como se observa en las Tablas 9 y 10.

Tabla 9

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río Pucuhuayco

Orden	Familia	Taxa	ÉPOCA LLUVIOSA					ÉPOCA SECA				
			Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae	Dacnabdella,	0	0	2	23	10	0	0	27	30	5
Haplovida	Tubificidae	Limnodrilus	0	0	2	7	3	0	0	8	113	98
	Tubificidae	Tubifex	0	0	0	4	6	0	0	76	58	34

Basommatophora	Lymnaeidae	Lymnae sp.	0	0	0	3	1	0	0	71	1030	44
	Planorbidae	Gyraulus sp.	0	0	1	12	5	0	0	9	45	17
Unionoida	Hyriidae	<i>Diplodon</i>	0	0	0	5	1	0	0	2	13	1
Gordioidea	Chordodidae	<i>Neochordodes</i>	1	0	0	0	0	1	0	15	0	0
Tricladia	Dugesidae	Dugesia	0	0	7	34	7	0	0	0	67	19
Acari	Trechaleidae	Trechalea	0	0	0	0	0	0	0	28	2	0
	Lymnessiidae	Lymnessia	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Decapoda	Trichodactylidae	<i>Valdivia</i>	1	4	0	0	0	1	14	0	0	0
Amphipoda	Hyaellidae	Hyaella sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Collembola	Isotomidae	Isotomurus	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Diptera	Chironomidae	Nilotanypus sp.	0	3	20	288	23	1	43	0	451	37
	Ceratopogonidae	Chinorominae sp.	39	11	5	0	0	23	5	314	0	0
	Culicidae	Culex sp.	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Empididae	Chelifera sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Hemerodromia sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Chaoboridae	Chaoborus	2	28	3	1	0	16	44	0	0	0
	Simuliidae	Simulium sp.	163	103	36	6	0	108	44	11	1	0
	Tabanidae	Tabanus sp.	0	2	0	0	0	0	1	5	0	0
	Tipulidae	Tipula sp.	8	6	1	0	0	4	3	0	0	0
		Molophilus sp.	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis sp.	1043	231	89	24	0	431	135	0	0	0
	Oligoneuriidae	Lachlania	81	42	0	0	0	40	22	101	0	0
		Tricorythodes sp.	88	56	6	2	2	17	5	0	1	1
	Leptohyphidae	Atopophlebia	36	26	25	2	1	23	23	1	1	1
Plecoptera	Perlidae	sp. 1	36	19	14	0	0	22	17	5	0	0
	Gripopterygidae	Claudioperla sp.	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0
Trichoptera	Calamoceratidae	Phylloicus, Banyallarga	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Hydropsychidae	Macronema sp.	62	74	10	2	0	109	69	0	0	0
	Hydrobiosidae	Atopsyche sp.	48	31	5	0	0	29	28	25	0	0
	Leptoceridae	Oecetis sp.	42	26	7	0	0	27	90	0	0	0
		Nectopsyche sp.	73	22	1	0	0	21	31	2	0	0
	Philopotamidae	Stephens sp.	21	11	1	0	0	21	7	0	0	0
Coleóptera	Elmidae	Cylloepus sp.	1	0	0	0	0	2	0	1	0	0
		Macrelmis sp.	40	25	0	0	0	6	1	0	0	0
		Thermonetus sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dytiscidae	Laccophilus	4	1	0	0	0	1	0	0	0	0
	Scirtidae	Elodes sp.	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Psephenidae	Psephenops sp.	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0
	Ptilodactylidae(Lv)	sp. 2	5	0	0	0	0	4	0	0	0	0
Megaloptera	Corydalidae	sp. 1	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0
Odonata	Aeshnidae	Aeshna sp.	5	7	0	0	0	13	6	0	0	0
	Libellulidae	Anatya sp.	0	1	2	0	0	2	5	0	0	0
		Peritemis sp.	0	0	0	0	0	1	2	3	0	0
Hemiptera	Corixidae	Centrocorisa sp.	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

	Veliidae	Microvelia sp.	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Lepidoptera	Crambidae	Petrophila sp.	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0

Note: "0" indica cero de fauna de macroinvertebrados filogenéticos.

Análisis de riqueza y abundancia en los puntos de muestreo

Punto 1: En época lluviosa, hay mayor abundancia de individuos, lo que sugiere condiciones más favorables para la reproducción o supervivencia de los organismos acuáticos. La abundancia total es significativamente notable en la época lluviosa (1813 individuos) en comparación con la época seca (933 individuos). Los que indica que, aunque hay más diversidad de grupos en la época seca, pues hay mayor cantidad de macroinvertebrados en la época lluviosa.

En cuanto a la riqueza de grupos es menor, indicando que ciertos grupos pueden estar más favorecidos por las condiciones húmedas. La riqueza es ligeramente mayor en la época seca (12 grupos, Diptera, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Coleóptera, Megaloptera, Odonata, Acari, Decapoda, Gordioidea, Hemiptera, Lepidoptera), en comparación con la época lluviosa (10 grupos, Hemiptera, Lepidoptera). Esto sugiere que en el tiempo de la época seca hay mayor diversidad de especies o grupos taxonómicos.

Punto 2: En época lluviosa, hay mayor abundancia de individuos, como en el punto de muestre 1, posiblemente por mejores condiciones para la reproducción o supervivencia (736 individuos en época lluviosa y 598 individuos en época seca). En cuanto a la abundancia, en época lluviosa se presentan 8 grupos (Coleóptera, Decapoda, Diptera, Ephemeroptera, Megaloptera, Odonata, Plecoptera y Trichoptera) y 9 grupos en poco seca (Coleóptera, Decapoda, Ephemeroptera, Diptera, Lepidoptera, Hemiptera, Odonata, Plecoptera y Trichoptera).

Punto3: Desde este punto de muestreo, la abundancia en época lluviosa desciende a 238 individuos, mientras que, en época seca, la abundancia incrementa a 688 individuos. En el caso de la riqueza, en época lluviosa se detectan 10 grupos, entre los que se distinguen individuos de las órdenes Basommatophora, Collembola, Diptera, Glossiphoniiformes, Haploxida, Odonata, Plecoptera, Tricladia; y en menor cantidad Trichoptera, Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera. En la época seca, se distinguen individuos de las órdenes: Basommatophora, Diptera, Ephemeroptera, Glossiphoniiformes, Haploxida,

Odonata, Lepidóptera, Plecoptera, Tricladia; y en menor cantidad, Plecoptera, Trichoptera y ya hay presencia de gusanos Unionoida.

Punto 4: En época lluviosa, la abundancia, sufre un crecimiento moderado en relación al punto de muestreo 3 (con 423 individuos), sin embargo, en época seca el número de individuos incrementa en gran cantidad, especialmente ácaros y gusanos (1812 individuos). En cuanto a la riqueza, si bien el número de grupos es igual en ambas épocas, 9 grupos (Basommatophora, Diptera, Ephemeroptera, Glossiphoniiformes, Haploxida, Trichoptera, Tricladia y Unionoida); en época seca aparecen los Acari, permanecen los Basommatophora, Diptera, Ephemeroptera, Glossiphoniiformes, Haploxida, Tricladia e incrementa la cantidad de individuos del orden Unionoida.

Punto 5: En el último punto de muestreo de este río, la abundancia en época lluviosa y seca disminuye drásticamente (59 y 257 individuos en época lluviosa y seca, respectivamente), y en cuanto a la riqueza es similar en ambas épocas, manteniéndose las ordenes de Basommatophora, Diptera, Ephemeroptera, Glossiphoniiformes y gusanos de la orden de Unionoida, se presentan en mayor cantidad.

Tabla 10

Presencia y abundancia de macroinvertebrados en el Río Zham-Zham

Orden	Familia	Taxa	ÉPOCA LLUVIOSA					ÉPOCA SECA				
			Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae	Dacnobia	0	0	0	9	6	0	0	27	32	33
Haploxida	Tubificidae	Limnodrilus	0	0	0	8	4	0	0	2	66	64
	Tubificidae	Tubifex	0	0	0	5	7	0	0	20	37	55
Basommatophora	Lymnaeidae	Lymnae sp.	0	0	1	2	12	0	0	35	58	102
	Planorbidae	Gyraulus sp.	0	0	1	9	8	0	0	9	48	34
Unionoida	Hyriidae	<i>Diplodon</i>	0	0	0	3	1	0	0	2	4	2
Gordioidea	Chordodidae	<i>Neochordodes</i>	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0
Tricladia	Dugesidae	Dugesia	0	0	0	4	8	0	0	0	22	67
Acari	Trechaleidae	Trechalea	1	0	0	0	0	1	0	23	0	0
	Lymnessiidae	Lymnessia	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Decapoda	Trichodactylidae	<i>Valdivia</i>	0	0	2	0	0	0	1	2	0	0
Amphipoda	Hyalellidae	Hyalella sp.	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Collembola	Isotomidae	Isotomurus	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Diptera	Chironomidae	Nilotanypus sp.	0	3	11	37	35	1	28	0	35	20
	Ceratopogonidae	sp.	10	24	8	0	0	26	7	72	0	0

	Culicidae	Culex sp.	1	0	2	0	0	1	2	3	0	0
	Empididae	Chelifera sp. Hemerodromia sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Chaoboridae	Chaoborus	1	5	2	0	0	6	3	0	0	0
	Simuliidae	Simullium sp.	163	98	66	1	0	108	78	5	0	0
	Tabanidae	Tabanus sp.	0	1	0	0	0	1	0	22	0	0
	Tipulidae	Tipula sp.	11	4	1	0	0	5	3	0	0	0
		Molophilus sp.	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis sp.	724	259	91	24	0	355	134	0	0	0
	Oligoneuriidae	Lachlania Tricorythodes sp.	80	63	14	1	0	54	34	97	0	0
	Leptohyphidae		88	56	6	2	1	17	5	9	1	1
	Leptophlebiidae	Atopophlebia	157	211	27	2	1	124	99	1	1	1
Plecoptera	Perlidae	sp. 1 Claudioperla sp.	110	32	16	0	0	84	24	5	0	0
	Gripopterygidae		2	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Trichoptera	Calamoceratidae	Phylloicus, Banyallarga	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Hydropsychidae	Macronema sp.	107	44	11	0	0	63	26	0	0	0
	Hydrobiosidae	Atopsyche sp.	57	33	7	0	0	34	32	0	0	0
	Leptoceridae	Oecetis sp. Nectopsyche sp.	47	17	8	0	0	183	20	0	0	0
			64	22	2	0	0	109	18	1	0	0
	Philopotamidae	Stephens sp.	44	24	0	0	0	44	6	0	0	0
Coleóptera	Elmidae	Cylloepus sp.	1	0	0	0	0	3	5	0	0	0
		Macrelmis sp. Thermonetus sp.	38	69	8	0	0	22	38	1	0	0
	Dytiscidae		5	17	0	0	0	1	19	1	0	0
		Laccophilus	6	3	0	0	0	2	0	0	0	0
	Scirtidae	Elodes sp.	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Psephenidae	Psephenops sp.	9	1	0	0	0	4	2	0	0	0
	Ptilodactylidae(Lv)	sp. 2	46	49	0	0	0	26	20	0	0	0
Megaloptera	Corydalidae	sp, 1	3	8	2	0	0	1	0	0	0	0
Odonata	Aeshnidae	Aeshna sp.	5	7	0	0	0	14	4	0	0	0
	Libellulidae	Anatya sp.	2	2	2	0	0	2	3	0	0	0
		Peritemis sp. Centrocorisa sp.	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0
Hemiptera	Corixidae		0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
	Veliidae	Microvelia sp.	0	0	1	0	0	2	2	0	0	0
Lepidptera	Crambidae	Petrophila sp.	0	11	34	0	0	2	3	1	0	0

Note: "0" indica cero de fauna de macroinvertebrados filogenéticos.

Punto 1: La abundancia en época lluviosa llega a los 1785 individuos y en época baja a los 1300 individuos. En cuanto a la riqueza, en época lluviosa se presentan 9 grupo de individuos (Acari, Amphipoda, Coleóptera, Diptera, Megaloptera, Odonata) y las ordenes típicas de las aguas no contaminadas, Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera. En época seca, hay presencia de 10 grupos de individuos (Acari, colectora, Diptera, Hemiptera, Lepidptera Megaloptera, Odonata) y las ordenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera.

Punto2: En época de lluvia, la abundancia en llega a los 1064 individuos y en época baja a los 621 individuos. En la época lluviosa la riqueza presente es de 8 grupos (Trichoptera, Plecoptera, Odonata, Megaloptera, Lepidptera, Ephemeroptera, Diptera y Coleóptera), en época seca se detectan 9 grupos de macroinvertebrados (Trichoptera, Plecoptera, Odonata, Lepidptera, Hemiptera Ephemeroptera, Diptera, Decapoda y Coleóptera)

Punto 3: En época de lluvia, la abundancia baja a los 324 individuos y en época seca sube levemente a los 360 individuos. En la época lluviosa la riqueza presente es de 11 grupos (Basommatophora, Collembola, Decapoda, Diptera, Hemiptera Ephemeroptera, Lepidptera, Megaloptera, Odonata, Plecoptera y Trichoptera), en época seca se detectan 9 grupos de macroinvertebrados (Basommatophora, Decapoda , Ephemeroptera, Glossiphoniiformes, Haploxida, Hemiptera, Lepidptera, Trichoptera, Tricladia y Unionoida)

Punto 4: En época de lluvia, la abundancia baja a los 107 individuos y en época seca sube a los 306 individuos. En la época lluviosa la riqueza es de 7 grupos (Basommatophora, Diptera, Ephemeroptera, Glossiphoniiformes, Haploxida, Trichoptera y Unionoida), en época seca se detectan 8 grupos de macroinvertebrados (Acari , Basommatophora, Diptera, Ephemeroptera, Gordioidea, Haploxida, Tricladia y Unionoida)

Punto 5: En época de lluvia, la abundancia baja más aún a los 83 individuos y en época seca sube a los 379 individuos. En cuanto a la época lluviosa y seca la riqueza es similar, está compuesta por 7 grupos (Basommatophora, Diptera, Ephemeroptera, Glossiphoniiformes, Haploxida, Trichoptera y Unionoida)

4.2. Relaciones entre parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y presencia de macro invertebrados en la cuenca de los ríos del cantón Cañar, mediante técnicas estadísticas de reducción de dimensionalidad.

Para identificar la relación entre las variables fisicoquímicas y microbiológicas y la presencia de macroinvertebrados en las aguas de los ríos estudiados, se emplearon técnicas de estadística multivariada, como el Análisis de Componentes Principales (ACP) y el Análisis de Correspondencia Canónica (ACC). El Biplot de variables generado como resultados del análisis en los datos de cada río, muestra cómo las variables originales se proyectan en el

espacio de los componentes principales. Esto ayudan a entender qué variables contribuyen más a cada componente principal. Los métodos de correlación de Pearson (γ) y de Spearman (ρ) ayudaron en el entendimiento de estas correlaciones (Hauke & Kossowski, 2011), pues son técnicas bivariadas utilizadas en análisis multivariados para explicar diferentes fenómenos en el campo de la biología vegetal y animal (Restrepo & González, 2007).

Análisis de Componentes Principales (ACP)

Río Pucuhuayco

El Biplot resultante del ACP se presenta en la Figura 4, relaciona los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río tanto en época lluviosa como seca. Para efectos del análisis, a cada punto de muestreo se le ha codificado, considerando el nombre del río, el punto de muestreo, la época de lluvia o sequía y el número del mes correspondiente al que se tomaron las muestras (por ejemplo, PP2EL3; P = río Pucuhuayco, P = Punto de muestreo 2, RL = Época Lluviosa y 3 = mes de marzo).

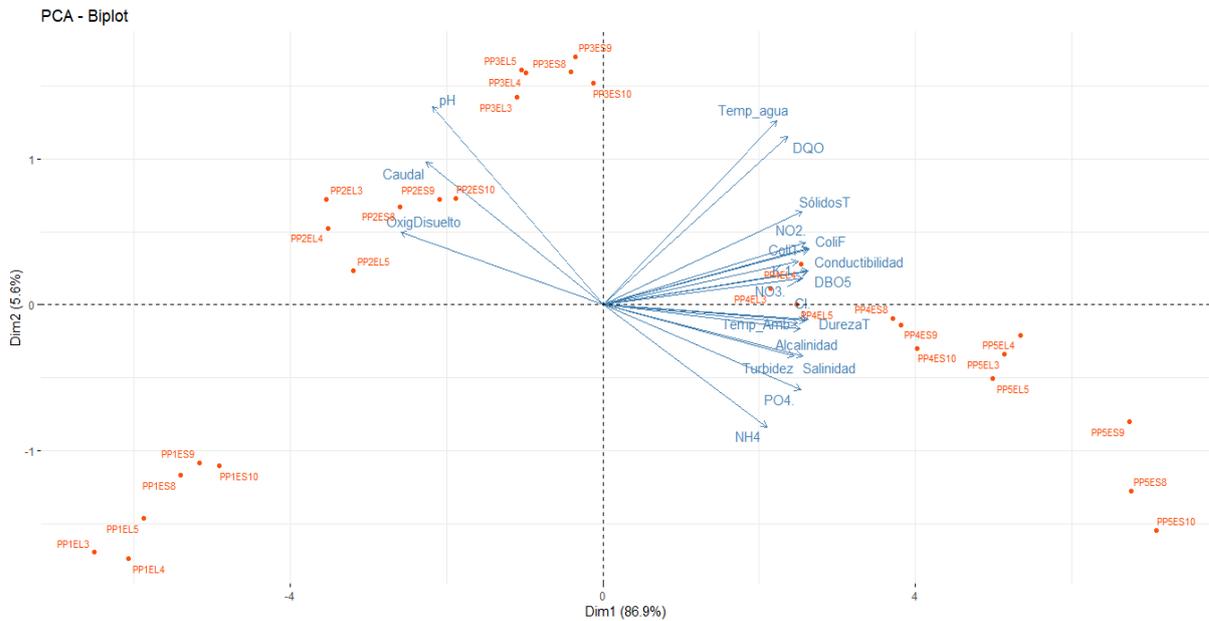
En cuanto a la variabilidad, la dimensión Dim1 explica el 86.9% del total de los datos, lo que sugiere que la mayoría de la información contenida en los datos originales puede ser representada a lo largo de este eje. La dimensión Dim2 explica el 5,6%, y juntas, el 92,5% de la varianza total.

La dimensión Dim2, aunque es menor comparada con Dim1, aún aporta información significativa, capturando relaciones que no son evidentes en Dim1. En relación a la carga de las variables, aquellas que se alinean más estrechamente con este eje son las que más contribuyen a la varianza explicada por la dimensión Dim1.

Se observa que DQO, Temperatura del agua, Sólidos Totales, Nitratos (NO_3^-), Conductividad tienen vectores largos apuntando en la misma dirección, indicando una alta contribución a dimensión Dim1 y una fuerte correlación entre ellos (Anexo B). En la dimensión Dim2, la carga de variables, como caudal, pH y oxígeno disuelto tienen vectores más largos, indicando su importancia en la explicación de la variabilidad adicional que no es capturada por Dim1.

Figura 4

Visualización de las variables en el espacio de los Componentes Principales Río Pucuhuayco



Fuente: Biplot. Rstudio

Analizando los parámetros de las variables fisicoquímicas más sobresalientes, la Conductividad, Sólidos Totales, DQO, NO₃⁻, son parámetros que están fuertemente correlacionados positivamente, ya que sus vectores apuntan en la misma dirección (Anexo B). Esto sugiere que cuando uno de estos parámetros aumenta, los demás también tienden a aumentar. El vector del pH, está orientado en dirección opuesta a Conductividad ($\gamma = -0.7663564$ y $p = -0.622232$, correlación fuerte) y DQO ($\gamma = -0.516557$, correlación considerable y $p = -0.590408$, correlación fuerte), indicando una correlación negativa con estos parámetros. Es decir, a medida que la conductividad y DQO aumentan, el pH tiende a disminuir. El oxígeno disuelto y caudal ($\gamma = 0.8982009$ y $p = 0.8262079$, correlaciones fuertes), son parámetros que también están correlacionados positivamente entre sí, pero están posicionados en un cuadrante diferente al de conductividad y DQO, sugiriendo que las condiciones de oxígeno disuelto y caudal están asociadas con diferentes estados del agua en comparación con los otros parámetros mencionados.

Los parámetros microbiológicos como coliformes fecales (ColiF), también muestra una correlación positiva con conductividad ($\gamma = 0.9800343$ y $p = 0.9800867$) y DQO ($\gamma =$

0.93865447 y $p = 0.9941039$; correlación muy fuerte y correlación extremadamente fuerte, respectivamente), sugiriendo que niveles más altos de contaminación fecal pueden estar asociados con mayores valores de estos parámetros fisicoquímicos.

En cuanto a la distribución de las variables en el Biplot, en el cuadrante I (superior derecha), están fuertemente correlacionadas entre sí, lo que sugiere que pueden estar influenciadas por factores comunes. Estas variables parecen ser indicadores de la calidad del agua y su contenido químico, como la conductividad, sólidos totales, y varios iones (Ca, Mg, NO₂, NO₃, PO₄, NH₄). La presencia de coliformes, DBO₅, y DQO indica contaminación orgánica y microbiológica. La temperatura del agua y la temperatura ambiente están también fuertemente correlacionadas con estos factores, lo que puede ser indicativo de cómo las condiciones ambientales afectan la calidad del agua

En el cuadrante II (superior izquierdo), el pH, el caudal y el oxígeno disuelto son indicadores importantes de la salud del ecosistema acuático. El pH indica la alcalinidad o acidez del agua, lo cual es crucial para la vida acuática. El caudal es una medida del flujo de agua, que podría afectar la concentración de contaminantes y la disponibilidad de oxígeno. El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los organismos acuáticos y es un factor determinante para evaluar la calidad del agua. En el cuadrante III (Inferior izquierdo), la ausencia de variables en este cuadrante sugiere que los puntos de muestreo en esta área tienen poca o ninguna correlación medida con variables fisicoquímicas. Aquellos puntos de muestreo ubicados aquí pueden representar condiciones ambientales únicas o factores no considerados en el análisis actual. En el cuadrante IV (inferior derecho), los puntos de muestreo aquí sugieren sitios con características como temperatura ambiente moderada, dureza, alcalinidad, turbidez, salinidad, y presencia de nutrientes como fosfatos y amonio, responsables de la eutrofización.

En cuanto al agrupamiento de puntos, los puntos PP1EL3, PP1EL4, PP1EL5, éstos están muy cercanos entre sí en el cuadrante inferior izquierdo, indicando que las características de los parámetros medidos en estos puntos son muy similares durante la época lluviosa. Los puntos PP4ES9, PP4ES10, situados en el cuadrante inferior derecho, sugieren que estos sitios de muestreo tienen condiciones fisicoquímicas y microbiológicas similares, durante la época seca.

En relación a la dispersión, los puntos PP5ES9, PP5ES10, etc. se encuentran en la esquina inferior derecha del gráfico. Indica que hay una variabilidad significativa en los parámetros entre la época seca, situación que puede atribuirse a factores como la disminución del caudal y al aumento de la concentración de las variables que normalmente indican presencia de sustancias contaminantes (Roldán-Pérez, 2016). A lo ocurrido con los puntos de muestreo ubicados en la esquina inferior izquierda del gráfico, como por ejemplo el PP1 en época seca y de lluvia se ven indiferentes a la presencia de concentraciones elevadas de indicadores fisicoquímicos y microbiológicos.

En época lluviosa, los puntos de muestreo etiquetados como PP1EL3, PP1EL4, PP1EL5, PP2EL3, PP2EL4, están mayormente agrupados en la parte izquierda del gráfico. Esto indica que, durante la época lluviosa, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tienden a indicar características similares entre los distintos puntos de muestreo. Durante la temporada seca, los puntos de muestreo PP1ES8, PP1ES9, PP1ES10, PP2ES9, PP2ES10, están más dispersos, especialmente hacia la derecha del gráfico. Esto sugiere que hay una mayor variabilidad en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, al ser medidos durante esta época.

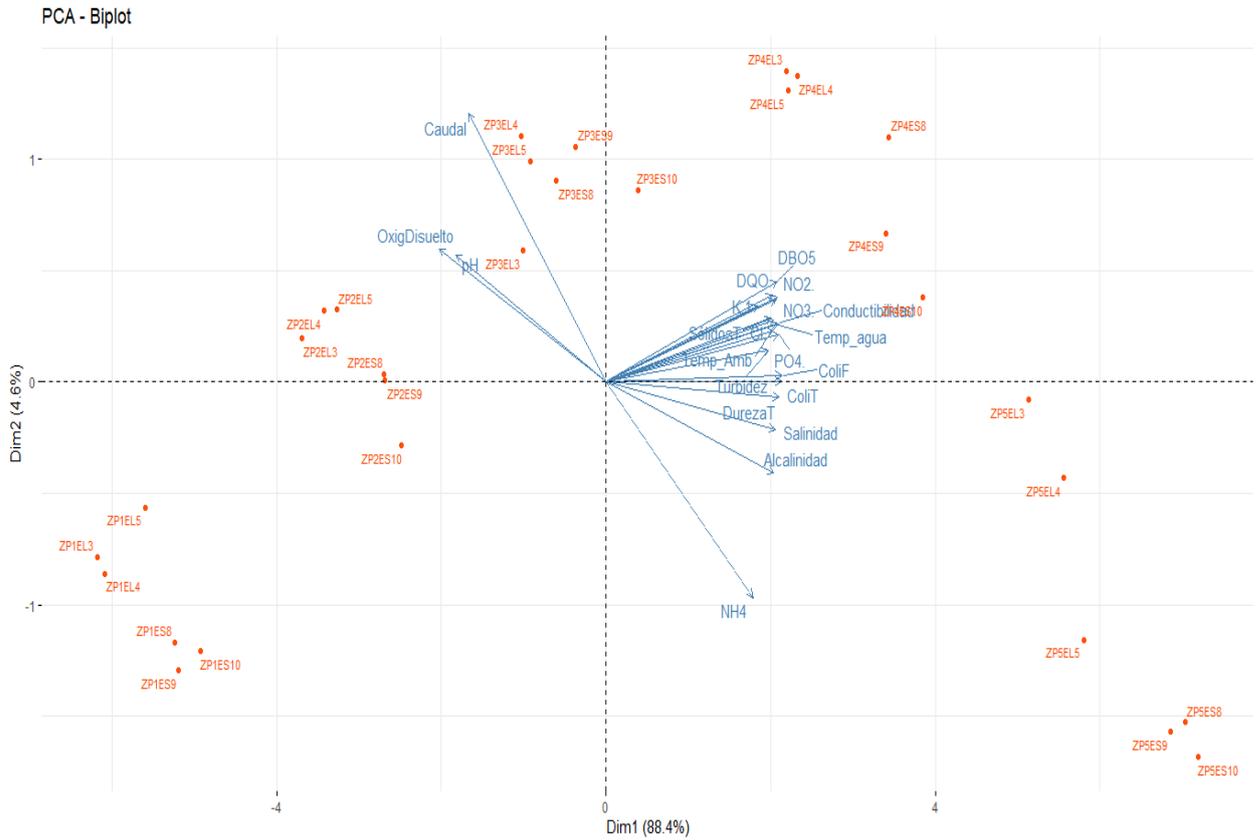
En resumen, el Biplot de ACP muestra cómo los puntos de muestreo y las variables fisicoquímicas se relacionan entre sí. Las variables en el cuadrante I están fuertemente correlacionadas y son indicadores clave de la calidad del agua, están relacionadas con la contaminación química y biológica, las variables en el cuadrante II son esenciales para la salud del ecosistema acuático, mientras que las variables en el cuadrante IV indican características fisicoquímicas específicas como dureza, alcalinidad y presencia de nutrientes. Los puntos de muestreo se organizan según estas características, lo que ofrece una visión detallada de las condiciones ambientales de los lugares de muestreo.

Río Zham-Zham

El Biplot resultante del ACP se presenta en la Figura 5, relaciona los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se agrupan y cómo se conectan con los distintos puntos de muestreo del río durante las temporadas de lluvias y sequía.

Figura 5

Visualización de las variables en el espacio de los Componentes Principales Río Zham-Zham.



Fuente: Biplot. Rstudio

Al analizar las componentes principales del gráfico, se evidencia que la componente Dim1 explica el 88.4% de la variabilidad total en los datos, lo que indica que la mayor parte de la variabilidad en los datos puede ser representada a lo largo de este eje. Se observa además que las variables que más contribuyen a esta dimensión son DQO, NO₃⁻, Conductividad, Sólidos Totales, ColiF (Coliformes fecales), Turbidez, DBO₅, PO₄⁻. Estas variables tienen vectores largos y apuntan en la misma dirección, sugiriendo una fuerte correlación positiva entre ellas (Anexo B).

La componente Dim2 explica un 4.6% adicional de la variabilidad total. Aunque es menor comparada con Dim1, aún aporta información significativa sobre la variabilidad en los datos. Un cuanto a la carga de variables, en esta dimensión, las variables, caudal y oxígeno disuelto tienen vectores más largos, indicando su importancia en la explicación de la variabilidad que

no es capturada por Dim1; y en conjunto terminan explicando el 93,0% de la variabilidad total de los datos.

En el análisis de variables, los parámetros fisicoquímicos como: conductividad, sólidos totales, DQO, NO₃⁻, coliformes fecales (ColiF), turbidez, DBO₅, PO₄⁻: están fuertemente correlacionados positivamente entre ellos (Anexo B). Esto indica que cuando uno de estos parámetros aumenta, los demás también tienden a aumentar. Este grupo de variables está orientado principalmente a lo largo de dimensión Dim1. En cuanto al vector que indica el avance del pH, se observa que está orientado en dirección opuesta a conductividad ($\gamma = -0.8011619$ y $p = -0.63234639$, ambas tienen correlación fuerte) y DQO ($\gamma = -0.6678183$ y $p = -0.64737958$; correlación considerable y fuerte, respectivamente), indicando una correlación negativa con estos parámetros.

A medida que la conductividad y DQO aumentan, el pH tiende a disminuir. Por su parte el oxígeno disuelto y caudal ($\gamma = 0.88737631$ y $p = -0.75863607$, correlación fuerte y muy fuerte, respectivamente), están correlacionados positivamente entre sí y son importantes en la explicación de la variabilidad a lo largo de la dimensión Dim2. Lo que sugiere que estos parámetros están asociados con diferentes condiciones del agua en comparación con los otros parámetros mencionados. Variables fisicoquímicas como la dureza total, conductibilidad, DBO₅, amonio y salinidad, a pesar de no estar muy relacionadas, también revelan una relación positiva al eje horizontal.

En cuanto a los parámetros microbiológicos, la variable coliformes fecales (ColiF) indica una correlación positiva con conductividad y DQO ($\gamma = -0.940732$, correlación muy fuerte y $p = -0.940732$, correlación extremadamente fuerte; Anexo B), sugiriendo que niveles más altos de contaminación fecal pueden estar asociados con mayores valores de estos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, cuya presencia en el agua indican un nivel de contaminación proporcional a la concentración (Roldán-Pérez, 2016). coliformes totales y coliformes fecales tienen vectores que apuntan hacia la derecha, indicando una correlación positiva entre ellos. Temperatura ambiente y temperatura del agua también están en este grupo, sugiriendo que las temperaturas están relacionadas con los contaminantes.

Al analizar las variables en cada cuadrante del Biplor, en el cuadrante I, las variables están fuertemente correlacionadas entre sí y con la Dim1, todas las variables en este cuadrante están relacionadas con la contaminación química y biológica del agua, pues las flechas apuntan en una dirección similar y el ángulo pequeño sugieren que las variables están altamente correlacionadas positiva entre ellas. Así mismo, su alta concentración de nitritos, nitratos, y coliformes sugieren contaminación orgánica y agrícola. Evidencia también indicadores de la calidad del agua y la identificación de contaminantes químicos y biológicos. La conductividad, los sólidos totales, y la demanda de oxígeno indican cargas altas de materia orgánica y sales disueltas.

En el cuadrante II, las flechas largas indican que estas variables también tienen una influencia significativa en Dim1. Las flechas de pH y Caudal apuntan en la misma dirección, lo que sugiere una correlación positiva entre ellas. Un ángulo pequeño entre las flechas de pH y Caudal indica alta correlación positiva entre las dos variables. El oxígeno disuelto, aunque también está correlacionado, tiene una orientación ligeramente diferente.

En el cuadrante III, la ausencia de flechas en este cuadrante indica que ninguna de las variables medidas está asociada significativamente con esta área del espacio de las dimensiones principales. La ausencia de variables en este cuadrante sugiere que los puntos de muestreo en esta área tienen baja correlación entre las variables medidas. Los puntos de muestreo aquí pueden representar condiciones ambientales únicas o factores no considerados en el análisis actual.

En el cuadrante IV, Estas variables indican que tienen una gran influencia en Dim2, temperatura ambiente, dureza, y alcalinidad apuntan en direcciones similares, indicando que están correlacionadas, y la presencia de fosfatos y amonio, así como la dureza y salinidad del agua, están correlacionadas en este cuadrante.

En el análisis por época de recolección y por puntos de muestreo de los ríos, en época lluviosa, los puntos codificados como: ZP1EL3, ZP1EL4, ZP1EL5, ZP2EL3, ZP2EL4 se encuentran agrupados principalmente en la parte izquierda del gráfico. Esto indica que, durante la época lluviosa, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tienden a tener características similares considerando los diferentes puntos de muestreo. En la época seca,

los puntos de muestreo codificados como: ZP1ES8, ZP1ES9, ZP1ES10, ZP2ES9, ZP2ES10, se observan más dispersos, especialmente hacia la derecha del gráfico. Esto sugiere una mayor variabilidad en los parámetros medidos durante esta época.

La agrupación de los puntos de muestreo como: ZP1EL3, ZP1EL4, ZP1EL5, entre otros están muy cercanos entre sí en el cuadrante inferior izquierdo, indicando que las características de los parámetros medidos en estos puntos son muy similares durante la época lluviosa. Los puntos ZP4ES9, ZP4ES10 están en el cuadrante superior derecho, sugiriendo que estos sitios de muestreo tienen condiciones fisicoquímicas y microbiológicas similares durante la época seca.

En cuanto a la dispersión de los puntos, como los de código ZP5ES9, ZP5ES10 se encuentran dispersas en la parte inferior derecha del gráfico, lo que indica que hay una variabilidad significativa en los parámetros durante la temporada seca, lo que puede atribuirse a factores como la reducción del caudal y el incremento en la concentración de contaminantes en el agua.

Análisis de Correspondencia Canónica (ACC)

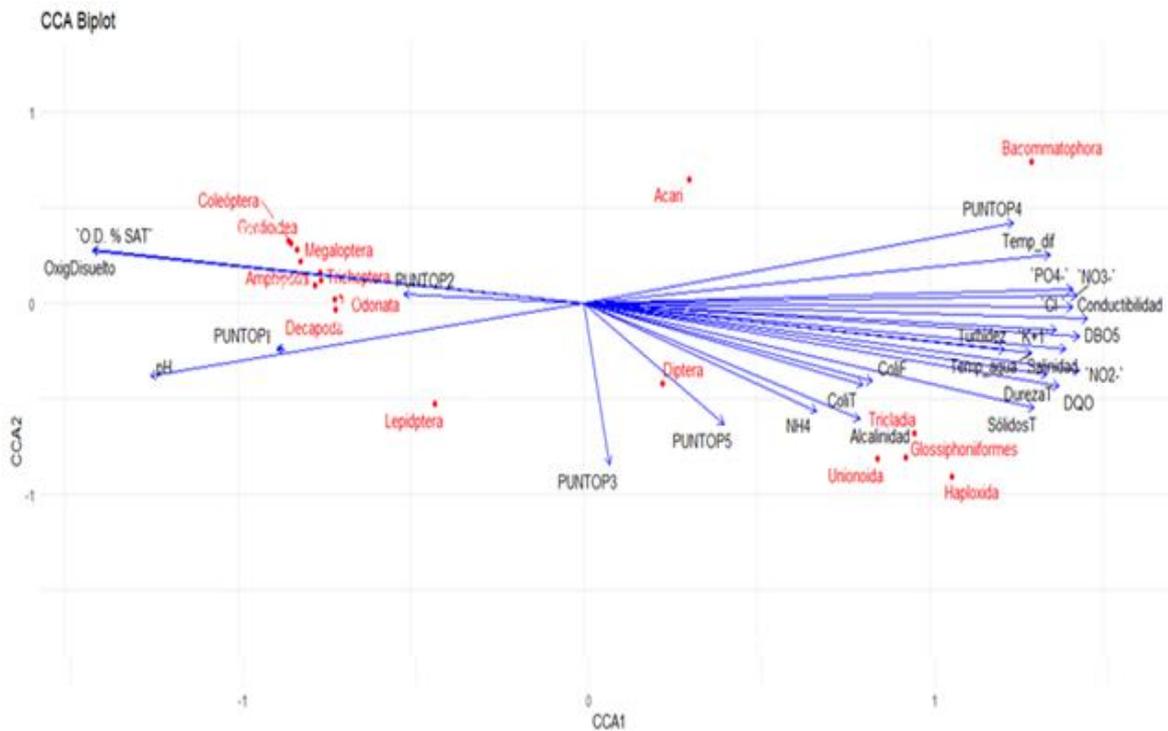
Para encontrar la relación entre parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y presencia de macro invertebrados se aplicó Análisis de Correspondencia Canónica (CCA), por lo tanto las variables categorías y numéricas involucradas.

Río Pucuhuayco

El análisis de este Biplot CCA (Figura 6), permitió entender cómo las variables ambientales afectan la distribución de las especies en los diversos sitios de muestreo. Esto facilita la identificación de las condiciones ambientales que prefieren las distintas especies y la evaluación de la calidad del agua en los sitios de muestreo mostrados en el gráfico.

Figura 6

Visualización de las variables en el espacio de la Correspondencia Canónica – Río Pucuhuayco



Fuente: Biplot. Rstudio

En el CCA, los puntos de muestreo (sitios) y las variables ambientales (físico-químicas y microbiológicas en este caso) se representan en un espacio bidimensional. En este Biplot se representan las relaciones entre los dos conjuntos de datos: las variables ambientales (físicoquímicas y microbiológicas, color azul) y las especies de macroinvertebrados (color rojo), presentes en cada punto de muestreo.

El eje horizontal (CCA1), explica la mayor parte de la variación en los datos. las especies y las variables ambientales que se alinean con este eje tienen una relación más fuerte con las características que definen esta variación. Por su parte, el eje vertical (CCA2), explica la segunda mayor parte de la variación. Especies y variables que se alinean con este eje están más influenciadas por las características que definen esta segunda variación.

Las flechas azules representan variables ambientales, y su longitud indica la magnitud de su influencia. La dirección de la flecha muestra la relación con las especies en esa dirección. Así, las variables ambientales como el PO₄⁻ ($r = 0,8075744$, $p = 0,7653143$), NO₃⁻ ($r = 0,678897$, $p = 0,7653143$) y la DBO₅ ($r = 0,6328585$, $p = 0,7807749$) (Anexo C), están fuertemente relacionados, indican una fuerte influencia y alta relación positiva con especies situadas en esa dirección, como Basommatophora, que influye fuertemente en la distribución de especies.

Las especies que están en rojo, su posición relativa indica cómo responden a las variables ambientales. La turbidez muestra una moderada influencia positiva, al igual que las sales disueltas, los sólidos totales, la identificación de coliformes fecales y la temperatura del agua. Coliformes totales, concentraciones de NH₄ y la alcalinidad del agua que se localizan en la parte inferior derecha, parecen irradiar gran influencia en especies como Triclada, Glossiphoniformes, Unionoidea y Haplozoa (ver Anexo C).

La concentración porcentual de oxígeno disuelto, el oxígeno disuelto (OD) y el pH están más alejadas del origen, indicando una influencia más fuerte comparada con otras variables; sin embargo, su influencia es negativa, a favor del hábitat de las especies de macroinvertebrados conocidas como sensibles a la contaminación (Oxígeno disuelto y Trichoptera, $r = 0,92515808$, $p = 0,874823432$; Anexo C).

Es de destacar también la estrecha relación de otros macroinvertebrados de diversas órdenes a la izquierda del eje horizontal (CCA1), mostrando fuerte influencia negativa, contraria a los típicos indicadores de poca contaminación del agua, como individuos de la orden Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, y otros órdenes como Gordioidea y Coleoptera que, a pesar de su lejanía del origen, su mutua correlación influye en el eje principal. Individuos de la orden Lepidoptera, situadas en la parte inferior central, muestran una asociación moderada con las variables ambientales y la orden Acari, que se encuentra alejada y situada en la parte superior derecha, sugiriendo una particular preferencia ambiental distinta de las otras especies.

En relación a los puntos de muestreo:

Punto 1: se asocia con la presencia de un pH alcalino e individuos de la orden Decapoda y levemente, con la orden Lepidoptera.

Punto 2: se asocia con la presencia de oxígeno disuelto e individuos de la orden Trichoptera, Amphipoda, Megaloptera, Odonata, Gordiioidea y Coleóptera,. Este punto de muestreo está en una zona con niveles elevados de oxígeno disuelto y saturación de oxígeno. Las especies asociadas, como Tricoptera, Ephemeroptera, Plechoptera, Coleóptera y Megaloptera, individuos conocidas como sensibles a las condiciones ambientales de contaminación del agua. Son indicativos de condiciones de agua de alta calidad.

Punto 3: no se asocia con variables específicas y se encuentra situado más hacia el centro del Biplot. Se encuentra en una posición intermedia, sin una fuerte afinidad hacia ninguna especie, ni condición específica. orientado hacia abajo, levemente a la derecha y cerca del centro, parece estar indiferente a la presencia de condiciones ambientales y macroinvertebrados. Este punto muestra un balance de varias condiciones ambientales sin una fuerte afinidad hacia ninguna en particular.

Punto 4: se asocia con muchas variables como temperatura del agua, PO₄⁻, NO₃⁻, Conductividad, K⁺, Cl⁻, Salinidad, DBO₅, NO₂⁻, DQO, etc. Este punto de muestreo se asocia fuertemente con macroinvertebrados de la orden Bacommotophora Este punto está influenciado por altos niveles de nutrientes y conductividad, lo que indica posible contaminación. Las especies asociadas son aquellas que toleran o prefieren estas condiciones eutróficas de baja calidad del agua (presencia de gusanos planos y cilíndricos).

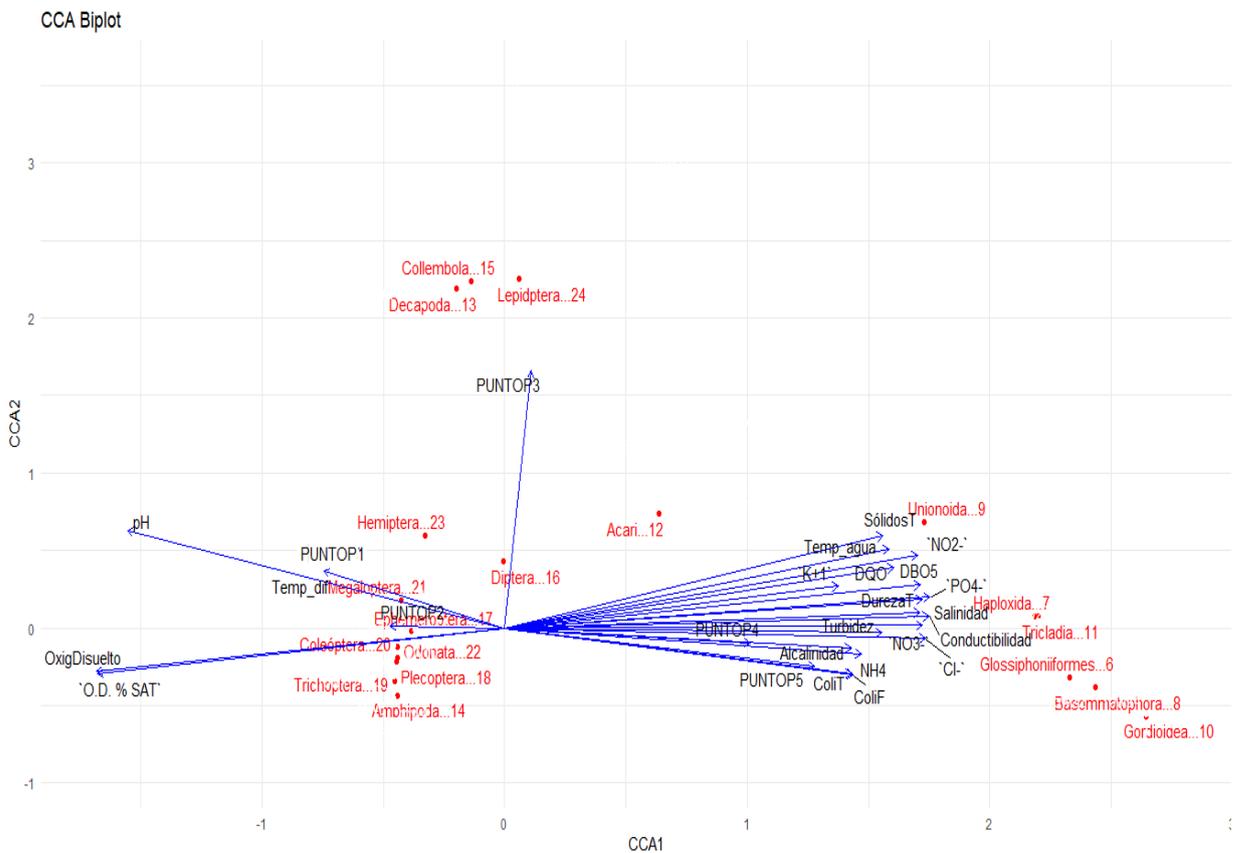
Punto 5: se asocia con variables fisicoquímicas como concentraciones altas de NH₄, alcalinidad y Coliformes totales especialmente. Individuos de la orden Díptera son los que más se han adaptado a estas condiciones de hábitat. No obstante, la alcalinidad del agua y la presencia de concentraciones de amonio asociadas a un elevado conteo de unidades formadoras de colonias bacterianas y fúngicas produce un ambiente propicio para la reproducción de especies como Tricladia, Glossiphoniiformes, Unionoidea y Haploxida (Anexo C). Este punto de muestreo está asociado con indicadores de contaminación orgánica y desperdicios industriales. Se encuentra en una posición intermedia, sin una fuerte afinidad hacia ninguna condición específica, la presencia de individuos de la orden Díptera, indicando

variabilidad en las condiciones ambientales. Esto puede deberse al aumento periódico del caudal del río por fuentes secundarios, fruto del riego local.

Río Zham-Zham

El análisis del Biplot CCA, ofrece una visión más detallada de cómo las variables ambientales (o parámetros fisicoquímicos y microbiológicos), interviene en la distribución de las especies de macroinvertebrados en diferentes sitios de muestreo del río Zham-Zham (Figura 7)

Figura 7
Visualización de las variables en el espacio de la Correspondencia Canónica - Río Zham-Zham



Fuente: Biplot. Rstudio

Los ejes CCA1 y CCA2, representan las dos primeras dimensiones canónicas, que explican la mayor parte de la varianza en los datos. El Biplot de CCA sugiere que existe una relación evidente entre los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y la presencia de

macroinvertebrados en la cuenca del río. Las especies de macroinvertebrados se distribuyen según las condiciones ambientales, con algunas asociadas a zonas con altos niveles de oxígeno disuelto y pH, y otras vinculadas a áreas con elevadas concentraciones de nutrientes y otros parámetros fisicoquímicos.

Así, las variables ambientales como el porcentaje de saturación de oxígeno (OxigDisuelto, O.D. % SAT) y oxígeno disuelto están orientadas hacia la izquierda, indicando que tienen una influencia positiva importante en las especies ubicadas en esa dirección del Biplot, como: Ephemeroptera ($\lambda = 0,931496$, $p = 0,9612862$), Coleóptera ($\lambda = 0,755074$, $p = 0,866208$), Odonata ($\lambda = 0,6921865$, $p = 0,8197409$), Plecóptera ($\lambda = 0,768845$, $p = 0,916492$) y Trichoptera ($\lambda = 0,7731783$, $p = 0,9170730$) en orden de prioridad, indicando que están asociadas con áreas donde la concentración de oxígeno disuelto y pH son más altos (ver Anexo C). Por otra parte, la temperatura al igual que los valores de pH, son variables que también están orientadas en dirección superior izquierda (sentido negativo), aunque más cerca del centro, lo que sugiere una relación moderada con las especies en esa dirección, como la especie Ephemeroptera ($\lambda = 0,8907789$, $p = 0,6559619$), y en menor grado a las especies Megaloptera y Hemiptera. Otras variables como la Turbidez, Dureza, Conductividad, PO₄⁻, NO₃⁻, DBO₅, Cl⁻, entre las de mayor relación con eje CCA1. Están agrupadas hacia la derecha, indicando que tienen una influencia conjunta en las especies situadas en esa dirección (Haploxiida, Tricladia, Gassiphoniiformes, Unionoidea, Basommatophora y Gordioidea, en orden de prioridad).

En cuanto a las interacciones y patrones, la especie Lepidoptera, Collembola y Decapoda están ubicadas en el cuadrante superior derecho, lo que indica que prefieren condiciones menos influenciadas por las variables ambientales medidas.

Cada punto de muestreo proporciona información valiosa sobre cómo los diferentes factores ambientales influyen en la diversidad de macroinvertebrados en la cuenca del río Zham-Zham. Esta información puede ser valiosa para diseñar estrategias de gestión y conservación del ecosistema acuático.

Punto 1: se asocia con el pH, es una variable que se encuentra en una zona con un pH más alcalino y se direcciona en un ángulo inferior a los 45° de la horizontal. Las especies

cercanas a esta variable pertenecen a la especie Megaloptera, que tolera o prefiere estas condiciones de pH. La especie Hemiptera, que se adapta levemente a las condiciones ambientales de este punto de muestreo, al igual que la orden Ephemeroptera, tienen igual orientación y afinidad.

Punto 2: se asocia con los puntos rojos en dirección de Oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación de oxígeno, indican una asociación con especies que prefieren niveles más altos de oxígeno, lo que podría estar relacionado con una buena calidad del agua. Especies como Ephemeroptera, Coleoptera se encuentran muy habituadas en este punto de muestreo. Otras tienen estrecha relación como Odonata, Trichoptera, Plecoptera y Amphipoda y parecen estar relacionadas con estas condiciones (Anexo C)

Punto 3: ninguna variable fisicoquímica o microbiológica específica destaca en este punto, por estar ubicado más hacia el centro del Biplot. Se identifica una fuerte influencia con la orden Díptera, y una influencia significativa en otras ordenes agrupadas, como: Lepidoptera, Collembola, Decapoda, por encontrarse en la misma dirección. La especie Acarí situada en la parte superior derecha del centro del Biplot, no parece tener influencia por factores fisicoquímicos, ni microbiológicos. Esta diversidad de especies asociadas podría indicar una zona con condiciones ambientales variadas o intermedias. Este punto de muestreo se sitúa cercano al centro, se relaciona positivamente con el eje vertical que explica la segunda mayor parte de la variación. La orden Díptera, macroinvertebrado de poca influencia específica como indicador de la calidad del agua y comunes en los ríos rurales con leve contaminación fruto del trabajo agrícola cotidiano. Este punto de muestreo puede estar influenciado por un balance de varias variables, sin identificarse una fuerte afinidad hacia ninguna en particular.

Punto 4: se asocia fuertemente con altas concentraciones de NO₂⁻, NH₄, Salinidad, Alcalinidad, PO₄⁻, Cl⁻ y altos niveles de Turbidez, Conductividad, Dureza. En cuanto a las especies asociadas, individuos de la orden Haploxida, Tricladia, Glossiphoniiformes, Unionoida, Basommatophora y Gordiioidea presentan correlación parecen estar muy habituadas a sus condiciones ambientales. Este punto está influenciado por una alta concentración de nutrientes y sales, indicando posiblemente una zona con mayor contaminación o aporte de nutrientes, de ahí su turbidez. Las especies asociadas a este punto son aquellas que toleran o prefieren estas condiciones más eutróficas.

Punto 5: las variables fuertemente asociadas son: Coliformes fecales y totales, y NH₄. Entre otras, las que más de destacan Alcalinidad y concentraciones de compuestos clorados y nitrosos, que comparte afinidad con el punto de muestreo 5. En cuanto a la asociación con especies de macroinvertebrados, los Basommatophora, Glossiphoniiformes y Gordioidea con las que más se han adaptado a su medio ambiente. lo que sugiere que estas especies pueden ser tolerantes a la contaminación orgánica de las aguas del río en estudio.

En resumen, el Biplot de CCA indica que diferentes puntos de muestreo en la cuenca del río Zham-Zham están asociados con diferentes conjuntos de variables fisicoquímicas y microbiológicas que influyen en la presencia y distribución de macroinvertebrados.

Así, los puntos Punto 1 y Punto 2 están fuertemente influenciado por variables fisicoquímicas como el oxígeno disuelto, el pH y condiciones relacionadas con la alta calidad de agua. Los Punto 4 y Punto 5 están asociados con condiciones de mayor contaminación (altas concentraciones de nutrientes y sólidos) y el Punto 3 parece estar en una zona intermedia, con una mezcla de condiciones ambientales.

4.3. Comparación de los resultados de los análisis multivariantes con un índice de calidad del agua (ICA) e indicadores biológicos de la calidad del agua basado en el comportamiento de los macro invertebrados.

Calidad del agua de los ríos, según ICA

Los promedios de los resultados analíticos de los tres meses para cada parámetro y cada punto de muestreo se resumen en las Tablas 11 y 12. Los valores se comparan con los estándares recomendados por la OMS (World Health Organization, 2024)

Tabla 11

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en época lluviosa, según ICA

ITEM/CÓDIGO	RÍO PUCUHUAYCO					RÍO ZHAM - ZHAM				
	Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5	Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5
pH (en unidades de pH)	7,07	7,24	7,64	5,75	5,02	7,08	7,00	7,39	5,50	4,35
Cambio de la Temperatura (en °C)	2,53	1,73	1,80	5,53	4,93	1,13	2,27	2,30	3,67	4,13
Oxígeno disuelto	10,45	9,53	8,63	4,13	2,43	10,50	9,47	8,10	6,23	2,80
Turbidez (en UNT)	2,33	4,10	8,78	20,84	48,12	1,60	3,60	8,28	20,34	45,78

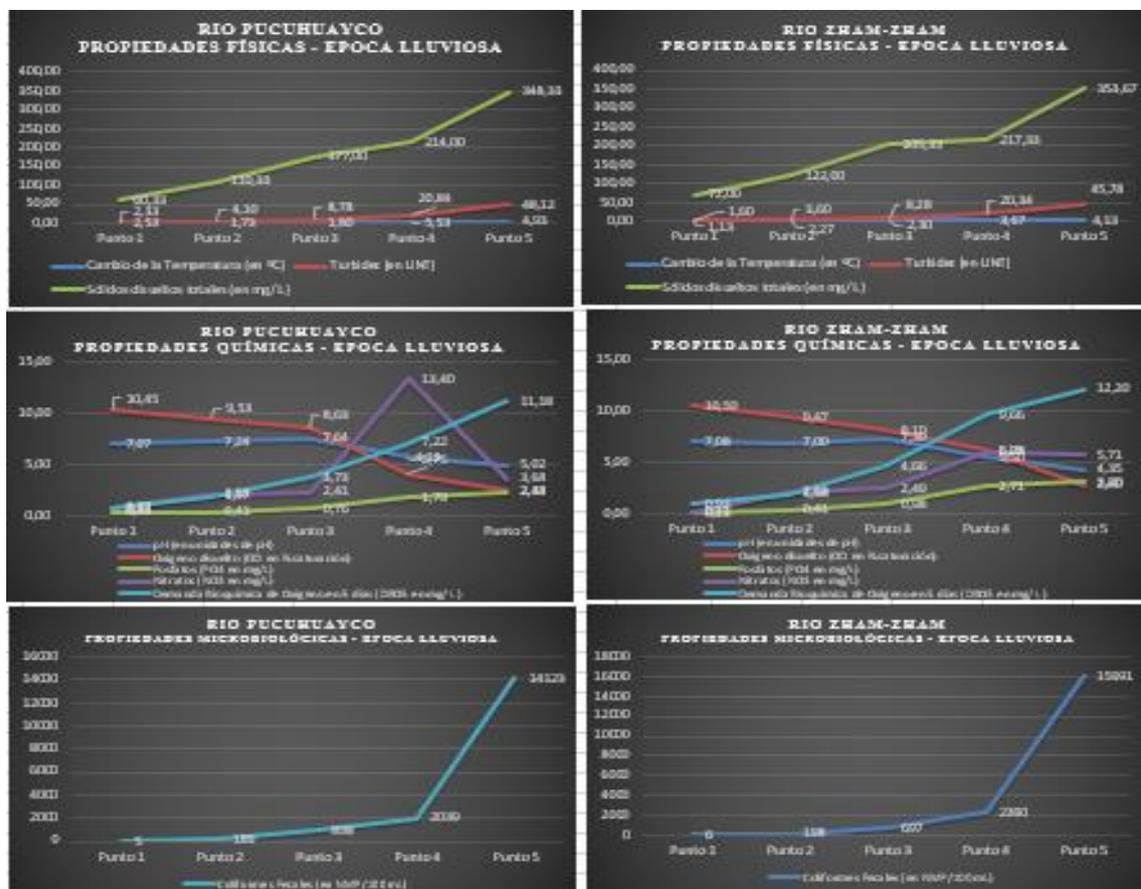
Fosfatos (PO4 en mg/L)	0,40	0,41	0,76	1,79	2,38	0,21	0,41	0,98	2,71	3,20
Nitratos (NO3 en mg/L)	0,73	2,13	2,41	13,40	3,68	0,13	2,13	2,49	6,08	5,71
Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5 en mg/L)	0,87	1,97	3,73	7,22	11,18	0,93	1,98	4,66	9,66	12,20
Sólidos disueltos totales (en mg/L)	60,33	110,33	177,00	214,00	348,33	72,00	122,00	205,33	217,33	353,67
Coliformes Fecales (en NMP/100 mL)	5	189	898	2039	14123	6	198	697	2390	15991
O.D. (en % saturación)	84,05	79,49	75,45	35,49	21,20	84,71	78,55	69,38	54,65	24,86
Temperatura del Agua	6,03	7,50	9,43	8,70	9,30	6,17	7,30	8,60	9,57	10,10

Fuente: Datos procesados in situs y en el laboratorio

La variación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en las muestras de agua recolectadas en los cinco puntos de recolección, se representan en la Figura 8.

Figura 8

Variación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en el río Pucuhuayco, en época lluviosa



Fuente: Datos fisicoquímicos y microbiológicos de los ríos investigados
Tabla 12

Parámetros Físico-químicos y microbiológicos, época seca, según ICA.

ITEM/COD	RÍO PUCUHUYCO	RÍO ZHAM - ZHAM
----------	---------------	-----------------

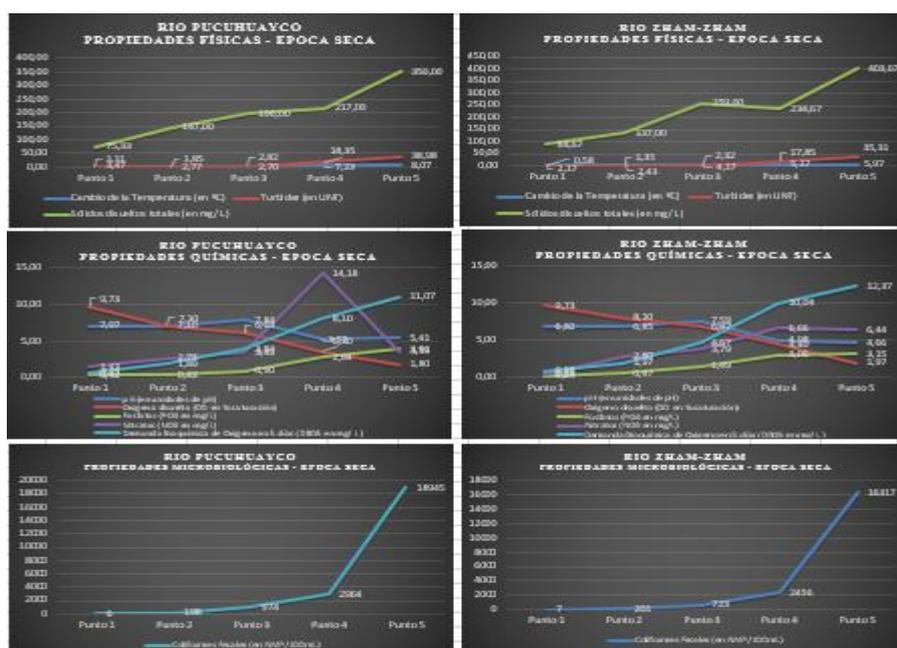
	Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5	Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5
pH (en unidades de pH)	7,07	7,10	7,84	5,30	5,41	6,82	6,85	7,59	4,98	4,66
Cambio de la Temperatura (en °C)	3,47	2,77	2,70	7,23	8,07	2,17	2,43	4,17	5,17	5,97
Oxígeno disuelto.	9,73	7,10	6,03	3,57	1,80	9,73	8,10	6,87	4,40	1,97
Turbidez (en UNT)	1,11	1,85	2,82	18,35	38,98	0,58	1,35	2,32	17,85	35,31
Fosfatos (PO4 en mg/L)	0,42	0,43	0,90	2,84	3,91	0,24	0,47	1,49	3,06	3,15
Nitratos (NO3 en mg/L)	1,43	2,73	3,49	14,18	3,59	0,43	2,80	3,79	6,66	6,44
Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5 en mg/ L)	0,67	1,89	3,84	8,10	11,07	0,88	1,97	4,67	10,04	12,37
Sólidos disueltos totales (en mg/ L)	75,33	147,00	196,00	217,00	350,00	88,67	137,00	259,00	234,67	403,67
Coliformes Fecales (en NMP/100 mL)	6	198	974	2964	18945	7	201	723	2456	16317
O.D. en % saturación)	79,71	61,11	52,86	31,60	16,01	79,64	68,60	59,48	39,04	18,09
Temperatura del Agua	6,77	8,80	9,53	10,00	10,17	6,73	8,13	9,07	10,07	11,60

Fuente: Datos procesados in situs y en el laboratorio

De igual manera, la variación de los parámetros analizados en cada muestra de agua recolectadas se representa en las Figura 9, ofreciendo información sobre la naturaleza dinámica de la composición en cada punto de muestreo.

Figura 9

Variación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en el río Zham-Zham, en época seca.



Fuente: Datos fisicoquímicos y microbiológicos de los ríos investigados

Los resultados de la variación de la calidad del agua, según normas ICA durante el período de investigación y para los cinco puntos de estudio revelan una variedad de fluctuaciones, desde un agua de buena calidad, hasta un agua de mala calidad. (Tabla 13)

Tabla 13

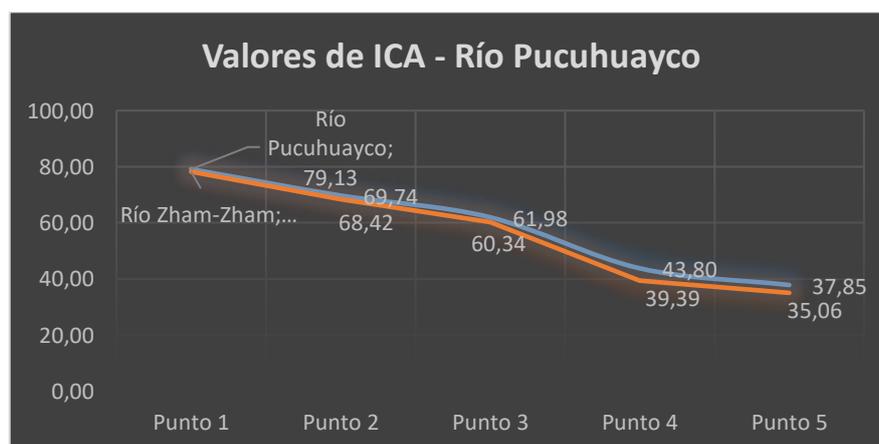
Calidad del agua del río Pucuhuayco, según el método ICA

Puntos de muestreo	Río Pucuhuayco					
	Época Lluviosa			Época Seca		
	ICA-NSF	Calidad	Color	ICA-NSF	Calidad	Color
Punto 1	79,13	Buena		78,21	Buena	
Punto 2	69,74	Regular		68,42	Regular	
Punto 3	61,98	Regular		60,34	Regular	
Punto 4	43,80	Mala		39,39	Mala	
Punto 5	37,85	Mala		35,06	Mala	

Según la escala ICA-NSF, el puntaje de 79,13 corresponde a una calidad de agua Buena, mientras que el valor de 37,85 se relaciona con una mala calidad de agua. Para los puntos de muestreo situados en las fuentes de captación, el nivel de contaminación es mínima, nivel que va aumentando conforme desciende el cauce de los ríos y entran en contacto con fuentes de continuación urbana hasta llegar al último punto de muestre, cerca de la desembocadura del río Cañar (Figura 10). Estos valores demuestran de forma inequívoca que las aguas de las zonas de estudio van contaminándose hasta llegar a la categoría de agua mala.

Figura 10

Variación de los valores del ICA, por punto de muestreo en el río Pucuhuayco en época lluviosa.



Fuente: Análisis ICA

De igual manera, en la Tabla 14, se observa la variación de la calidad del agua del río, conforme desciende su cauce hasta llegar a la desembocadura del río Cañar.

Tabla 14

Calidad del agua del río Zham-Zham, según el método ICA

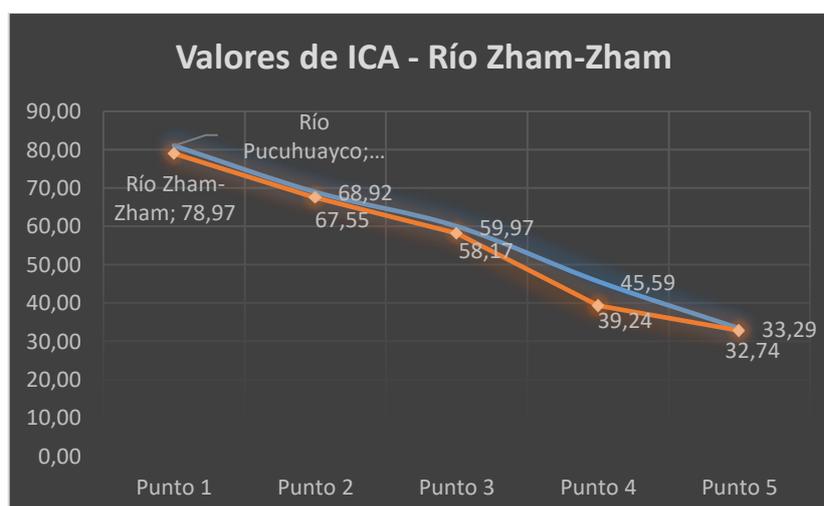
Puntos de muestreo	Río Zham-Zham					
	Época Lluviosa			Época Seca		
	ICA-NSF	Calidad	Color	ICA-NSF	Calidad	Color
Punto 1	81,04	Buena		78,97	Buena	
Punto 2	68,92	Regular		67,55	Regular	
Punto 3	59,97	Regular		58,17	Regular	
Punto 4	45,59	Mala		39,24	Mala	
Punto 5	33,29	Mala		32,74	Mala	

En el río Zham-Zham, el cálculo del indicador ICA-NSF llega a un valor de 81,04 en época lluviosa y de 76,97 en época seca, correspondiendo a una calidad de agua buena, en ambos casos. El nivel de contaminación del agua va creciendo, llegando a un valor de 33,29 y 32,4 en época lluviosa y seca, respectivamente; lo que corresponde a una mala calidad del agua del río, en aquel punto de muestreo.

En la figura 11, se representa la proyección de la calidad del agua del río, en el período de investigación, desde su origen hasta el último punto de muestreo, situado en la zona urbano marginal de la ciudad de Cañar.

Figura 11

Variación del ICA por punto de muestreo en el río Pucuhuayco, en época seca



Fuente: Análisis ICA.

Calidad del agua de los ríos, según el Índice BMWP/Col (Biológico, Biological Monitoring Working Party)

En la época lluviosa, el río Pucuhuayco mostró que los puntos P1 y P2 obtuvieron valores altos del Índice BMWP/Col (Roldán-Pérez, 2016), lo que indica que la calidad del agua es muy buena y buena (aguas limpias), como se refleja en la presencia y abundancia de taxones de los órdenes Ephemeroptera y Tricópteros. En contraste, el punto P3 presentó valores moderados, sugiriendo una calidad de agua aceptable (ligeramente contaminada). Por otro lado, los puntos P4 y P5 mostraron, durante el invierno y el verano respectivamente, una calidad del agua dudosa y crítica (Tabla 15). Se observa una disminución en la presencia de familias, especialmente de los órdenes Ephemeroptera y Trichoptera, y un aumento en la presencia de macroinvertebrados más tolerantes a la contaminación, como los de los órdenes Coleoptera y Diptera.

Tabla 15

Valores del índice BMWP/Col, obtenidos en los puntos de muestreo del río Pucuhuayco, en época lluviosa y seca

Indicador	Río Pucuhuayco									
	ÉPOCA LLUVIOSA					ÉPOCA SECA				
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
BMWP/Col	194	141	109	66	45	207	143	110	59	45
Calidad	Muy limpia	Buena	Aceptable	Dudosa	Crítica	Muy limpia	Buena	Aceptable	Dudosa	Crítica

Al revisar los muestreos realizados en las dos estaciones climáticas (Tabla 16), se observó que los puntos 1 y 2 mantuvieron una calidad del agua muy buena y buena, tanto en la época lluviosa como en la seca, aunque con una disminución en los valores. El punto 3 experimentó una reducción en la calidad del agua durante la época seca, cambiando de buena a aceptable. Los puntos 4 y 5 conservaron su estatus de calidad de agua de dudosa a crítica en ambas estaciones y épocas de muestreo. La variación en el caudal hidrológico de los ríos durante las dos estaciones, reflejada en los datos de profundidad registrados, afecta directamente la disposición de microhábitats y fuentes de alimentos para los macroinvertebrados. Esto, a su vez, impacta la diversidad, composición y presencia de organismos sensibles y tolerantes, influyendo en la calidad del agua. (Carrera & Fierro, 2019)

Tabla 16

Valores del índice BMWP/Col, encontrados en los puntos de muestreo del río Zham-Zham, en época lluviosa y seca

Indicador	Río Zham-Zham									
	ÉPOCA LLUVIOSA					ÉPOCA SECA				
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
BMWP/Col	175	142	116	66	45	176	141	114	65	45
Calidad	Muy limpia	Buena	Aceptable	Dudosa	Crítica	Muy limpia	Buena	Aceptable	Dudosa	Crítica

Método de análisis de calidad de agua mediante el uso del Índice Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera (EPT)

En el río Pucuhuayco, durante la época lluviosa se registraron 1530 individuos de los órdenes EPT de un total de 1813 en el punto de muestreo 1, y 933 individuos en la época seca de un total de 740 especímenes. Esto resulta en una abundancia relativa del 84,39% en la temporada de lluvias y del 79,40% en la época seca, clasificando la calidad del agua como muy buena en ambas estaciones climáticas (Carrera Reyes & Fierro Peralbo, 2011). En la Tabla 17, se muestran los valores porcentuales obtenidos del análisis del índice EPT. La comparación revela que la calidad del agua es muy buena y buena en la época lluviosa y seca en los puntos 1 y 2, mientras que, en los demás puntos y épocas, la calidad del agua es calificada como mala.

Tabla 17

Valores del índice EPT obtenidos en los puntos de muestreo del río Pucuhuayco, en época lluviosa y seca.

Indicador	Río Pucuhuayco									
	ÉPOCA LLUVIOSA					ÉPOCA SECA				
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
E	1248	355	120	28	3	511	185	107	2	2
P	36	19	14	0	0	22	17	8	0	0
T	246	164	24	2	0	207	225	28	0	0
Total	1530	538	158	30	3	740	427	143	2	2
Totales:	1813	736	238	413	59	933	598	688	812	257
Índice EPT	84,39	73,10	66,39	7,26	5,08	79,31	71,40	20,78	0,25	0,78
Calidad	Muy buena	Buena	Buena	Mala	Mala	Muy buena	Buena	Mala	Mala	Mala

En el río Zham-Zham, se encontraron 1485 individuos EPT de un total de 1785 en el punto de muestreo 1 durante la época lluviosa, y 1069 de un total de 1300 en la época seca. Esto resulta en una abundancia relativa del 82,97% en la temporada de lluvias y del 82,23% en la época seca, clasificando la calidad del agua como muy buena en ambas estaciones climáticas. (Carrera Reyes & Fierro Peralbo, 2011).

La siguiente Tabla 18, se aprecian los porcentajes obtenidos en la evaluación del índice EPT, indicando un descenso de la calidad del agua en cada una de las dos épocas. Así, en ambas épocas, los puntos 1, 2 y 3 indican muy buena, y buena calidad del agua. En el punto 4, hay una diferencia significativa entre aceptable en la época lluviosa y mala en la época seca. El punto 5, en ambas épocas experimenta un bajón en calidad, llegando a malas, en escala cualitativa.

Tabla 18

Valores del índice EPT encontrados en los puntos de muestreo del río Zham-Zham, en época lluviosa y seca

Indicador	Río Zham-Zham									
	ÉPOCA LLUVIOSA					ÉPOCA SECA				
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
E	1049	589	138	29	2	550	272	112	2	2
P	112	32	16	0	0	85	24	0	0	0
T	320	140	28	0	0	434	102	1	0	0
Total	1481	761	182	29	2	1069	398	113	2	2
Totales:	1785	1064	324	107	83	1300	621	360	306	379
Índice EPT	82,97	71,52	56,17	27,10	2,41	82,23	64,09	31,39	0,65	0,53
Calidad	Muy buena	Buena	Buena	Aceptable	Mala	Muy buena	Buena	Buena	Mala	Mala

Calidad del agua de los ríos, usando Análisis Multivariante.

Se llevó a cabo un Análisis de Componentes Principales (ACP) de los parámetros fisicoquímicos, considerando los valores de riqueza, abundancia, ICA, BMWP/Col y EPT, para los datos de cada punto de muestreo tanto en invierno como en verano.

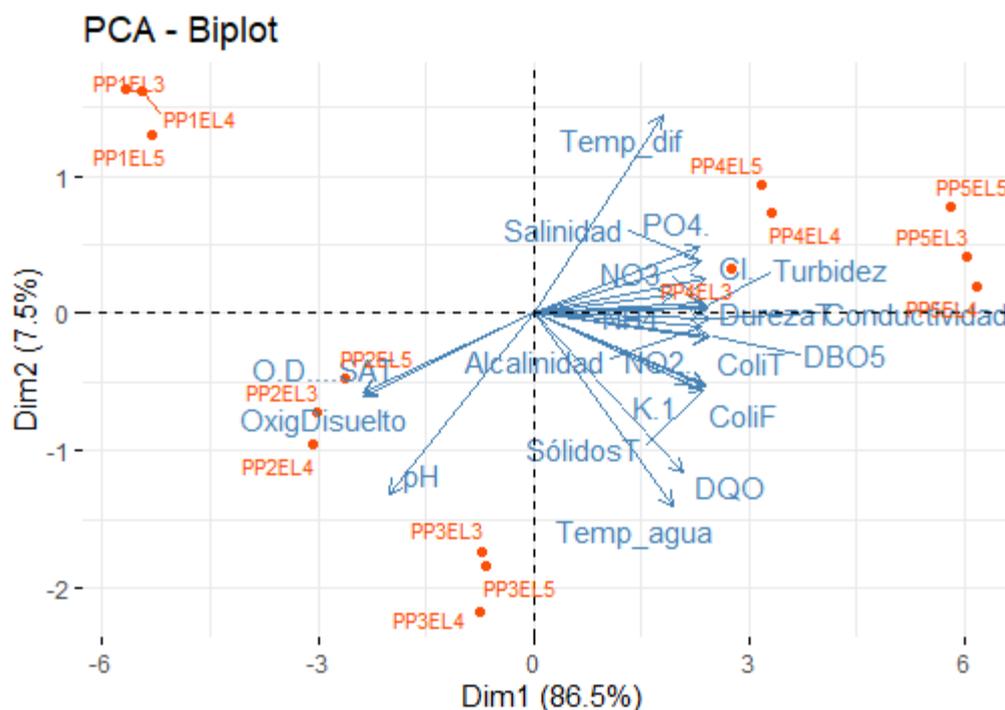
Río Pucuhuayco.

Época lluviosa

En la Figura 12, se puede observar una gran abundancia en el punto 1, que es el que presenta el mayor nivel de oxígeno disuelto, la menor conductividad y temperatura, así como el valor más alto de BMWP/Col.

Figura 12

Visualización de la relación entre las variables fisicoquímicas y microbiológicas en los puntos de muestreo - Río Pucuhuayco, época lluviosa



Fuente: Biplot. Rstudio

VARIABLES POSITIVAMENTE CORRELACIONADAS E INFLUYEN LEVEMENTE EN LA DIM1: Conductividad, dureza, turbidez, ColiF, NO3, Cl-, PO4, DBO5, Temp_agua, entre otras. Estas variables están más asociadas con las muestras situadas hacia la derecha del gráfico (Dim1 positivo).

VARIABLES NEGATIVAMENTE CORRELACIONADAS CON DIM1: el oxígeno disuelto, pH. Estas variables están asociadas con las muestras situadas hacia la izquierda del gráfico (dim1 negativo).

VARIABLES POSITIVAMENTE CORRELACIONADAS CON DIM2: Temperatura del agua Estas variables

están más asociadas con las muestras situadas en la parte superior del gráfico (Dim2 positivo). Variables negativamente correlacionadas con Dim2: Alcalinidad, Salinidad. Estas variables están asociadas con las muestras situadas en la parte inferior del gráfico (Dim2, negativo).

Analizando las variables en cada cuadrante del Biplot, en el cuadrante I, las variables están muy correlacionadas positivamente principalmente con la química del agua y los indicadores de contaminación. Esto incluye nutrientes como fosfatos, nitritos, y nitratos, así como parámetros como conductividad, salinidad, dureza total y la demanda de oxígeno (DBO5 y DQO). La presencia de coliformes totales y fecales indica contaminación biológica.

El cuadrante II, menos influyente en Dim1 que las variables del cuadrante I. Tiene correlación negativa con la turbidez, dureza y concentraciones altas de sustancias fosfatadas, nitrogenadas entre otras.

En el cuadrante III, el oxígeno disuelto indica una alta correlación positiva con la saturación de oxígeno, el pH. influyendo levemente en Dim1 y Dim2 y entre ellas hay poca correlación.

En el cuadrante IV, las variables encontradas en este cuadrante, como: dureza, conductibilidad, alcalinidad y DBO5 hay alta correlación y baja influencia en Dim1. Coliformes, también tiene alta correlación en este cuadrante. Temperatura del agua y DQO están poco correlacionadas y la última influye significativamente en Dim2.

En cuanto a los puntos de muestreo:

Punto 1: (PP1). Se ubican lejos de origen del gráfico. Estas muestras no están fuertemente influenciadas por ninguna variable específica, ya que están distantes del centro. Sin embargo, indican una relación negativa tienen una ligera influencia de variables como Conductividad y Dureza, indicando niveles moderados de estas características. Estas muestras son representativas de condiciones moderadas de calidad del agua, sin características extremas en las variables medidas.

Punto 2: (PP2). Se encuentra en la región negativa de Dim1 y Dim2. Las variables influyentes fuertemente influenciada por variables como oxígeno disuelto y SAT. indican

buena calidad del agua con alta oxigenación y saturación. Esta muestra destaca por su alta calidad de agua con alta oxigenación y saturación, lo cual es beneficioso para la vida acuática.

Punto 3: (PP3). Ubicados en la región negativa de Dim1 y negativa de Dim2. Las variables influyentes son Alcalinidad y Salinidad. Estas muestras indicarían características de aguas con alta alcalinidad y salinidad. En la región negativa de Dim1 y positiva de Dim2, hay ligera influencia de Temperatura del agua. Puede indicar fluctuaciones en la temperatura.

Punto 4: (PP4). Ubicados en la región positiva de Dim1 y alrededor del origen, estas variables muestras están influenciadas por variables como DBO5 y Conductividad, Coliformes indicando posibles presencias de materia orgánica y conductividad elevada por sales disueltas de desechos industriales. Estas muestras también muestran posibles contaminaciones con materia orgánica (DBO5) y alta conductividad, sugiriendo impactos humanos en estos puntos de muestreo. Estas muestras indican condiciones de agua con alta alcalinidad y salinidad, lo cual puede influir en la presencia de ciertas especies adaptadas a estas condiciones.

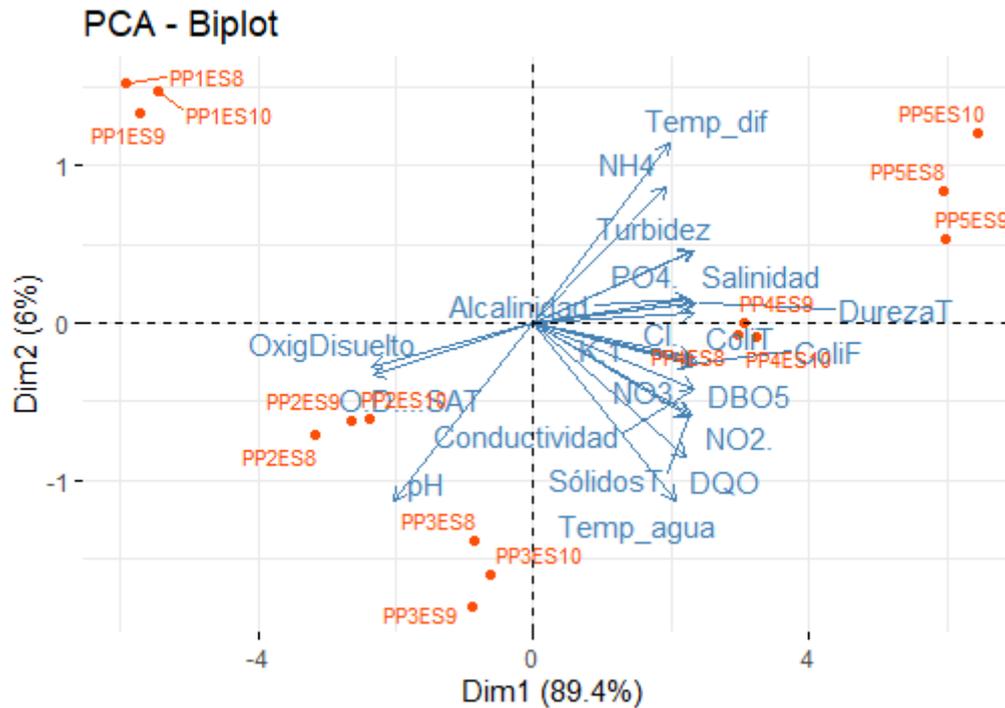
Punto 5: (PP5). Ubicados en la región positiva de Dim1 y positiva de Dim2. Variables como Conductividad, Dureza, NH₄, Nitratos, Fosfatos y salinidad y Turbidez. Las muestras en esta región del gráfico sugieren alta mineralización y turbidez, lo cual podría ser indicativo de aguas con sedimentos y contaminantes, sugiere niveles altos de minerales disueltos por desechos industriales.

Época seca:

En la Figura 13 se puede identificar al eje Dim1, componente principal que separa las muestras en función de las variables asociadas. Las muestras a la derecha del gráfico (Dim1 positivo) están más influenciadas por variables asociadas a la contaminación y Dim2 proporciona información adicional sobre las diferencias en temperatura y niveles de amonio y el pH.

Figura 13

Visualización de la relación entre las variables fisicoquímicas y microbiológicas en los puntos de muestreo. Río Pucuhuayco, época seca



Fuente: Biplot. Rstudio

Los vectores azules representan las variables originales. La dirección y longitud de estos vectores indican cómo cada variable contribuye a las componentes principales. Así, las variables positivamente correlacionadas con Dim1 son: Conductividad, Dureza, Cl⁻, DBO5, NO3, Sólidos Totales, entre otros. Estas variables están más asociadas con las muestras situadas hacia la derecha del gráfico (dim1 positivo).

Las variables negativamente correlacionadas con Dim1, oxígeno disuelto, SAT, y pH. Estas variables están asociadas con las muestras situadas hacia la izquierda del gráfico (dim1 negativo). Las variables positivamente correlacionadas con Dim2: Temperatura, NH4. Estas variables están más asociadas con las muestras situadas en la parte superior del gráfico (dim2 positivo). Las variables negativamente correlacionadas con Dim2: Alcalinidad, Salinidad, entre otras, están asociadas con las muestras situadas en la parte inferior del gráfico (dim2 negativo).

Analizando las variables en cada cuadrante del Biplot:

Cuadrante I, tiene mucha influencia variable que muestran una correlación positiva fuerte entre sí y con indicadores de contaminación. Incluye nutrientes como fosfatos, nitritos y nitratos, así como parámetros fisicoquímicos como amoníaco, salinidad, dureza total y turbidez. Estas características sugieren que las muestras pueden estar influenciadas por fuentes de contaminación que aumentan la turbidez, la concentración de nutrientes, fosfatos y minerales disueltos

Cuadrante II, en el gráfico proporcionado, no hay variables que tengan sus vectores apuntando directamente hacia el cuadrante superior izquierdo. Sin embargo, algunos vectores cercanos pueden influir en la interpretación de este cuadrante.

Cuadrante III, el oxígeno disuelto tiene una ligera contribución negativa en Dim1. El pH contribución negativa en Dim1 y positiva en Dim2. Se observa buena calidad del agua en términos microbiológicos, pero con características fisicoquímicas influenciadas por procesos naturales (saturación de oxígeno, pH, oxígeno disuelto).

Cuadrante IV, las muestras en este cuadrante tienen altas conductividad y la dureza total y DBO5 se encuentran muy correlacionadas y su aportación es baja a la Dim1. La presencia de coliformes en baja concentración, en un ambiente alcalino, sugieren una calidad del agua relativamente mejor en términos microbiológicos. La presencia de sales, sólidos disueltos y temperatura del agua no tienen mayor correlación. lo que sugiere una mezcla de fuentes de contaminación y condiciones ambientales variables. La presencia de nitritos sugiere que el agua está experimentando procesos de nitrificación, lo que puede ser una señal de contaminación reciente por amonio que se está transformando en nitritos.

En cuanto a los puntos de muestreo:

Punto 1: (PP1). Ubicadas en la parte superior izquierda del Biplot, región negativa de Dim1 y positiva de Dim2. No parecen tener influencia directa de las variables fisicoquímicas ni microbiológicas, más bien carecen de indicadores de contaminación, como coliformes, sustancias nitrogenadas, fosforo, entre otras; indicando que el agua no se encuentra contaminada.

Punto 2: (PP2). Ubicado en la región negativa de Dim1 y negativa de Dim2. En cuanto a las variables influyentes, se encuentra fuertemente influenciado por oxígeno disuelto, SAT. Estas muestras indican buena calidad del agua con alta oxigenación y saturación, además de un índice EPT y BMWP favorables.

Punto 3: (PP3). Ubicado en la región negativa de Dim1 y cercana al origen. Las variables influyentes como oxígeno disuelto y SAT indican ligera influencia indicando condiciones moderadamente buenas de calidad del agua, y ligera influencia positiva de oxígeno disuelto.

Punto 4: (PP4). Ubicado en la región positiva de Dim1 y alrededor del origen, indica la influencia de variables como conductividad, sustancias nitrogenadas, sólidos totales y coliformes, mostrando características de agua con alta contaminación orgánica.

Punto 5: (PP5). Ubicada en la región positiva de Dim1 y positiva de Dim2, está influenciada por variables como cloro disuelto, salinidad, alcalinidad, presencia de fosfatos, amonio y diferencia de temperatura del agua y del ambiente. Esto sugiere que estas muestras tienen altos niveles de estos parámetros, lo que podría indicar contaminación o influencias antropogénicas no solo de sustancias orgánicas de desecho de cloacas, sino de desechos industriales como lavadoras de carros, microempresas alimentarias, etc.

Analizando los datos obtenidos del ACP, cada punto de muestreo identifica relaciones entre componentes y variables que particularizan la calidad del agua de cada río y su medio ambiente, propiedades que permitieron el diseño de las Tablas 19, subdivididas en cuatro escalas: muy buena, buena, regular y mala, adoptando valores del índice BMWP/Col y EPT, para visualizar la calidad del agua del río Pucuhuayco, por punto y época muestreada.

Tabla 19

Valores del análisis multivariado identificados en cada punto de muestreo del río Pucuhuayco, durante la época lluviosa y seca

Puntos de muestreo	Río Pucuhuayco			
	Época Lluviosa		Época Seca	
	Calidad	Color	Calidad	Color
Punto 1	Buena		Buena	
Punto 2	Buena		Buena	
Punto 3	Regular		Regular	

Punto 4
Punto 5

Mala
Mala



Mala
Mala



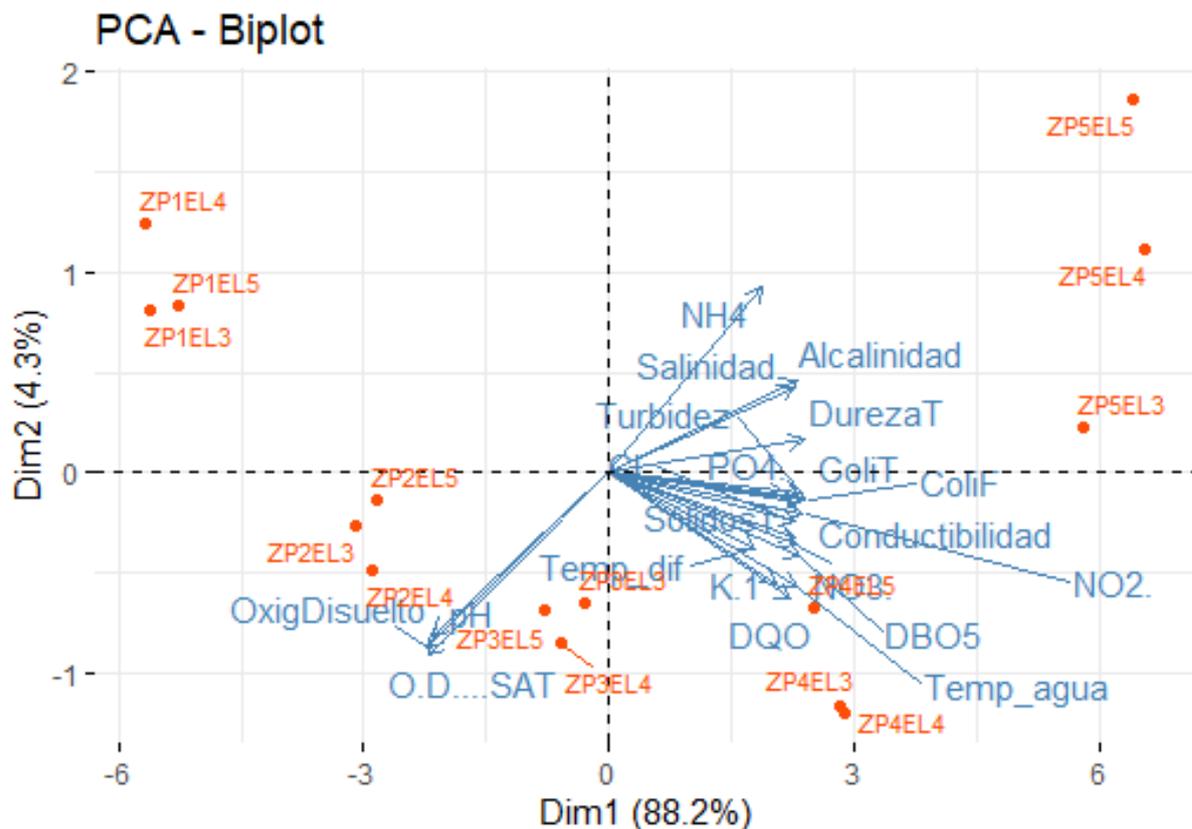
Río Zham-Zham.

Época lluviosa

Así mismo, la Figura 14 muestra cómo las observaciones y variables se proyectan en el espacio de los dos primeros componentes principales (Dim1 y Dim2), los puntos rojos representan las observaciones (muestras de agua del Río Zham-Zham en época seca) y las flechas azules representan las variables (parámetros fisicoquímicos y microbiológicos).

Figura 14

Visualización de la relación entre las variables fisicoquímicas y microbiológicas en los puntos de muestreo - Río Zham-Zham, época lluviosa



Fuente: Biplot. Rstudio

Las variables con flechas largas (como Dureza, Turbidez, Coliformes, Conductibilidad) están fuertemente correlacionadas con Dim1, sugiere que estos parámetros son cruciales para

la variabilidad observada y tienen una mayor contribución a la variabilidad explicada por los componentes. La dirección de la flecha indica la relación de la variable con los componentes principales. Variables apuntando en la misma dirección están positivamente correlacionadas y aquellas que forman ángulos de 90 grados o más están menos correlacionadas entre sí. La conductividad es un excelente indicador de la cantidad de iones presentes en el agua. Su alta correlación con Dim1 sugiere que este parámetro es crucial para la variabilidad observada.

Las muestras (puntos rojos) se agrupan de acuerdo a su similitud en el área representada por los componentes principales. Las observaciones cercanas entre sí son similares en términos de las variables medidas (clúster).

Analizando las variables en cada cuadrante del Biplot:

Cuadrante I, la dureza es la variable que más influye en la Dim1. Alcalinidad y salinidad presentan alta correlación positiva.

Cuadrante II, indicar que ZP1EL4 y ZP1EL3 tienen características que no están bien representadas por las variables medidas, o tienen valores que son extremas para varias variables, lo que resulta en una posición única en el Biplot e influye negativamente en la Dim1, aunque en menor grado y presenta una correlación negativa con respecto a la concentración de coliformes fecales y totales.

Cuadrante III, las variables relacionadas con el oxígeno disuelto (OxigDisuelto, O.D., SAT) están en este cuadrante, indican una fuerte correlación entre ellas. Esto sugiere que estas variables miden aspectos similares de la calidad del agua, probablemente relacionados con la capacidad del agua para mantener la vida acuática.

Cuadrante IV, contiene la mayor parte de los indicadores físicoquímicos y microbiológicos, indicando que estas variables están fuertemente correlacionadas y son importantes para explicar la variación en los datos. Incluye varias variables como coliformes, turbidez, conductividad, etc., que influyen positivamente en la Dim1. Otras variables como sustancias nitrogenadas, fosfatos, temperatura, DQO y DBO5 se presentan fuertemente correlacionadas positivamente, aunque es débil su influencia en Dim1.

En canto a los puntos de muestreo:

Punto 1: (ZP1EL). Ubicado en el cuadrante superior izquierdo. Experimenta ligeras variaciones en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas. Tienen características que no están bien representadas por las variables medidas, o tienen valores que son extremas para varias variables, lo que resulta en una posición única en el Biplot.

Punto 2: (ZP2EL). Ubicado en la parte inferior izquierda del Biplot, indica influencia de variables como oxígeno disuelto, influyendo negativamente en la Dim1.

Punto 3: (ZP3EL). Ubicado en la parte central inferior del Biplot. Alejado del origen del gráfico, indica que tiene valores extremos para las variables que más influyen en las componentes principales, pareciendo estar levemente afectado por las variables fisicoquímicas y microbiológicas asociadas con la contaminación del agua.

Punto 4: (ZP4EL). Ubicado en el cuadrante inferior derecho y alejado del origen del gráfico, lo que indica valores extremos para las variables que más influyen en las componentes principales. La fuerte influencia de la conductividad, turbidez, coliformes, etc., sugiere que este punto de muestreo está en una zona del río con alta carga de contaminantes disueltos y sedimentos en suspensión.

Punto 5: (ZP5EL). Ubicado en el cuadrante superior derecho y alejado del centro de gráfico del Biplot, indican valores extremos para las variables que más influyen en las componentes principales. Los puntos agrupados en los cuadrantes derecho (superior e inferior) indican áreas con alta conductividad y turbidez, mientras que los puntos en los cuadrantes izquierdo (especialmente inferior) muestran condiciones con mayor oxígeno disuelto y pH más estable. Esto sugiere que hay zonas del río más afectadas por contaminantes y sedimentos, y otras con mejores condiciones ambientales.

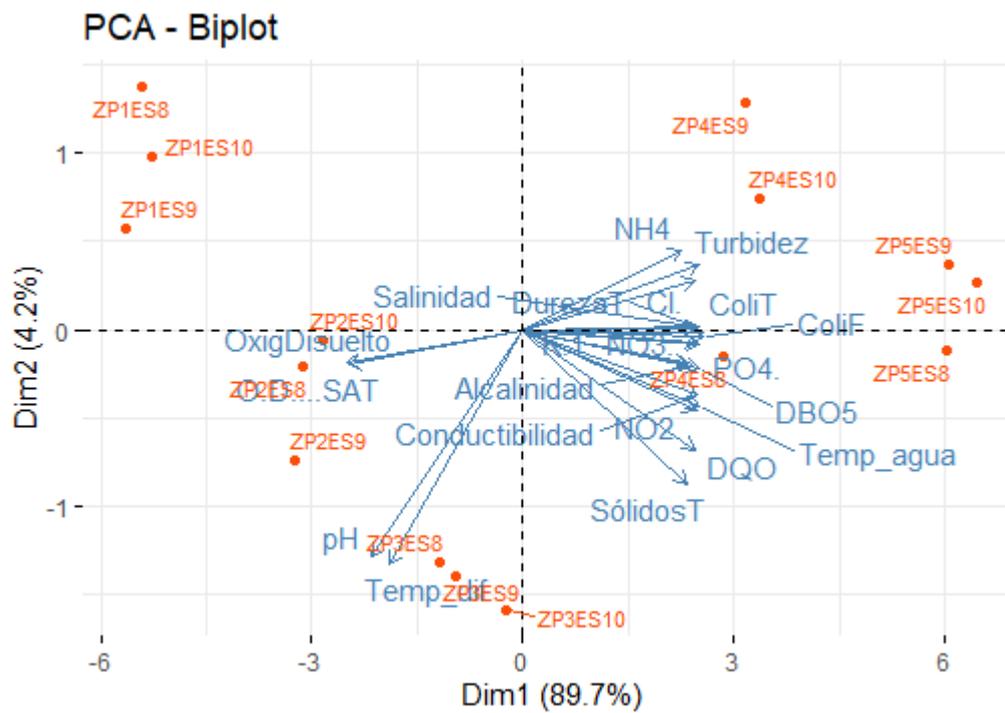
Época seca

Las muestras se distribuyen en el espacio según las variables. Así, ZP1ES9 y ZP4ES10 están alejadas y podrían indicar variaciones en los parámetros medidos. La disposición de

variables como los indicadores de calidad biológica del agua, BMWP y EPT, sugiere su conexión con la calidad del agua. (Figura 15).

Figura 15

Visualización de la relación entre las variables fisicoquímicas y microbiológicas en los puntos de muestreo - Río Zham-Zham, época seca



Fuente: Biplot. Rstudio

Al analizar las variables en cada cuadrante del Biplot, se identifican:

Cuadrante I, sustancias cloradas, la turbidez y el amonio presentan alta correlación positiva, y débil influencia en Dim1.

Cuadrante II, se observa una influye negativamente en la Dim1, aunque en menor grado y presenta una fuerte correlación negativa con la concentración de coliformes totales y fecales, con la dureza del agua y la presencia de concentraciones de fosfatos.

Cuadrante III, el oxígeno disuelto se presenta como una variable influyente negativamente en la Dim1. El pH y la temperatura ambiental presentan débil correlación positivamente.

Cuadrante IV, se presentan las variables como coliformes y fosfatos fuertemente correlacionadas positivamente y con fuerte influencia en la Dim1. sustancia nitrogenada, alcalinidad, conductividad, DBO5 y temperatura del agua se correlacionan positivamente, aunque es débil su influencia en Dim1.

Estos puntos de muestreo están alejados del centro del Biplot y de otros puntos, lo que indica que tienen características fisicoquímicas y microbiológicas significativamente diferentes. Estos resultados sugieren que ciertas secciones del río están más afectadas por contaminantes, mientras que otras mantienen condiciones más estables.

Punto 1: (ZP1ES). Ubicado en el cuadrante superior izquierdo. Similar a ZP4, términos de baja turbidez y conductividad, pero con una ligera diferencia que lo posiciona en otro cuadrante izquierdo. Lo que indica posibles diferencias en otras variables no tan influyentes en Dim1, propias de la buena calidad del agua pura.

Punto 2: (ZP2ELS). Ubicada cercano al origen del gráfico. Con valores promedio en la mayoría de las variables medidas. Representa un punto de muestreo con condiciones ambientales menos extremas en comparación con otros puntos. Este punto probablemente refleja condiciones del río más estables o menos impactadas, con muy poca contaminación.

Punto 3: (ZP3ES). Se ubica también lejanas del origen. Está influenciado levemente con variables como el pH y la diferencia de temperatura. Este punto probablemente refleja condiciones del río más estables o menos impactadas en el medio ambiente del cauce del río.

Punto 4: (ZP4ES). Agrupados en el centro y cuadrante inferior derecho, lo que sugiere que comparten características similares, probablemente con altas lecturas en variables como Coliformes, Dureza, Turbidez, iones de Cloro y NH₄.

Punto 5: (ZP5ES). Ubicada en el cuadrante superior derecho. Similar a ZP4 con altos valores en conductividad y turbidez. Este punto también indica una zona del río con alta carga de sedimentos, altas concentraciones de solutos, partículas en suspensión. contaminantes disueltos. Su relación con valores altos en Dureza, Turbidez, Amonio y Cloruros indican la

presencia de minerales disueltos, lo que puede estar relacionado con la geología del área o con actividades humanas que aportan estas sustancias al agua.

Estos resultados sugieren que ciertas secciones del río están más afectadas por contaminantes, mientras que otras mantienen condiciones más estables, valores evidenciados en la Tabla 20.

Tabla 20

Valores del análisis multivariado obtenidos en los puntos de muestreo del río Zham-Zham, durante la época lluviosa y seca

Puntos de muestreo	Río Zham-Zham			
	Época Lluviosa		Época Seca	
	Calidad	Color	Calidad	Color
Punto 1	Buena		Buena	
Punto 2	Regular		Regular	
Punto 3	Regular		Regular	
Punto 4	Mala		Mala	
Punto 5	Mala		Mala	

4.4. Discusión

La aplicación de la estadística descriptiva permitió interpretar de los datos fisicoquímicos y microbiológicos de manera significativa, conclusión compartida por Hauer & Lamberti, (2021), argumentando que esto se refleja en las condiciones ambientales de los macroinvertebrados y las probables fuentes contaminantes en cada punto de muestreo.

En general, se logró determinar que la abundancia de individuos es mayor en la época lluviosa, coincidiendo con aquellos resultados encontrados por Messerli et al. (2014), Sugiriendo que esta época brinda las condiciones más favorables para la reproducción y supervivencia de los organismos acuáticos durante esta temporada. Sin embargo, Stark, (2010) en su investigación realizada en ríos de agua fría norteamericanos concluye que, la riqueza de grupos es mayor en la época seca en algunos puntos, indicando una mayor diversidad taxonómica cuando las condiciones son más estables y menos influenciadas por el flujo de agua, coincidiendo con los resultados encontrados en esta investigación. Para Jacobsen et al. (Jacobsen et al., 2013), este patrón es consistente con estudios realizados en otros ríos altoandinos de agua fría, donde se ha observado que las fluctuaciones estacionales

influyen significativamente en la composición de macroinvertebrados. Los caudales en ambos ríos muestran fluctuaciones significativas a lo largo de su cauce y época, lo cual es característico de ríos de montaña influenciados por precipitaciones, uso en la producción agropecuaria y microindustrias en las zonas altas (Messerli et al., 2014).

La alta relación de la turbidez, pH y otros indicadores como la conductividad, la salinidad, el amonio y los nitratos reflejan tanto las condiciones naturales como las influencias antropogénicas. Este hallazgo es similar al reportado por Wetzel (2011), quien sugiere que es una contaminación progresiva posiblemente derivada de actividades de talleres automotrices y residenciales situados en la urbe de la ciudad.

Para Dodds (2012), la temperatura del agua influye decididamente en el hábitat de las aguas superficiales, especialmente si se consideran los ríos de altura, la poca solubilidad provoca la influencia de sustancias que producen la eutrofización. De acuerdo a los resultados de investigación, las temperaturas del medio ambiente y del agua están en rangos típicos de ríos altoandinos, sin embargo, con una media de 6,8 °C, podría afectar la vida acuática, especialmente en términos de solubilidad de oxígeno. La variabilidad en los niveles de oxígeno disuelto también sugiere una calidad de agua que puede variar de moderada a baja, especialmente en puntos que además se observan niveles elevados de demanda biológica de oxígeno (DBO5), lo que indica una alta carga orgánica, resultados similares reportados por Custodio & Chanamé (2016)

Según Rodríguez et al. (2019), los niveles de coliformes fecales y totales en ambos ríos son indicadores apropiados para determinar la contaminación por restos fecales, posiblemente de origen humano y animal. La investigación coincide con este criterio, encontrándose que la alta desviación estándar en estos valores refleja una considerable variabilidad y puntos de alta contaminación, alineándose con estudios que muestran un aumento de contaminación microbiológica en ríos que atraviesan áreas urbanas, como el realizado por Stark (2010).

Comparando estos resultados con otros estudios de ríos altoandinos, como los realizados por Acosta (2019), en la ribera del río Vilcanota en Perú y por Donato-Rondón (2021), el río Bogotá en Colombia utilizando Análisis Multivariado, se observa una tendencia similar en la degradación progresiva de la calidad del agua, conforme los ríos atraviesan áreas más urbanizadas y agrícolas. Estos estudios subrayan la importancia de una gestión integral de

cuencas hidrográficas para mitigar los efectos de los contaminantes, para motivar la preservación de los ecosistemas acuáticos.

Para Rees (2019), la presencia de ciertas especies de macroinvertebrados viene constituyendo un gran apoyo en la evaluación de la calidad ecológica en el agua de los ríos. Sin embargo, se requiere identificar la relación la concentración de variables fisicoquímicos y la presencia de indicadores microbiológicos. Por ello resulta de suma importancia el uso de estadísticas de reducción de dimensionalidad como ACP y ACC en la recuperación de particularidades difíciles de identificar con los métodos tradicionales de análisis de las fuentes hídricas, como la fuerte correlación de la concentración de oxígeno disuelto y la presencia de un medio ambiente ideales para la reproducción de los macroinvertebrados como Plecoptera, Ephemeroptera y Trichoptera. Conclusión a la que también llega Armas-Ortiz (2019), en su investigación, indicando que estas especies requieren alta calidad de agua y son sensibles a la contaminación.

Para Arroyo & Encalada (2019), la presencia y diversidad de macroinvertebrados en los ecosistemas acuáticos están estrechamente relacionadas con las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua. En esta investigación se encontró que estos indicadores de contaminación van apareciendo de manera progresiva en cada punto de muestreo del cauce de los ríos y la variabilidad en la conductividad, el pH, el oxígeno disuelto, DQO5, niveles de nutrientes nitrogenados y la temperatura del agua influyen significativamente en la composición de cada comunidad de macroinvertebrados. Pero, para Preston & Lamb (2021), también la altitud también juega un papel importante, con comunidades más diversificadas en altitudes más altas y aguas más frías macroinvertebrados. Estos descubrimientos coinciden con los resultados obtenidos por Rodríguez et al. (2020), quienes reportan una reducción en la riqueza y la cantidad de Ephemeroptera y Trichoptera en presencia de altos niveles de nutrientes, como NO₃ y NH₄.

Según Custodio & Chanamé (2016), la contaminación de ciertos puntos de muestreo es el resultado de procesos naturales como la descomposición de las plantas y otros contribuyentes que aumentan los niveles de nutrientes en el agua superficial, concretamente la esorrentía rica en fertilizantes. En la investigación se encuentra que el enriquecimiento del agua con DBO y DQO5 sigue siendo una de las causas de la mala calidad del agua y del agotamiento del oxígeno disuelto en los ríos. Este hallazgo se similar al reportado por Pauta

et al. (2019), indica además que la baja concentración de oxígeno disuelto es un signo de desequilibrio ecológico, que repercute en la diversidad faunística, y sólo sobrevivirán los taxones que sean tolerantes a la deficiencia de oxígeno. Investigaciones que terminan apoyando los resultados encontrados con la aplicación de Análisis Multivariado (ACP).

En la investigación se identifica una disminución considerable en la calidad del agua en la época seca, coincidiendo con el estudio desarrollado por Jacobsen et al. (2013) y Giacometti (2016), en su investigación de 8 fuentes hídricas en el contorno de la ciudad de Quito, en alturas comprendidas entre los 2600 y 3100 msnm. Sin embargo, Jacobsen et al. (2013) en la investigación realizada ríos de la sierra argentina encuentra que no existe mayor cambio en el número de familias recolectadas en ambas épocas climáticas (invierno y verano), pero sí entre puntos de muestreo; coincidiendo con los resultados encontrados en esta investigación.

Los resultados obtenidos utilizando las metodologías tradicionales de determinación de la calidad del agua (ICA, BMWP/Col y EPT), se concluye que la calidad del agua de dos ríos, van decreciendo desde muy buenas hasta, mala (aguas muy contaminadas), tanto en invierno como en verano; conforme las aguas bajan de las altas llanuras, cruzan la zona urbana y urbano marginal y desagua en el río Cañar. Resultados que coinciden con los obtenidos por Carrera & Fierro (2019), en su estudio de la contaminación de los ríos alto andinos, usando técnicas multivariadas, como el ACP y ACC analizando variables numéricas y categóricas (Walteros-Rodríguez & Castaño-Rojas, 2019),

Mediante el ACP y ACC se identifican a los puntos de muestreo con mayor abundancia de macroinvertebrados, mismos que pertenecen a los primeros dos puntos de muestreo que coinciden con los puntos en los que se encuentra menor conductividad y mayor disponibilidad de oxígeno disuelto y, hallazgos que coinciden con los publicados por Moya et al. (2019). Así mismo, menor riqueza y abundancia cuando el río evidencia indicadores de contaminación (Forero et al., 2014) y los parámetros fisicoquímicos se encuentran entre los valores propuestos por la normativa ambiental vigente en Ecuador TULSMA (2021).

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El análisis descriptivo permitió una comprensión más profunda de cómo los diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos están interrelacionados y cómo varían entre las épocas lluviosa y seca en los puntos de muestreo del cauce de cada río investigados. Conocer los valores máximos y mínimos de cada indicador en cada punto de muestreo, así como la correlación, la varianza y la desviación estándar proporcionan información sobre la variabilidad de los datos, ayudando a identificar la estabilidad de las condiciones del agua y posibles anomalías.

Mediante las tablas de datos se pudo identificar tendencias a largo plazo, ciclos estacionales y cambios abruptos en la calidad del agua. Permitted comparar cada punto de muestreo y detectar patrones espaciales en la distribución de los indicadores microbiológicos y fisicoquímicos, que son indicadores directos de la calidad del agua

Se identificaron varios componentes principales que explican la mayor parte de la variabilidad en los datos. Los primeros componentes principales incluyen variables que afectan significativamente la calidad del agua, tal es el caso del oxígeno disuelto, el pH, la temperatura y la concentración de nutrientes, etc. Las variables microbiológicas, como la concentración de coliformes fecales y otros indicadores de contaminación bacteriana, también jugaron un papel crucial en los primeros componentes. Se encontraron correlaciones significativas entre ciertos parámetros fisicoquímicos y la presencia de macroinvertebrados. Como, los niveles más altos de oxígeno disuelto, pH y temperaturas moderadas estuvieron positivamente correlacionados con una mayor diversidad y abundancia de macroinvertebrados. Los altos niveles de nutrientes, especialmente nitratos y fosfatos, mostraron una correlación negativa los macroinvertebrados sensibles a la contaminación, indicando que la eutrofización podría estar afectando negativamente estos organismos.

Hay una clara correlación positiva entre conductividad, sólidos totales, DQO, NO₃- y una correlación negativa entre estos y pH. oxígeno disuelto y caudal también están correlacionados positivamente, pero con características diferentes en comparación con los otros parámetros. Hay menor variabilidad entre puntos de muestreo en Época Lluviosa, sugiriendo que las condiciones del agua son más uniformes debido a factores como el aumento del caudal que puede diluir contaminantes. A lo contrario, en la época seca, la mayor variabilidad entre puntos de muestreo debe posiblemente a la disminución del caudal y a la mayor concentración de contaminantes en ciertos sitios de muestreo.

El uso de metodologías ACP y ACC que permiten la reducción de dimensionalidad proporcionan una visión integral de la interrelación entre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y como afectan el hábitat normal de ciertos macroinvertebrados en su riqueza y abundancia. Los valores medios del ICA en los sitios de muestreo oscilaron entre 78,67 (Buena) y 36,46 (Mala) en el río Pucuhuayco; y 80,01 (Buena) y 33,02 (Mala) en el río Zham-Zham. Valores medios del índice BMWP/Col 200,5 (Muy buena) y 45 (Crítica) en el río Pucuhuayco; y 175,5 (Muy buena) y 45,00 (Crítica) en el río Zham-Zham. Y valores medios del índice EPT oscila entre 81,89 (Muy buena) y 2,93 (Mala) en el río Pucuhuayco; y 82,61 (Muy buena) y 1,47 (Mala) en el río Zham-Zham. Los resultados del ACP/ACC revelaron que los parámetros seleccionados responsables de la variabilidad en la calidad del agua de los ríos investigados y estaban asociados principalmente con el oxígeno disuelto, pH, sales nitrogenadas, sólidos suspendidos, nutrientes y materia orgánica (antropogénicos).

La investigación demostró que el Análisis Multivariado y el ICA, BMWP/Col y EPT, son enfoques efectivos para determinar la calidad del agua de los ríos y pueden usarse juntos como herramientas útiles para la gestión de la calidad del agua. Aunque la calidad del agua de los ríos se vio influenciada por aguas residuales domésticas no tratadas y efluentes de agropecuarias, la contaminación no alcanzó un nivel crítico sino hasta los últimos dos puntos de muestreo.

Recomendaciones:

Comprender la relación entre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua y la presencia de macroinvertebrados resulta muy importante para desarrollar estrategias efectivas de conservación y gestión de cuencas hídricas. La implementación de prácticas

sostenibles y la reducción de fuentes de contaminación pueden mejorar significativamente la calidad del agua y por consiguiente la diversidad de las especies de macroinvertebrados

Utilizar otros modelos de Análisis Multivariado para investigar más a fondo las relaciones entre variables e identificar posibles fuentes de contaminación, así como el impacto que sufren las aguas de los ríos. Estas correlaciones pueden ser utilizadas para desarrollar modelos de predicción, donde ciertos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos puedan ser predictores de la presencia de macroinvertebrados específicos y con ello, la presencia de factores de contaminación de otros tipos de agua. Agrupar las variables en función de sus correlaciones para identificar grupos de variables que se comportan de manera similar.

Al interpretar los coeficientes de correlación, es crucial tener en cuenta el contexto y la aplicabilidad de los datos. Un coeficiente que se considera significativo en una disciplina puede no serlo en otra. Además, es importante recordar que los coeficientes de correlación no implican causalidad; solo reflejan dirección y fuerza de una relación lineal (en el caso de Pearson) o monótona (en el caso de Spearman), entre dos variables.

Las técnicas usadas, tanto de ACP y CCA, trabajan con observaciones independientes, los puntos de muestreo de los ríos no son independientes. Si bien los resultados del análisis multivariante son congruentes con los resultados esperados por las teorías de calidad de agua, realizar estudios futuros usando técnicas multivariantes que consideren dependencia de datos o que corrijan por ella sería beneficioso para corroborar resultados.

Estos resultados serviría como insumo básico para el desarrollo de estrategias de manejo y conservación de los recursos hídricos en la región, con un enfoque en la reducción de los indicadores y del número de sitios de muestreo, mediante el uso de herramientas del Análisis Multivariado. como alternativa eficaz en el análisis, la interpretación, la comprensión y la aplicación de los datos obtenidos.

REFERENCIAS

- Aatik-Chouari, A. (2024). Evaluación y predicción temporal de calidad de aguas residuales mediante tecnologías IoT y estadísticas multivariantes. *Revista Ambiente & Agua*, 23(43), 451–467. <https://repositorio.ucam.edu/handle/10952/7211>
- Acosta, G. F. (2019). Caracterización físico-química y microbiológica del agua del río Soacha, Cundinamarca, Colombia. *RIAA*, 6(2), 119–144. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5628810>
- Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *Almería*, 2(12), 84–78. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=lbl-WQWRyloC&oi=fnd&pg=PA203&dq=ALBA-TERCEDOR,+J.+Macroinvertebrados+acuáticos+y+calidad+de+las+aguas+de+los+ríos.+In:+IV+Simposio+del+agua+en+Andalucía+\(SIAGA\).+Almería.+p.+203-213.+1996&ots=VgQ9DaYxBo&sig=Zb7aD](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=lbl-WQWRyloC&oi=fnd&pg=PA203&dq=ALBA-TERCEDOR,+J.+Macroinvertebrados+acuáticos+y+calidad+de+las+aguas+de+los+ríos.+In:+IV+Simposio+del+agua+en+Andalucía+(SIAGA).+Almería.+p.+203-213.+1996&ots=VgQ9DaYxBo&sig=Zb7aD)
- Aldaz, E. M., Mayorga, C. A., Padilla, P. A., & González, I. A. (2021). Una experiencia ecuatoriana en la determinación del comportamiento clínico del síndrome de fragilidad en el adulto mayor con ancylostomiasis. *Bol. malaritol. salud ambient*, 61(4), 610–619. <https://doi.org/10.52808/BMSA.7E5.614.008>
- Ali, A., Mudasar, S., Ganie, S. A., Mir, M. U. R., Bilal, S., Hamadani, H., Shah, F., Rashid, Mir, M. U. R., & Majid, S. (2021). Biomonitoring and Bioindicators. *Apple Academic Press*, 14(3), 185–204. <https://doi.org/10.1201/9781003130116-8/BIOMONITORING-BIOINDICATORS-AARIF-ALI-SHAHZADA-MUDASIR-SHOWKAT-AHMAD-GANIE-MANZOOR-UR-RAHMAN-MIR-SHEIKH-BILAL-HENNA-HAMADANI-FOZIA-SHAH-RASHID-MANZOOR-UR-RAHMAN-MIR-SABHIYA-MAJID>
- Almeida, R. G. Z., Ancajima, R. S., & Guzmán, W. J. C. (2024). Aplicación de la estadística multivariante para el desarrollo de un modelo de calidad del agua del Estero El Macho, Machala-Ecuador. *Revista de la Universidad del Zulia*, 15(42), 428–446. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9376296>
- Álvarez, M. H., vía Santo Domingo de Los Tsáchilas Quevedo, Ríos, L., vía Santo Domingo de los Tsáchilas Quevedo, para correspondencia, A., & Osorio, B. G. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador. *redalyc.org*, 9(3), 109–117. <https://www.redalyc.org/pdf/5826/582663826015.pdf>

- Andrade-Figueroa, G. (2023). La gobernanza local en el manejo integral del agua: el caso de la parroquia de Angochagua, Ecuador. Eutopía. *Revista de Desarrollo Económico Territorial*, 30(17), 47–69. <https://doi.org/10.3989/aeamer.2011.v68.i2.554>
- Andrade-Muñoz, A. S., Di Prinzio, C. Y., Assef, Y. A., Kutschker, A. M., Alday, G., Dromaz, W. M., & Miserendino, M. L. (2023). Implications of wastewater discharges on environmental features and fish communities in an urban river. *Springer*, 26(3), 779–791. <https://doi.org/10.1007/s11252-023-01331-1>
- Arias, A. R. L., Buss, D. F., Albuquerque, C. D., Inácio, A. F., Freire, M. M., Egler, M., & Baptista, D. F. (2017). Uso de bioindicadores en la evaluación de impacto y seguimiento de la contaminación de ríos y arroyos por plaguicidas. *Ciência & Saúde Coletiva*, 12(1), 61–72. <https://www.scielo.org/pdf/csc/2007.v12n1/61-72/pt>
- Armas-Ortiz, V. P. (2019). *Efectos de la cobertura vegetal y las variables físico-químicas sobre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la cuenca alta de La Antigua, Veracruz*. 12(7), 36–54. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/42608/ArmasOrtizVeronica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Armitage, P. D., Moss, D., & Wright, J. F. (2018). The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *ElsevierPD Armitage, D Moss, JF Wright, MT FurseWater research*, 4(7), 37. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135483901884>
- Arroyo, C., & Encalada, A. (2019). Evaluación de la calidad de agua a través de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos en ríos tropicales en bosque de neblina montano. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 1(1). <https://doi.org/10.18272/ACI.V1I1.4>
- Barbour, M. T. (1999). Rapid bioassessment protocols for use in wadeable streams and rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish. En *US Environmental Protection Agency, Office of Water*. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=biH8Dj_r6LMC&oi=fnd&pg=PA11&q=related:gyi5XMBKGUkJ:scholar.google.com/&ots=GHiMWhryPp&sig=PWK00HnEZrXtp4_povyfSV4y488
- Baršienė, J., Lehtonen, K. K., Koehler, A., Broeg, K., Vuorinen, P. J., Lang, T., & Kopecka, J. (2022). Water potability parameters for human consumption: an integrative review. *Research, Society and Development*, 11(1), 117–133.

<https://doi.org/10.33448/RSD-V11I1.25118>

- Belkhiri, L., Narany, T. S., Tahoor, &, & Narany, S. (2015). Using multivariate statistical analysis, geostatistical techniques and structural equation modeling to identify spatial variability of groundwater quality. *SpringerL Belkhiri, TS NaranyWater Resources Management, 2015•Springer, 29(6)*, 2073–2089. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-0929-7>
- Bem, C. arla C. (2015). *Macroinvertebrados bentônicos - Estratégia de monitoramento para a gestão de recursos hídricos. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.*
<https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/bitstream/handle/1884/40428/R - T - CARLA CRISTINA BEM.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Bernard, C. (2019). Definición de la vida. Las teorías antiguas y la ciencia moderna. *Revista Cubana de Salud Pública, 41(2)*, 369–386.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662015000200014&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Biscalquini, A, C. (2019). Uso de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade da água da microbacia do córrego dos Palmitos, Orlândia-SP. *Orlândia-SP.*
<https://bdtd.uftm.edu.br/handle/tede/689>
- Brown, K. S. (1997). Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: Insects as indicators for conservation monitoring. *Journal of Insect Conservation, 1(1)*, 25–42. <https://doi.org/10.1023/A:1018422807610>
- Burgos, A., el manejo de cuencas, G. B.-, CIGA-UNAM, M., & undefined 2015. (2016). La cuenca hidrográfica como espacio geográfico. Dimensiones sociales en el manejo de cuencas, México. *CIGA-UNAM, researchgate.net, 12(1)*, 11–29.
https://www.researchgate.net/profile/Ana-Burgos-5/publication/303383018_Dimensiones_Sociales_en_el_Manejo_de_Cuencas/links/573f731408aea45ee844feb1/Dimensiones-Sociales-en-el-Manejo-de-Cuencas.pdf#page=20
- Callisto, M., Moretti, M., & Goulart, M. (2001). Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 60(1)*, 71–82. https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/42/f2cbc3819ef9ea7b38df0aec2d7a4c91_289d12cdd65026d2b06857ccfb57cd11.pdf
- Carrera, C., & Fierro, K. (2019). Invertebrate drift and colonization processes in a tropical

- Andean stream. En *Aquatic Biology* (Vol. 14, Número 3). <https://www.int-res.com/abstracts/ab/v14/n3/p233-246/>
- Carrera Reyes, C., & Fierro Peralbo, K. (2011). Manual de monitoreo los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. *EcoCiencia*. En *Amazon. Water* (Vol. 13, Número 12). https://www.mdpi.com/2073-4441/13/12/1692?utm_campaign=releaseissue_waterutm_medium=emailutm_source=releaseissueutm_term=doilink73
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (2001). Change in marine communities. An approach to statistical analysis and interpretation. *Researchgate.net* KR Clarke, RM, 13(2), 67–87. https://www.researchgate.net/profile/Aimeric-Blaud/post/Can_anyone_help_me_in_understanding_and_clearly_interpreting_ANOS_IM_Analysis_of_Similarityand_SIMPER_Similarity_percentage_analysisresults/attachment/59d63f3ec49f478072ea9897/AS%3A273777156395016%401
- Coello, J. R., Ormaza, R. M., Recalde, C. G., & Rios, A. C. (2016). Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoche, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 16(31), 66–71. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11281/10118>
- Connor, R., Coates, D., Uhlenbrook, S., & Koncagul, E. (2018). *Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2018: soluções baseadas na natureza para a gestão da água, resumo executivo*. <https://policycommons.net/artifacts/8204418/relatorio-mundial-das-nacoes-unidas-sobre-desenvolvimento-dos-recursos-hidricos-2018/9114986/>
- Cortes, S. (2023). Interacción de sistemas normativos globales y locales en la gobernanza del agua análisis desde la experiencia ecuatoriana. *Journal of Political Ecology*, 30(1), 147–193. <https://doi.org/10.3989/aeamer.2011.v68.i2.554>
- Costa, A. F. S., Teixeira, C. M., Silva, C. S., Nascimento, J. A. Do, Oliveira, M. M., Queiroz, Y. D. O., & Silva, M. D. J. (2019). Recursos hídricos. *Ciências Exatas E Tecnológicas - UNIT - SERGIPE*, 1(1), 67–73. <https://periodicosgrupotiradentes.emnuvens.com.br/cadernoexatas/article/view/201>
- Custodio, M., & Chanamé, F. (2016). Analysis of benthic macroinvertebrates biodiversity of Cunas river by means of environmental indicators, Junin-Peru. *Scientia agropecuaria*, 7(1), 33–44. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.01.04>

- De Oliveira, A. C., Valentim, I. B., Goulart, M. O. F., Silva, C. A., Bechara, E. J. H., & Trevisan, M. T. S. (2009). Vegetals as natural sources of antioxidants. *Quimica Nova*, 32(3), 689–702. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422009000300013>
- Dodds, W. K. (2012). Freshwater ecology: concepts and environmental applications. *Elsevier*, 13(4), 232–247. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3OR0102I7n4C&oi=fnd&pg=PP1&dq=Dodds,+W.+K.,+%26+Whiles,+M.+R.+\(2010\).+Freshwater+Ecology:+Concepts+and+Environmental+Applications+of+Limnology.+Academic+Press.&ots=WWcFUTdXIh&sig=U4IJnZFT9zCRA19YS1Koks55lxg](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3OR0102I7n4C&oi=fnd&pg=PP1&dq=Dodds,+W.+K.,+%26+Whiles,+M.+R.+(2010).+Freshwater+Ecology:+Concepts+and+Environmental+Applications+of+Limnology.+Academic+Press.&ots=WWcFUTdXIh&sig=U4IJnZFT9zCRA19YS1Koks55lxg)
- Dominguez-Granda, L., Lock, K., & Goethals, P. L. (2018). Using multi-target clustering trees as a tool to predict biological water quality indices based on benthic macroinvertebrates and environmental parameters in the Chaguana watershed (Ecuador). *Ecological Informatics*, 6(5), 303–308. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574954111000483>
- Domínguez, E., & Giorgi, A. (2020). *Los indicadores biológicos como herramientas de gestión de la calidad del agua*. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/146379>
- Donato-Rondón, J. C. (2021). Decálogo de impactos ambientales: Geografía de las transformaciones en sistemas acuáticos de Colombia. *Elsevier*, 13(5), 123–134. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/84741>
- Dornfeld, C. B. (2006). *Utilização de Chironomus sp (Diptera, Chironomidae) para a avaliação da qualidade de sedimentos e contaminação por metais. Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo*. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-07122006-085805/en.php>
- Erneus-Jácome, E., & Yáñez, P. (2019). Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador. *Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1), 36–50. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-85962018000100036
- Fan, X., Cui, B., Zhao, H., Zhang, Z., & Zhang, H. (2019). Assessment of river water quality in Pearl River Delta using multivariate statistical techniques. *Elsevier Procedia environmental sciences.*, 2(13), 89–102. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029610001660>
- Ferreira, J., Acuña, G., & Barrera, J. (2019). Análisis sobre el comportamiento del Throughput en redes LAN bajo tecnología Power Line Communications. *ITECKNE*,

- 2, 127. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4991603>
- Forero, L. C., Longo, M., John Jairo Ramírez, R., & Chalar, G. (2014). Índice de calidad ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para la cuenca del Río Negro (ICERN-MAE), Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 62, 233–247. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15790>
- Giacometti, J. C. (2016). Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. *Boletín Técnico, Serie Zoológica*, 6(2). <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-serie-zoologica/article/view/1394>
- Goulart, M., & Calixto, M. (2013). Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. *Revista da FAPAM*, 3(14), 79–85. https://www.academia.edu/download/38791003/bioindicadores_19.10.2010.pdf
- Guaraca, D. (2007). RESEÑA HISTORICA Y MEMORIA URBANO ARQUITECTONICA. CIUDAD DE “CAÑAR”. *Informe Técnico*, 3, 1–110.
- Guevara-Pérez, E., Márquez-Romance, A. M., & Mejia-Marcacuzco, J. A. (2022). Need for integrated water resources management. *DYNA. Energía y Sostenibilidad*, 11(1), 101–138. <https://doi.org/10.6036/ES10470>
- Hannaford, M. J., Barbour, M. T., & Resh, V. H. (1997). Training reduces observer variability in visual-based assessments of stream habitat. *Journal of the North American Benthological Society*, 16(4), 853–860. <https://doi.org/10.2307/1468176>
- Hasdenteufel, P., Rodríguez, J. M., Baume, O., & Torres Gomez de Cadiz, R. J. (2018). La Geoecología como herramienta para la gestión ambiental: Estudio de caso de la cuenca hidrográfica superficial del río Quibú, Provincia Ciudad de La Plata. *SciELO Argentina*, 17(1), 309–329. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1852-42652008000200013&script=sci_arttext
- Hauer, F. R., & Lamberti, G. (2021). Methods in stream ecology. En *Volume 1: Ecosystem structure*. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=TwrSBgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Hauer,+F.+R.,+%26+Lamberti,+G.+A.+\(Eds.\).+\(2017\).+Methods+in+Stream+Ecolgy.+Academic+Press.&ots=A1pDo2yctp&sig=yUtOs-LroFq9UDxiXJ2AnqrmRFE](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=TwrSBgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Hauer,+F.+R.,+%26+Lamberti,+G.+A.+(Eds.).+(2017).+Methods+in+Stream+Ecolgy.+Academic+Press.&ots=A1pDo2yctp&sig=yUtOs-LroFq9UDxiXJ2AnqrmRFE)
- Hauke, J., & Kossowski, T. (2011). Comparison of values of Pearson’s and Spearman’s correlation coefficients on the same sets of data. *sciendo.com J Hauke, T Kossowski Quaestiones geographicae*, 30(2), 87–93. <https://doi.org/10.2478/v10117-011-0021-1>

- Helena, B., Pardo, R., Vega, M., Barrado, E., Fernandez, J., & Fernandez, L. (2008). Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. *Water research*, 34(8), 807–816. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135499002250>
- Hernández, Y., López, D., & Moya, F. (2020). Monitoreo ambiental como herramienta para el seguimiento continuo previsto en la evaluación de impacto ambiental. *Espacios*, 40(3), 17. https://www.academia.edu/download/62627404/32._Espacios20200331-105245-1pyb7pk.pdf
- Hotelling, H. (1933). Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of educational psychology*, 24(6), 417. <https://psycnet.apa.org/record/1934-00645-001>
- Huang, F., Wang, X., Lou, L., Zhou, Z., Research, J. W.-W., & undefined 2010. (2010). Spatial variation and source apportionment of water pollution in Qiantang River (China) using statistical techniques. *Water research*, 44(5), 1562–1572. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135409007222>
- Hutchinson, G. T., Patock-Peckham, J. A., Cheong, J., & Nagoshi, C. T. (1998). Irrational beliefs and behavioral misregulation in the role of alcohol abuse among college students. *Journal of Rational - Emotive and Cognitive - Behavior Therapy*, 16(1), 61–74. <https://doi.org/10.1023/A:1024950407778>
- Jacobsen, D., Acobsen, D. J., Rostgaard, S. G., An, J. U., Va´scone, J., & Va´scone, V. (2013). Are macroinvertebrates in high altitude streams affected by oxygen deficiency? *Wiley Online Library D Jacobsen, S Rostgaard, JJ Váscone Freshwater Biology*, 2003•*Wiley Online Library*, 48(11), 2025–2032. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.01140.x>
- Júnior, B. (2022). *Elementos de Hidrologia aplicada*. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=UXuiEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP9&dq=Hidrologia:+ciência+e+aplicação&ots=CRSBos6FYx&sig=n1W9NRT1c-iOOdZQP1VtkArrl58>
- Koncagül, E., Tran, M., & Connor, R. (2021). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2021: el valor del agua; datos y cifras*. <https://policycommons.net/artifacts/10610847/informe-mundial-de-las-naciones-unidas-sobre-el-desarrollo-de-los-recursos-hidricos-2021/11516671/>
- Lazo-Sedamano, H. del P., & Valera-Escobar, A. S. (2018). MODELO DE INTRANET

- PARA MEJORAR LA CALIDAD DE SERVICIO (QoS) DE LA RED DE DATOS EN LA I.E. J.E.C. TUPAC AMARU LIRCAY - HUANCVELICA. *Repositorio Institucional - UNH*, 80. <https://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1501>
- Lera-Modino, M. (2021). *Estudio de la transición entre la sedimentación zonal y floculada mediante la aplicación de técnicas de análisis de imagen*. 13(10), 23. <https://riunet.upv.es/handle/10251/177134>
- Lopes, M. M., Ribeiro, M. L., & Teixeira, D. (2019). O comitê de bacia hidrográfica como foco de estudo em dissertações e teses. *Revista Brasileira Multidisciplinar*, 18(2), 113–125. <http://www.revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/331>
- Lupi, O. D., Zaradnik, I. J., & Canziani, B. (2022). Estado de arte de los sistemas de monitoreo de calidad de agua. *Revista Internacional de contaminación del agua*, 32(2), 1333–2525. <https://repositoriocyt.unlam.edu.ar/handle/123456789/1221>
- Magallon Ortega, G., Escalera Gallardo, C., López-López, E., Sedeño-Díaz, J. E., Lopez Hernandez, M., Arroyo-Damián, M., & Moncayo-Estrada, R. (2021). Water quality analysis in a subtropical river with an adapted biomonitoring working party (BMWP) index. *mdpi.com*, 13(11), 606. <https://www.mdpi.com/1424-2818/13/11/606>
- Maia, K. P., Silva, G. A., e Ambiental, M. L.-E. S., & undefined 2019. (2019). Aplicação de análise multivariada no estudo da frequência de amostragem e do número de estações de monitoramento de qualidade da água. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 24(1), 1013–1025. <https://www.scielo.br/j/esa/a/phPHRkf98TzNSyQvb8PdrVr/>
- Maidment, D. R., Mays, L., & Larry, W. (1994). Hidrología aplicada. Aguas superficiales. En *academia.edu*. https://www.academia.edu/download/39861049/hidrologia_aplicada_-_ven_te_chow_-_mc_graw_hill_-_completo_ocioso.pdf
- Markert, B., Oehlmann, J., & Roth, M. (2007). General aspects of heavy metal monitoring by plants and animals. *Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu.*, 14(3), 47–57. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/bk-1997-0654.ch002>
- Messerli, B., Viviroli, D., & Weingartner, R. (2014). Mountains of the world: Vulnerable water towers for the 21 st century. *Ambio*, 33(SPEC. ISS. 13), 29–34. <https://doi.org/10.1007/0044-7447-33.SP13.29>
- Molano, M., Model, D. G.-J. C. I., & undefined 2019. (2019). Determinación del índice BMWP/Col, mediante la utilización de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de agua, en el cauce del río Guachicos. *Chem Inf Model*, 53(9), 1683–1699. <https://core.ac.uk/download/pdf/344726203.pdf>

- Molerio León, L. F. (2019). Gestión de recursos hidráulicos bajo riesgo de terremotos en Ecuador: Sismotectónica. Ingeniería Hidráulica y Ambiental. *scielo.sld.cu*, 39(3), 3–17. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382018000300003&script=sci_arttext
- Morales, G. C. H., Gutiérrez, M. Y. J., & Andrade, L. D. C. (2023). Muestreo y Calidad del Agua. *Fondo Editorial Fundación Koinonía*, 10(1), 124-124. <https://www.fondoeditorialfk.org/index.php/fondoeditorial/article/view/35>
- Moya, N., Gibon, F. M., Oberdorff, T., Rosales, C., & Domínguez, E. (2019). Comparación de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos intermitentes y permanentes del altiplano boliviano: implicaciones para el futuro cambio. *Ecología aplicada*, 8(2), 105-114. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162009000100012&script=sci_arttext&tlng=en
- Olmos, R. R. (2003). *El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis*. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=b81-xhcHPEYC&oi=fnd&pg=PA11&dq=Los+efluentes+de+cualquier+fuentes+contaminante+sólo+podrán+ser+vertidos+directamente+a+los+cuerpos&ots=Twm3NF9Dwh&sig=S6uG1-6eZKAcEIY4uped9LMRToM>
- Ouyang, Y., Nkedi-Kizza, P., Wu, Q. T., Shinde, D., & Huang, C. H. (2016). Assessment of seasonal variations in surface water quality. *Water research*, 40(20), 3800–3810. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2006.08.030>
- Padilla, A. M. G. (2015). Demanda hídrica y calidad de agua de uso agrícola de la cuenca del río Jequetepeque, Perú. *REBIOL*, 35(2), 5–18. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/faccbiol/article/view/1071>
- Paniagua-Zambrana, N. Y., Bussmann, R. W., Echeverría, J., & Romero, C. (2020). *Chuquiraga atacamensis Kuntze Chuquiraga jussieui J.F. Gmel. Chuquiraga spinosa Less. Chuquiraga weberbaueri Tovar Asteraceae*. 1–9. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77093-2_70-2
- Paucar, J. E. Q. (2023). Análisis multitemporal del cambio del recurso hídrico (2013–2023) en los páramos de la parroquia Isinliví provincia de Cotopaxi. En *Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)*. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/11440>
- Pauta, G., Velazco, M., Gutiérrez, D., Maskana, G. V.-, & undefined 2019. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *dialnet.unirioja.es*, 6, 221–143.

- <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7345331>
- Pimenta, S. M., Boaventura, G. R., Peña, A. P., & Ribeiro, T. G. (2016). Estudo da qualidade da água por meio de bioindicadores bentônicos em córregos da área rural e urbana. *Revista Ambiente & Água, 11*(2), 198-210. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Pratt, J. M., & Coler, R. A. (2006). A procedure for the routine biological evaluation of urban runoff in small rivers. *Water Research, 10*(11), 1019–1025. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004313547690083X>
- Prestes, R. M., & Vincenci, K. L. (2019). Bioindicadores como avaliação de impacto ambiental. *Journal of Animal and Environmental Research, 2*(4), 1473–1493. <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/3258>
- Preston, D. L., & Lamb, R. W. (2021). Effects of trout aquaculture on water chemistry of tropical montane streams in Ecuador. *River Research and Applications, 37*(10), 1562–1566. <https://doi.org/10.1002/RRA.3860>
- Purihuamán-Leonardo, C. N., & Sánchez-Bustamante, E. F. (2022). Comunidades de macroinvertebrados bentônicos como bioindicador de calidad de agua en un sector del rio Chotano, Perú. *Revista Tecnología en Marcha, 35*(3), 117–127. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0379-39822022000300117&script=sci_arttext
- Rebouças, A. da C. (2001). Água e desenvolvimento rural. *Estudos Avançados, 15*(43), 327–344. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142001000300024>
- Rees, C. (2019). Methods in stream ecology. *search.proquest.com, 13*(6), 134–151. <https://search.proquest.com/openview/bf11b453e04c4c95db4ca97c3981b339/1?pq-origsite=gscholar&cbl=46510>
- Regina, N. M. M. (2019). Biological monitoring and pollution assessment of the Mukuvisi River, Harare, Zimbabwe. *Lakes and Reservoirs: Science, Policy and Management for Sustainable Use, 17*(1), 73–80. <https://doi.org/10.1111/J.1440-1770.2012.00497.X>
- Reis, B. C. (2022). *Macroinvertebrados bentônicos como indicadores biológicos da qualidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piranga–MG*. <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/3344>
- Restrepo, L. F., & González, J. (2007). De pearson a spearman. *scielo.org.co., 20*(2), 32. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-06902007000200010&script=sci_arttext
- Rodrigues, A. S. D. L., & Castro, P. D. T. A. (2008). *Protocolos de avaliação rápida: instrumentos complementares no monitoramento dos recursos hídricos*.

- <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/8285>
- Rodríguez, D. C., Alejandro, D., Rodriguez, C., & Pérez, F. M. (2019). Calidad del agua en Ecuador. *Calidad del Agua en las Américas. IANAS La Red Interamericana de Academias de Ciencias*, 14(3), 379–421. https://www.researchgate.net/profile/Diego-Chalarca-Rodriguez/publication/335686525_Calidad_del_agua_en_Colombia/links/5d74ff734585151ee4a69aeb/Calidad-del-agua-en-Colombia.pdf#page=285
- Rodríguez, Jurado, Y., & Rodríguez, V. (2020). Estructura numérica de los insectos acuáticos en la deriva y su relación con la comunidad bentónica, en un tramo del río Zaratí, provincia de Coclé, Panamá. *Panamá. Tecnociencia*, 24(1), 45–71. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/224/2243301003/>
- Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.*, 40(155), 254–274. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0370-39082016000200007&script=sci_arttext
- Silva, R. M. A. (2013). Entre dois paradigmas: combate à seca e convivência com o semiárido. *Revista Sociedade e Estado, Brasília.*, 18(12), 361–385. <https://www.scielo.br/j/se/a/P7t9S99gxSqYsNbSDVHLc9k/>
- Silveira-Rabelo, A. C., & Caldeira-Costa, D. (2018). A review of biological and pharmacological activities of *Baccharis trimera*. *Chemico-Biological Interactions*, 296, 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2018.09.002>
- Singh, G., Patel, N., Jindal, T., Srivastava, P., & Bhowmik, A. (2020). Assessment of spatial and temporal variations in water quality by the application of multivariate statistical methods in the Kali River, Uttar Pradesh, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(6), 1–26. <https://doi.org/10.1007/S10661-020-08307-0/METRICS>
- Sonoda, K. C. (2009). *Monitoramento biológico das águas no Bioma Cerrado utilizando insetos aquáticos: uma revisão.* <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2010/31553/1/doc-256.pdf>
- Sotomayor, G. (2019). *Evaluación de la calidad de las aguas superficiales mediante técnicas de estadística multivariante: Un estudio de caso en la cuenca del Río Paute, al sur de Ecuador. Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata.* <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/53959>

- Stark, J. R. (2010). Water Quality in the Upper Mississippi River Basin, Minnesota, Wisconsin, South Dakota, Iowa, and North Dakota, 2009-2010. *US Geological Survey, Water Resources Division.*, 12(11), 79–98.
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=qF3fO_JzpLAC&oi=fnd&pg=PR4&dq=Frenzel,+S.+A.,+Couvillion,+C.+S.,+%26+Boulger+Jr,+R.+W.+\(1998\).+Water+quality+in+the+Upper+Mississippi+River+Basin,+Minnesota+and+Wisconsin,+1991-92.+US+Geological+Survey.&ots=cClvu](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=qF3fO_JzpLAC&oi=fnd&pg=PR4&dq=Frenzel,+S.+A.,+Couvillion,+C.+S.,+%26+Boulger+Jr,+R.+W.+(1998).+Water+quality+in+the+Upper+Mississippi+River+Basin,+Minnesota+and+Wisconsin,+1991-92.+US+Geological+Survey.&ots=cClvu)
- Ter-Braak, C. J. (1986). Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67(5), 1167–1179.
<https://doi.org/10.2307/1938672>
- Terneus-Jácome, E., & Yánez, P. (2019). Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador. *Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1), 36–50.
http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-85962018000100036
- Tito, M. N.-G., Vásquez-Ramos, J. M., Tito, M. N.-G., & Vásquez-Ramos, J. M. (2022). Construcción de un índice integral basado en macroinvertebrados para determinar la calidad del agua con influencia agroindustrial. *Scientia Agropecuaria*, 13(2), 117–123. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2022.010>
- Torres-Vintimilla, J. E. (2023). El Cambio Climático como síntoma del Antropoceno y sus implicaciones en el futuro del agua; caso de estudio Cuenca y el Parque Nacional Cajas. En *Repositorio.flacsoandes.edu.ec*.
<https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/17340>
- Torres, P., Cruz, C. H., & De, P. J. P.-. (2019). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad undefined 2009*, 8(15), 79–94.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-33242009000300009&script=sci_arttext
- Wallace, J. B., & Webster, J. R. (1996). The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. *Annual Review of Entomology*, 41(1), 115–139.
<https://doi.org/10.1146/ANNUREV.EN.41.010196.000555>
- Walteros-Rodríguez, J. M., & Castaño-Rojas, J. M. (2019). Composición y aspectos funcionales de los macroinvertebrados acuáticos presentes en una microcuenca de cabecera en los Andes de Risaralda, Colombia. *scielo.org.co*, 11(3), 581–592.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0370-39082020000200581&script=sci_arttext

- Warwick, R. M. (1993). Environmental impact studies on marine communities: pragmatical considerations. *Wiley Online LibraryRM WarwickAustralian Journal of ecology, 1993*•*Wiley Online Library, 18*(1), 63–80. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1993.tb00435.x>
- Wetzel, R. G. (2011). *Limnology: lake and river ecosystems*. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=no2hk5uPUcMC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Wetzel,+R.+G.+\(2001\).+Limnology:+Lake+and+River+Ecosystems.+Academic+Press.&ots=iHOEo3MNwO&sig=SBbyCDWd6sabEs-Lq11VQqrN-d0](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=no2hk5uPUcMC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Wetzel,+R.+G.+(2001).+Limnology:+Lake+and+River+Ecosystems.+Academic+Press.&ots=iHOEo3MNwO&sig=SBbyCDWd6sabEs-Lq11VQqrN-d0)
- Whitfield, J. (2019). Vital signs. *Nature, 411*(6841), 989–991. <https://go.gale.com/ps/i.do?p=AONE&sw=w&issn=00280836&v=2.1&it=r&id=GAL E%7CA187996632&sid=googleScholar&linkaccess=fulltext>
- World Health Organization. (2024). *Sanitary inspection packages-a supporting tool for the Guidelines for drinking-water quality: small water supplies*. World Health Organization. (p. 167). <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health/water-safety-and-quality/drinking-water-quality-guidelines>
- Xavier, M. D., Quadros, H. C., & da Silva, M. S. S. (2022). Water potability parameters for human consumption: an integrative review. *Research, Society and Development., 11*(3), 357–397. <https://doi.org/10.33448/RSD-V11I1.25118>
- Zhang, X., Wang, Q., Liu, Y., Wu, J., & Yu, M. (2021). Application of multivariate statistical techniques in the assessment of water quality in the Southwest New Territories and Kowloon, Hong Kong. *Environmental Monitoring and Assessment, 173*(1–4), 17–27. <https://doi.org/10.1007/S10661-010-1366-Y>

ANEXOS

TABLA 22

Datos fisicoquímicos y microbiológicos originales del Río Pucuhuayco.

RIO	Rio Pucuhuayco																													
	Lluviosa			Seca			Lluviosa			Seca			Lluviosa			Seca			Lluviosa			Seca								
TEMPORADA	P1			P1			P2			P2			P3			P3			P4			P4			P5			P5		
PUNTO	P1			P1			P2			P2			P3			P3			P4			P4			P5			P5		
MES	3	4	5	8	9	10	3	4	5	8	9	10	3	4	5	8	9	10	3	4	5	8	9	10	3	4	5	8	9	10
Profundidad (cm)	15	15	14	10	10	9	16	15	19	11	10	9	17	18	15	9	8	8	17	15	14	9	10	9	16	17	15	9	9	8
Caudal (Lts)	870	900	820	570	510	480	1760	1350	1210	630	600	580	1120	970	1350	710	690	680	280	490	330	180	160	140	210	190	180	130	140	120
Temp_Amb (°C)	7,9	8,9	8,9	9,9	9,9	10,9	9,9	8,9	8,9	10,9	11,9	11,9	11,9	10,9	10,9	12,9	11,9	11,9	12,9	14,9	14,9	16,9	17,9	16,9	13,9	13,9	14,9	17,9	17,9	18,9
Temp_agua (°C)	5,7	6,1	6,3	6,5	6,7	7,1	7,8	7,6	7,1	8,7	8,9	8,8	9,4	9,7	9,2	9,5	9,7	9,4	8,9	8,6	8,6	9,7	10,1	10,2	9,2	9,3	9,4	10,2	10,1	10,2
Turbidez (NTU)	2,75	2,08	2,15	0,68	0,99	1,67	2,67	3,76	5,87	1,83	1,96	1,76	7,67	8,23	10,45	2,33	3,17	2,96	24,79	19,17	18,56	18,72	18,1	18,23	54,34	47,34	42,67	40,12	39,03	37,78
pH	7,02	7,07	7,13	7,1	7,09	7,01	7,31	7,25	7,15	7,01	7,13	7,17	7,69	7,65	7,59	7,68	7,97	7,86	5,67	5,78	5,8	5,2	5,01	5,07	5,83	5,56	5,41	4,09	5,01	4,11
Alcalinidad (mg/l)	25,8	24,56	20,12	28,1	30,1	22,1	45	52	54	55	52	56	70,1	70	73	82	91	90	113	100	103	120	118	120	503	630	458	744	674	721
Conductividad (µS cm-1)	41,9	51,8	59,3	52,34	63,2	60,4	102,8	104,5	103,7	142,7	157,5	154,9	135,7	138,4	140,8	188,5	250,4	274,8	330,4	336,6	367,2	487,2	518,5	509,6	515,7	578,4	534,6	647,5	693,7	743,7
Salinidad (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
PO4- (mg/L)	0,38	0,41	0,4	0,43	0,41	0,42	0,4	0,41	0,41	0,42	0,43	0,45	0,68	0,85	0,75	0,89	0,91	0,9	1,12	2,01	2,23	2,45	2,73	3,34	2,93	2,09	2,12	3,94	4,01	3,78
NH4 (mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,5	0,05	0,06	0,07	0,09	0,09	0,1	0,13	0,15	0,14	0,16	0,19	0,87	0,91	1,01	1,37	1,67	1,91
NO3- (mg/L)	0,1	0,3	0,4	0,3	0,5	0,6	1,9	2,2	2,3	2,71	2,82	2,65	2,05	2,67	2,51	3,52	3,17	3,78	12,1	13,97	14,13	14,13	14,23	14,19	13,34	13,76	13,93	13,62	13,51	13,63
NO2- (mg/L)	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,11	0,21	0,24	0,33	0,44	0,51	0,68	0,78	0,78	1,01	1,03	1,02	1,12	1,22	1,31	1,34	1,37	1,39	1,67	1,69	1,75	1,77	1,78	1,79
K+1 (mg/L)	0,355	0,347	0,322	0,376	0,389	0,398	0,835	0,756	0,924	0,876	0,881	0,876	1,025	1,027	1,032	1,037	1,041	1,039	1,125	1,827	1,032	2,037	1,741	1,539	2,125	2,527	1,132	2,237	2,741	1,839
OxigDisuelto (mg/L)	10,52	10,38	10,46	10,1	10	9,1	9,6	9,7	9,3	7,9	7,2	6,2	8,8	8,5	8,6	6,1	6,1	5,9	4,2	4,1	4,1	3,9	3,4	3,4	2,3	2,5	2,5	2,1	2,1	1,2
DBO5 (mg/L)	0,88	0,86	0,87	0,66	0,68	0,67	1,97	1,98	1,96	1,89	1,89	1,88	3,73	3,74	3,73	3,83	3,87	3,81	7,22	7,21	7,23	8,09	8,11	8,09	11,18	11,19	11,17	11,06	11,08	11,07
DQO (mg/L)	23	27	38	64	73	79	156	173	174	179	181	187	302	312	323	359	341	354	367	368	387	405	408	415	417	460	464	531	587	618
Cl- (mg/L)	1,4	1,49	1,49	1,59	1,69	1,76	2,5	2,56	2,59	2,68	2,69	2,79	7,1	7,18	7,21	9,23	9,28	8,35	41	43	43,6	44,5	44,5	44,5	54	54,1	55,1	55,6	56,6	56,7
DurezaT (mg/L)	25,2	26,2	27,2	27,9	29	34,7	38	35,3	29,8	35,3	36,9	40,1	49,8	57,7	58,4	61,2	59,7	67,1	92,6	90,1	93,3	93,4	97,1	100,1	170,9	171	171,9	172,2	172,5	184
SólidosT (mg/L)	62	57	62	83	79	64	120	100	111	132	146	163	189	164	178	197	193	198	213	214	215	216	217	218	347	349	349	349	350	351
Colif (UFC/100ml)	7	8	8	17	18	21	171	187	211	245	317	453	954	845	895	901	998	1034	3500	4567	4050	6503	7996	9645	16045	27500	19300	53200	54600	59600
ColiT (UFC/100ml)	9	10	12	20	22	27	214	217	243	287	393	512	1107	1056	1083	1144	1297	1148	3885	5526	4617	7478	9195	10802	20056	31625	22388	68096	64428	72712

Tabla 23

Datos fisicoquímicos y microbiológicos originales del Río Zham-Zham.

RIO	Rio Zhami-Zham																													
	Lluviosa			Seca			Lluviosa			Seca			Lluviosa			Seca			Lluviosa			Seca			Lluviosa			Seca		
TEMPORADA	Lluviosa			Seca			Lluviosa			Seca			Lluviosa			Seca			Lluviosa			Seca			Lluviosa			Seca		
PUNTO	P1			P1			P2			P2			P3			P3			P4			P4			P5			P5		
MES	3	4	5	8	9	10	3	4	5	8	9	10	3	4	5	8	9	10	3	4	5	8	9	10	3	4	5	8	9	10
Profundidad (cm)	12	10	9	8	10	9	13	14	12	9	10	9	14	12	10	9	9	9	16	15	12	8	6	7	16	17	14	8	7	7
Caudal (Lts)	870	910	870	570	520	430	860	840	910	630	600	580	860	830	740	630	690	520	670	610	650	520	500	470	370	390	270	170	190	170
Temp_Amb (°C)	7,1	7,3	7,5	8,9	8,9	8,9	8,9	9,9	9,9	10,9	10,9	9,9	9,9	10,9	11,9	12,9	13,9	12,9	12,9	12,9	13,9	14,9	14,9	15,9	13,9	13,9	14,9	17,9	17,9	16,9
Temp_agua (°C)	6,3	6	6,2	6,7	6,8	6,7	7,2	7,2	7,5	8,1	8,1	8,2	8,6	8,5	8,7	9,1	8,8	9,3	9,6	9,6	9,5	10,1	9,9	10,2	10	10,1	10,2	11,3	11,6	11,9
Turbidez (NTU)	1,02	1,58	2,2	0,18	0,45	1,117	2,17	3,26	5,37	1,33	1,46	1,26	7,17	7,73	9,95	1,83	2,67	2,46	24,29	18,67	18,06	18,22	17,6	17,73	53,34	44,34	39,67	36,12	37,03	32,78
pH	7,12	7,03	7,1	6,85	6,84	6,76	7,06	7,03	6,9	6,76	6,88	6,92	7,44	7,4	7,34	7,43	7,72	7,61	5,42	5,53	5,55	5,35	4,76	4,82	4,58	4,31	4,16	4,52	4,69	4,76
Alcalinidad (mg/l)	28	26	26	31	30	22	45	52	55	56	53	57	71	71	73	82	92	91	113	100	104	121	119	121	504	630	458	789	764	722
Conductibilidad (µS cm-1)	38,9	46,8	59,3	48,34	60,2	59,4	93,8	104,5	98,7	133,7	157,5	147,9	131,7	136,4	137,8	187,5	244,4	273,8	321,4	335,6	366,2	479,2	518,5	502,6	514,7	570,4	532,6	640,5	690,7	743,7
Salinidad (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
PO4- (mg/L)	0,21	0,2	0,23	0,23	0,25	0,23	0,41	0,39	0,43	0,45	0,47	0,48	0,95	1,02	0,98	1,12	1,63	1,73	2,67	2,78	2,69	2,96	3,12	3,09	3,75	3,17	3,57	3,97	4,02	3,96
NH4 (mg/L)	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,7	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,11	0,14	0,15	0,26	0,37	0,48	0,77	0,81	1,03	1,47	1,67	1,81
NO3- (mg/L)	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	1,9	2,2	2,3	2,87	2,78	2,75	2,16	2,57	2,75	3,83	3,75	3,79	13,11	13,21	13,93	14,13	14,06	14,78	15,47	15,77	15,89	16,61	16,53	16,18
NO2- (mg/L)	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,19	0,23	0,27	0,38	0,45	0,57	0,71	0,81	0,88	1,12	1,13	1,21	1,34	1,44	1,54	1,87	1,82	1,88	1,93	2,01	2,11	2,13	2,14	2,15
K+1 (mg/L)	0,755	0,647	1,222	0,576	0,489	0,798	1,535	1,456	1,024	1,376	1,081	0,876	2,025	1,527	1,232	1,137	1,041	1,639	2,025	2,327	1,532	2,937	2,041	1,639	2,525	2,727	1,832	2,841	2,039	2,937
Oxígeno Disuelto (mg/L)	10,8	10,2	10,3	10,2	9,8	9,5	9,2	9,8	9,4	8,2	8,1	8	8,3	7,8	8,2	7,4	6,7	6,5	6,4	6,2	6,1	4,7	4,3	4,2	4,1	2,2	2,1	2,1	2,1	1,7
DBO5 (mg/L)	0,92	0,93	0,94	0,89	0,87	0,89	1,98	1,99	1,97	1,97	1,96	1,97	4,65	4,67	4,66	4,66	4,68	4,67	9,65	9,66	9,68	10,01	10,01	10,1	12,21	12,19	12,2	12,36	12,35	12,39
DQO (mg/L)	63	54	58	88	87	89	167	193	184	199	201	213	335	342	353	379	373	384	413	421	401	423	447	463	567	686	664	917	878	885
Cl- (mg/L)	1,7	1,8	1,9	3,1	2,7	2,1	1,9	2,2	2,3	2,3	2,3	3,8	8,7	9,2	8,9	9,4	9	12,2	49,7	54,1	56,1	56,2	56,2	56,2	61	61	61,1	61,1	61,2	61,2
DurezaT (mg/L)	27,6	32,6	30,8	37,4	35,3	37,1	39,3	37,5	42	43,4	38,5	59,1	59,4	60,3	58,6	62,4	69,3	94,5	94,8	95,5	98	101,6	105,7	178,5	172,9	179,6	181	191,9	176,8	201
SólidosT (mg/L)	76	64	76	91	85	90	111	121	134	145	163	103	201	211	204	243	247	287	213	224	215	228	240	236	374	300	387	401	398	412
ColiF (UFC/100ml)	8	13	14	19	19	22	58	59	76	84	98	143	282	258	278	279	294	306	1017	1089	1167	1873	2302	2772	4587	7880	5526	15209	15611	17045
ColiT (UFC/100ml)	10	16	19	25	22	37	68	71	98	107	122	184	358	302	320	312	350	373	1302	1274	1319	2248	2578	3160	5092	9850	6742	18859	19514	19431

Anexo B

Tabla 23

Cuadros de la matriz de correlación del Río Pucuhuayco - Físicoquímicos y Microbiológicos (Pearson)

	Caudal	Temp_Amb	Temp_agua	Turbidez	pH	Alcalinidad	Conductibil	Salinidad	PO4-	NH4	NO3-	NO2-	K+	OxigDisuelt	DBO5	DQO	Cl-	DurezaT	SólidosT	ColiF	ColiT
Caudal	1	-0,889009	-0,59071	-0,733433	0,8858	-0,767362	-0,825223	-0,856709	-0,8787	-0,69616	-0,8007	-0,7634	-0,7164	0,8982009	-0,7613	-0,6045	-0,83	-0,82619	-0,702421	-0,7631	-0,7631
Temp_Amb	-0,889	1	0,8210106	0,7720188	-0,825	0,8050957	0,9282642	0,8860431	0,92694	0,680693	0,90168	0,89746	0,8478	-0,912786	0,88006	0,81737	0,907	0,88868	0,8527527	0,90143	0,90143
Temp_agua	-0,5907	0,8210106	1	0,6358291	-0,4634	0,7381827	0,8643431	0,7263003	0,69468	0,521173	0,80046	0,87542	0,8124	-0,718712	0,82428	0,94763	0,753	0,78218	0,8961398	0,88646	0,88646
Turbidez	-0,7334	0,7720188	0,6358291	1	-0,8021	0,8884328	0,8665682	0,879696	0,88874	0,764421	0,89013	0,87369	0,8551	-0,877744	0,94016	0,73739	0,935	0,92958	0,8398125	0,89181	0,89218
pH	0,88576	-0,82503	-0,463439	-0,802057	1	-0,758026	-0,766356	-0,835656	-0,8882	-0,73587	-0,7808	-0,6884	-0,7091	0,869967	-0,751	-0,5166	-0,811	-0,78627	-0,632754	-0,737	-0,737
Alcalinidad	-0,7674	0,8050957	0,7381827	0,8884328	-0,758	1	0,9087792	0,9148901	0,8717	0,902283	0,84892	0,90201	0,8928	-0,937569	0,91857	0,80531	0,874	0,95478	0,9292532	0,93506	0,93718
Conductibil	-0,8252	0,9282642	0,8643431	0,8665682	-0,7664	0,9087792	1	0,9388057	0,9138	0,707995	0,97248	0,97234	0,9255	-0,946502	0,9707	0,90481	0,953	0,95456	0,9527014	0,98003	0,97918
Salinidad	-0,8567	0,8860431	0,7263003	0,879696	-0,8357	0,9148901	0,9388057	1	0,93703	0,770952	0,90506	0,91965	0,8834	-0,956259	0,92039	0,78202	0,922	0,94091	0,8797362	0,92035	0,92118
PO4,	-0,8787	0,9269397	0,6946829	0,8887401	-0,8882	0,8716969	0,9138045	0,9370261	1	0,770929	0,89604	0,89543	0,8692	-0,941623	0,91618	0,73684	0,945	0,93236	0,8285896	0,89419	0,89618
NH4	-0,6962	0,6806927	0,5211729	0,7644206	-0,7359	0,9022832	0,7079951	0,770952	0,77093	1	0,61747	0,69748	0,7092	-0,828839	0,72581	0,56976	0,693	0,81326	0,7370392	0,75081	0,75518
NO3,	-0,8007	0,9016803	0,800463	0,8901304	-0,7808	0,8489184	0,9724757	0,9050616	0,89604	0,617465	1	0,93957	0,9011	-0,912037	0,96383	0,87804	0,965	0,92512	0,9088085	0,95388	0,95388
NO2,	-0,7634	0,8974579	0,8754242	0,8736876	-0,6884	0,9020074	0,972344	0,9196468	0,89543	0,697475	0,93957	1	0,9015	-0,91553	0,97871	0,90925	0,956	0,9614	0,9660806	0,97132	0,97132
K,1	-0,7164	0,8477545	0,8124039	0,8551408	-0,7091	0,8927725	0,9255491	0,8834338	0,86919	0,709159	0,90113	0,90153	1	-0,867362	0,92253	0,86022	0,884	0,89558	0,9091458	0,94256	0,94318
OxigDisuelt	0,8982	-0,912786	-0,718712	-0,877744	0,87	-0,937569	-0,946502	-0,956259	-0,9416	-0,82884	-0,912	-0,9155	-0,8674	1	-0,9226	-0,7698	-0,932	-0,96134	-0,889453	-0,9234	-0,9234
DBO5	-0,7613	0,8800647	0,8242817	0,9401618	-0,751	0,9185708	0,970696	0,9203859	0,91618	0,725806	0,96383	0,97871	0,9225	-0,922566	1	0,8879	0,978	0,97301	0,9525191	0,97802	0,97802
DQO	-0,6045	0,8173704	0,9476256	0,7373938	-0,5166	0,8053104	0,9048139	0,7820162	0,73684	0,569763	0,87804	0,90925	0,8602	-0,769839	0,8879	1	0,827	0,84373	0,9416262	0,93865	0,93718
Cl,	-0,8303	0,9070007	0,7528326	0,9351435	-0,8106	0,874381	0,9526841	0,9216892	0,94457	0,693277	0,96533	0,95577	0,8835	-0,932435	0,97843	0,82677	1	0,96523	0,8975218	0,93868	0,93868
DurezaT	-0,8262	0,8886829	0,7821848	0,9295784	-0,7863	0,9547809	0,9545555	0,9409088	0,93236	0,813263	0,92512	0,9614	0,8956	-0,961339	0,97301	0,84373	0,965	1	0,9388814	0,9585	0,96018
SólidosT	-0,7024	0,8527527	0,8961398	0,8398125	-0,6328	0,9292532	0,9527014	0,8797362	0,82859	0,737039	0,90881	0,96608	0,9091	-0,889453	0,95252	0,94163	0,898	0,93888	1	0,97898	0,97918
ColiF	-0,7631	0,9014274	0,8864625	0,8918075	-0,737	0,9350617	0,9800343	0,9203483	0,89419	0,750806	0,95388	0,97132	0,9426	-0,923422	0,97802	0,93865	0,939	0,9585	0,9789788	1	0,99918
ColiT	-0,7632	0,9019186	0,8863284	0,8928486	-0,7382	0,937229	0,9798208	0,9211386	0,89629	0,755356	0,9523	0,97192	0,9433	-0,924963	0,97841	0,93719	0,939	0,96026	0,9790114	0,99981	

Tabla 24

Cuadros de la matriz de correlación del Río Pucuhuayco - Físicoquímicos y Microbiológicos (Spearman)

	Caudal	Temp_Amb	Temp_agua	Turbidez	pH	Alcalinidad	Conductibili	Salinidad	PO4-	NH4	NO3-	NO2-	K+	OxigDisuelto	DBO5	DQO	Cl-	DurezaT	SólidosT	ColiF	ColiT
Caudal	1	-0,8569335	-0,5779271	-0,5468	0,84094	-0,742237	-0,8024925	-0,78699	-0,83163	-0,7274	-0,7451	-0,765	-0,7095	0,826208	-0,6499	-0,7718	-0,771	-0,7653016	-0,7615231	-0,77031	-0,772
Temp_Amb	-0,857	1	0,8175674	0,70645	-0,6584	0,907102	0,9419317	0,886188	0,95428	0,91557	0,9088	0,9308	0,89	-0,9513027	0,8419	0,9388	0,9378	0,9348727	0,9367448	0,93711	0,938
Temp_agua	-0,578	0,8175674	1	0,59913	-0,3144	0,82477	0,8133303	0,756049	0,83382	0,82692	0,7376	0,8403	0,8128	-0,8095458	0,767	0,83874	0,8394	0,8372728	0,8316243	0,8366	0,840
Turbidez	-0,547	0,7064488	0,5991318	1	-0,5697	0,876947	0,8086763	0,839814	0,78155	0,83786	0,7383	0,866	0,8618	-0,7959934	0,9311	0,85539	0,8588	0,8534876	0,8534225	0,8615	0,859
pH	0,841	-0,6584303	-0,3143817	-0,5697	1	-0,585754	-0,6222321	-0,64269	-0,61935	-0,5363	-0,5957	-0,585	-0,5461	0,6310399	-0,5427	-0,5904	-0,589	-0,5819052	-0,5801603	-0,58636	-0,586
Alcalinidad	-0,742	0,9071021	0,8247699	0,87695	-0,5858	1	0,9675123	0,942191	0,94596	0,94899	0,8744	0,9833	0,9671	-0,9623734	0,959	0,98398	0,9863	0,9761878	0,985417	0,98542	0,987
Conductibil	-0,802	0,9419317	0,8133303	0,80868	-0,6222	0,967512	1	0,943702	0,93684	0,92847	0,9183	0,9842	0,9437	-0,9885366	0,9333	0,98309	0,9827	0,9743019	0,9785199	0,98009	0,982
Salinidad	-0,787	0,8861885	0,7560485	0,83981	-0,6427	0,942191	0,9437019	1	0,92601	0,86117	0,8691	0,9501	0,9305	-0,9476691	0,9009	0,94944	0,9472	0,9366968	0,939179	0,9406	0,941
PO4,	-0,832	0,9542809	0,833817	0,78155	-0,6193	0,945962	0,9368396	0,926007	1	0,92535	0,8807	0,9528	0,9247	-0,9525193	0,8834	0,95756	0,9588	0,9494215	0,9504016	0,95521	0,955
NH4	-0,727	0,9155664	0,8269238	0,83786	-0,5363	0,948994	0,9284727	0,861173	0,92535	1	0,8186	0,9568	0,9139	-0,9324509	0,9199	0,96017	0,96	0,9658529	0,9680696	0,97367	0,969
NO3,	-0,745	0,9087812	0,7376	0,73832	-0,5957	0,87436	0,9183356	0,869133	0,88067	0,81862	1	0,9007	0,8704	-0,9051542	0,8671	0,90076	0,8989	0,8859464	0,8923523	0,89184	0,895
NO2,	-0,765	0,9308013	0,840304	0,86598	-0,585	0,9833	0,9841943	0,950069	0,95285	0,95679	0,9007	1	0,9582	-0,9780599	0,9599	0,99644	0,9969	0,9894246	0,990088	0,99377	0,995
K,1	-0,71	0,8899742	0,8128425	0,86182	-0,5461	0,96706	0,9437027	0,930493	0,92468	0,91395	0,8704	0,9582	1	-0,9463431	0,9418	0,96017	0,964	0,9501502	0,9578092	0,96584	0,966
OxigDisuelt	0,826	-0,9513027	-0,8095458	-0,796	0,63104	-0,962373	-0,9885366	-0,94767	-0,95252	-0,9325	-0,9052	-0,978	-0,9463	1	-0,9182	-0,9814	-0,981	-0,9737312	-0,9743875	-0,97818	-0,980
DBO5	-0,65	0,841931	0,767002	0,93112	-0,5427	0,959043	0,9333482	0,900888	0,88344	0,91985	0,8671	0,9599	0,9418	-0,9181697	1	0,95427	0,9559	0,9547073	0,9561345	0,95193	0,953
DQO	-0,772	0,9387979	0,8387399	0,85539	-0,5904	0,983979	0,9830923	0,949435	0,95756	0,96017	0,9008	0,9964	0,9602	-0,9814136	0,9543	1	0,9981	0,9925465	0,9938788	0,9941	0,995
Cl,	-0,771	0,9377527	0,8394298	0,85876	-0,5893	0,986308	0,9827492	0,94721	0,95876	0,96003	0,8989	0,9969	0,964	-0,9808463	0,9559	0,99811	1	0,9906501	0,9918708	0,99421	0,996
DurezaT	-0,765	0,9348727	0,8372728	0,85349	-0,5819	0,976188	0,9743019	0,936697	0,94942	0,96585	0,8859	0,9894	0,9502	-0,9737312	0,9547	0,99255	0,9907	1	0,9910954	0,98798	0,988
SólidosT	-0,762	0,9367448	0,8316243	0,85342	-0,5802	0,985417	0,9785199	0,939179	0,9504	0,96807	0,8924	0,9901	0,9578	-0,9743875	0,9561	0,99388	0,9919	0,9910954	1	0,99366	0,99
ColiF	-0,77	0,9371114	0,8366041	0,8615	-0,5864	0,985423	0,9800868	0,940596	0,95521	0,97367	0,8918	0,9938	0,9658	-0,9781835	0,9519	0,9941	0,9942	0,987984	0,9936555	1	0,998
ColiT	-0,772	0,938574	0,8405231	0,8594	-0,5866	0,987094	0,9822024	0,941638	0,95578	0,96909	0,8956	0,9955	0,9668	-0,9800781	0,9536	0,99555	0,9963	0,9885416	0,9929885	0,99855	

Tabla 25

Cuadros de la matriz de correlación del Río Zham-Zham - Físicoquímicos y Microbiológicos (Pearson)

	Caudal	Temp_Amb	Temp_agua	Turbidez	pH	Alcalinidad	Conductibili	Salinidad	PO4-	NH4	NO3-	NO2-	K+	OxigDisuelto	DBO5	DQO	Cl-	DurezaT	SólidosT	ColiF	ColiT
Caudal	1	-0,739353	-0,727402	-0,60867	0,7627	-0,833858	-0,71162	-0,816655	-0,706	-0,8744	-0,6525	-0,6698	-0,5464	0,8873763	-0,62335	-0,66	-0,6589	-0,78134	-0,6889	-0,7681	-0,7753
Temp_Amb	-0,739	1	0,971657	0,798471	-0,7239	0,8670008	0,963678	0,8974449	0,9312	0,7182	0,9301	0,9548	0,7553	-0,867015	0,923535	0,9478	0,88967	0,9222483	0,93828	0,9476	0,94591
Temp_agua	-0,727	0,9716567	1	0,842465	-0,7272	0,8984226	0,9734634	0,9082067	0,9434	0,7648	0,9436	0,973	0,827	-0,88029	0,95371	0,9781	0,90941	0,9420946	0,9576	0,9741	0,97235
Turbidez	-0,609	0,7984705	0,842465	1	-0,8581	0,8762074	0,873915	0,8760152	0,92	0,7657	0,9083	0,8828	0,8682	-0,846566	0,934875	0,8395	0,91842	0,8963255	0,82471	0,9197	0,91949
pH	0,7627	-0,723905	-0,727179	-0,85808	1	-0,822343	-0,801162	-0,858574	-0,838	-0,7704	-0,8444	-0,7669	-0,7082	0,8802784	-0,78974	-0,668	-0,8495	-0,850601	-0,6562	-0,8351	-0,8382
Alcalinidad	-0,834	0,8670008	0,898423	0,876207	-0,8223	1	0,9006165	0,9152709	0,8951	0,9043	0,8684	0,8872	0,8069	-0,960219	0,881691	0,8974	0,84288	0,9333693	0,90441	0,9516	0,95203
Conductibili	-0,712	0,963678	0,973463	0,873915	-0,8012	0,9006165	1	0,92694	0,9674	0,7426	0,9789	0,9804	0,8485	-0,899549	0,963133	0,9483	0,93218	0,9573255	0,93004	0,9773	0,97555
Salinidad	-0,817	0,8974449	0,908207	0,876015	-0,8586	0,9152709	0,92694	1	0,9545	0,8058	0,9092	0,935	0,7784	-0,942523	0,9163	0,8588	0,93407	0,9696061	0,86298	0,9456	0,94579
PO4,	-0,706	0,9311798	0,943407	0,920006	-0,8378	0,8950983	0,9674151	0,9545486	1	0,7576	0,9645	0,9782	0,8432	-0,896195	0,98281	0,9091	0,98405	0,9689496	0,91196	0,9675	0,96536
NH4	-0,874	0,718166	0,764754	0,765733	-0,7704	0,9042857	0,7426075	0,8058033	0,7576	1	0,6921	0,7241	0,7054	-0,912063	0,725003	0,7369	0,71034	0,8222812	0,7549	0,8374	0,84168
NO3,	-0,653	0,9301051	0,94362	0,908281	-0,8444	0,8684103	0,9788848	0,9092359	0,9645	0,6921	1	0,9607	0,8514	-0,862021	0,968942	0,9185	0,95078	0,936512	0,8833	0,9604	0,95834
NO2,	-0,67	0,9548075	0,97296	0,882778	-0,7669	0,8871603	0,9804426	0,9350458	0,9782	0,7241	0,9607	1	0,8277	-0,879293	0,984051	0,9528	0,95643	0,9613791	0,94461	0,9715	0,96834
K,1	-0,546	0,7553302	0,82697	0,868183	-0,7082	0,8068846	0,8485346	0,7783567	0,8432	0,7054	0,8514	0,8277	1	-0,771477	0,869345	0,8258	0,81776	0,8086192	0,80496	0,8596	0,85997
OxigDisuel	0,8874	-0,867015	-0,88029	-0,84657	0,8803	-0,960219	-0,899549	-0,942523	-0,896	-0,9121	-0,862	-0,8793	-0,7715	1	-0,85948	-0,846	-0,8554	-0,939057	-0,8524	-0,9407	-0,9435
DBO5	-0,623	0,9235352	0,95371	0,934875	-0,7897	0,8816906	0,9631335	0,9162998	0,9828	0,725	0,9689	0,9841	0,8693	-0,859481	1	0,9439	0,97238	0,9496788	0,92869	0,9689	0,9655
DQO	-0,66	0,9478468	0,978093	0,839514	-0,6678	0,8973679	0,9482855	0,8587825	0,9091	0,7369	0,9185	0,9528	0,8258	-0,845799	0,943883	1	0,8659	0,9142962	0,97291	0,9572	0,95483
Cl,	-0,659	0,8896711	0,909409	0,918422	-0,8495	0,8428827	0,9321756	0,9340691	0,9841	0,7103	0,9508	0,9564	0,8178	-0,855386	0,972376	0,8659	1	0,9464442	0,85621	0,9392	0,9371
DurezaT	-0,781	0,9222483	0,942095	0,896326	-0,8506	0,9333693	0,9573255	0,9696061	0,9689	0,8223	0,9365	0,9614	0,8086	-0,939057	0,949679	0,9143	0,94644	1	0,91037	0,9762	0,97612
SólidosT	-0,689	0,9382795	0,957604	0,824711	-0,6562	0,904407	0,9300424	0,8629768	0,912	0,7549	0,8833	0,9446	0,805	-0,852431	0,928692	0,9729	0,85621	0,9103672	1	0,9371	0,93471
ColiF	-0,768	0,9476259	0,974068	0,919702	-0,8351	0,9515886	0,9773194	0,9456391	0,9675	0,8374	0,9604	0,9715	0,8596	-0,940732	0,968929	0,9572	0,93923	0,9761861	0,93714	1	0,99951
ColiT	-0,775	0,9459058	0,972353	0,919493	-0,8382	0,9520263	0,9755465	0,9457928	0,9654	0,8417	0,9583	0,9683	0,86	-0,943471	0,965497	0,9548	0,9371	0,9761229	0,93471	0,9995	1

Tabla 26

Cuadros de la matriz de correlación del Río Zham-Zham - Físicoquímicos y Microbiológicos (Spearman)

	Caudal	Temp_Amb	Temp_agua	Turbidez	pH	Alcalinidad	Conductibi	Salinidad	PO4-	NH4	NO3,	NO2-	K+	OxigDisuel	DBO5	DQO	Cl-	DurezaT	SólidosT	ColiF	ColiT
Caudal	1	-0,715748	-0,72312	-0,4699	0,7477	-0,682669	-0,749583	-0,7425	-0,7212	-0,6816	-0,7521	-0,7297	-0,523	0,7586361	-0,61395	-0,736	-0,7724	-0,7122	-0,68909	-0,7238	-0,7168
Temp_Amb	-0,7157	1	0,9686738	0,8013	-0,609	0,9589521	0,9672441	0,92004	0,96275	0,91777	0,97037	0,969473	0,776384	-0,959155	0,93699	0,96188	0,94	0,95226	0,93894	0,96042	0,95449
Temp_agua	-0,7231	0,9686738	1	0,856	-0,635	0,9847456	0,9768479	0,95258	0,98597	0,96488	0,97206	0,99165	0,846359	-0,977721	0,95911	0,99043	0,9687	0,98197	0,94	0,98842	0,98575
Turbidez	-0,4699	0,8012647	0,8559664	1	-0,631	0,8823857	0,8429366	0,84681	0,87892	0,86329	0,83756	0,878282	0,873164	-0,840699	0,92652	0,87186	0,8392	0,8634	0,80254	0,87974	0,8861
pH	0,7477	-0,608645	-0,635007	-0,6309	1	-0,632346	-0,670079	-0,6605	-0,6401	-0,5954	-0,6998	-0,64563	-0,58086	0,6742762	-0,59984	-0,6474	-0,6626	-0,6458	-0,49121	-0,643	-0,6456
Alcalinidad	-0,6827	0,9589521	0,9847456	0,8824	-0,632	1	0,9702905	0,94913	0,98698	0,95976	0,96728	0,98542	0,844741	-0,967595	0,97093	0,98654	0,9666	0,97852	0,94358	0,98375	0,98275
Conductibi	-0,7496	0,9672441	0,9768479	0,8429	-0,67	0,9702905	1	0,94083	0,98398	0,94351	0,98687	0,986204	0,826435	-0,987866	0,94834	0,98309	0,9539	0,96885	0,93715	0,98342	0,97731
Salinidad	-0,7425	0,9200375	0,9525789	0,8468	-0,661	0,9491337	0,940828	1	0,95121	0,89021	0,93502	0,957019	0,786205	-0,953496	0,93946	0,95287	0,956	0,94708	0,89276	0,94116	0,93712
PO4,	-0,7212	0,9627514	0,9859688	0,8789	-0,64	0,9869754	0,9839752	0,95121	1	0,964	0,97484	0,991986	0,851514	-0,983851	0,96993	0,99065	0,9726	0,97908	0,95203	0,99032	0,98709
NH4	-0,6816	0,917775	0,9648795	0,8633	-0,595	0,9597646	0,9435111	0,89021	0,964	1	0,927	0,968685	0,860137	-0,946142	0,94257	0,96446	0,946	0,96446	0,92345	0,9815	0,98295
NO3,	-0,7521	0,970368	0,9720553	0,8376	-0,7	0,9672788	0,9868714	0,93502	0,97484	0,927	1	0,979301	0,813265	-0,982073	0,94098	0,97708	0,9422	0,9644	0,93524	0,97085	0,9644
NO2,	-0,7297	0,9694731	0,9916501	0,8783	-0,646	0,9854202	0,9862039	0,95702	0,99199	0,96868	0,9793	1	0,843312	-0,98842	0,97004	0,99399	0,9736	0,98709	0,95238	0,99633	0,9931
K,1	-0,523	0,7763839	0,8463595	0,8732	-0,581	0,8447412	0,8264353	0,78621	0,85151	0,86014	0,81327	0,843312	1	-0,818395	0,88608	0,85514	0,7929	0,84424	0,7789	0,85791	0,86048
OxigDisuel	0,7586	-0,959155	-0,977721	-0,8407	0,6743	-0,967595	-0,987866	-0,9535	-0,9839	-0,9461	-0,9821	-0,98842	-0,81839	1	-0,95109	-0,9816	-0,9591	-0,9827	-0,93899	-0,982	-0,975
DBO5	-0,614	0,9369851	0,9591132	0,9265	-0,6	0,9709323	0,9483415	0,93946	0,96993	0,94257	0,94098	0,970045	0,88608	-0,951086	1	0,96705	0,9293	0,96593	0,93063	0,96682	0,96348
DQO	-0,736	0,9618755	0,9904276	0,8719	-0,647	0,9865362	0,9830923	0,95287	0,99065	0,96446	0,97708	0,993992	0,85514	-0,981632	0,96705	1	0,9684	0,98398	0,95272	0,99188	0,98888
Cl,	-0,7724	0,939979	0,9686806	0,8392	-0,663	0,9665743	0,9538881	0,956	0,97259	0,946	0,94218	0,973597	0,792893	-0,959091	0,92932	0,96837	1	0,9648	0,9247	0,96937	0,96681
DurezaT	-0,7122	0,9522568	0,9819682	0,8634	-0,646	0,9785246	0,9688543	0,94708	0,97908	0,96446	0,9644	0,987094	0,844237	-0,982745	0,96593	0,98398	0,9648	1	0,93937	0,98632	0,98087
SólidosT	-0,6891	0,9389397	0,9399979	0,8025	-0,491	0,9435789	0,9371454	0,89276	0,95203	0,92345	0,93524	0,952376	0,778903	-0,938989	0,93063	0,95272	0,9247	0,93937	1	0,94726	0,93781
ColiF	-0,7238	0,9604165	0,9884227	0,8797	-0,643	0,9837525	0,9834242	0,94116	0,99032	0,9815	0,97085	0,996328	0,857906	-0,981964	0,96682	0,99188	0,9694	0,98632	0,94726	1	0,99811
ColiT	-0,7168	0,9544937	0,9857527	0,8861	-0,646	0,9827529	0,9773081	0,93712	0,98709	0,98295	0,9644	0,993102	0,860481	-0,974953	0,96348	0,98888	0,9668	0,98087	0,93781	0,99811	1

ANEXO C

Tabla 27

Cuadros de la matriz de correlación del Río Pucuhuayco - Físicoquímicos y Microbiológicos y Macro invertebrados (Pearson)

	Caudal	Temp_Ar	Temp_ag	Turbidez	pH	Alcalin	Condu	Salinidad	PO4-	NH4	NO3-	NO2-	K+	OxigDisu	DBO5	DBO	Cl-	DurezaT	Sólidos	Colif	ColIT	Glozosph	Haploxic	Bazomm	Unionoid	Gordioid	Trichidit	Acari	Decapod	Amphipo	Collemb	Diptera	Epheme	Plecopte	Trichopt	Coléopt	Megalop	Odon					
Caudal	1																																										
Temp_Ar	-0,89	1																																									
Temp_ag	-0,59	0,821	1																																								
Turbidez	-0,73	0,772	0,6358	1																																							
pH	0,866	-0,825	-0,463	-0,8	1																																						
Alcalinidad	-0,77	0,8051	0,7382	0,888	-0,8	1																																					
Conducti	-0,83	0,3283	0,8643	0,867	-0,8	0,31	1																																				
Salinidad	-0,86	0,866	0,7263	0,88	-0,8	0,31	0,34	1																																			
PO4	-0,88	0,3269	0,6347	0,889	-0,9	0,87	0,31	0,37	1																																		
NH4	-0,7	0,6807	0,5212	0,764	-0,7	0,9	0,71	0,771	0,771	1																																	
NO3	-0,8	0,9017	0,8005	0,89	-0,8	0,85	0,97	0,9051	0,896	0,617	1																																
NO2	-0,76	0,8975	0,8754	0,874	-0,7	0,9	0,97	0,9196	0,895	0,637	0,94	1																															
K1	-0,72	0,8478	0,8124	0,855	-0,7	0,89	0,93	0,8834	0,869	0,709	0,901	0,9015	1																														
OxigDisu	0,898	-0,913	-0,719	-0,88	0,87	-0,34	-0,35	-0,356	-0,34	-0,83	-0,912	-0,916	-0,867	1																													
DBO5	-0,76	0,8801	0,8243	0,94	-0,8	0,92	0,97	0,9204	0,916	0,726	0,964	0,9787	0,9225	-0,9226	1																												
DBO	-0,6	0,8174	0,9476	0,737	-0,5	0,81	0,9	0,782	0,737	0,57	0,878	0,9092	0,8602	-0,7638	0,8879	1																											
Cl	-0,83	0,907	0,7528	0,935	-0,8	0,87	0,95	0,9217	0,945	0,693	0,965	0,9558	0,8835	-0,9324	0,9784	0,827	1																										
DurezaT	-0,83	0,8887	0,7822	0,93	-0,8	0,95	0,95	0,9409	0,932	0,813	0,925	0,9614	0,8956	-0,9619	0,973	0,844	0,9652	1																									
SólidosT	-0,7	0,8528	0,8961	0,84	-0,6	0,93	0,95	0,8797	0,829	0,737	0,909	0,9661	0,9091	-0,8895	0,9525	0,942	0,8975	0,9389	1																								
Colif	-0,76	0,9014	0,8865	0,832	-0,7	0,94	0,98	0,9203	0,894	0,751	0,954	0,9713	0,9426	-0,9234	0,978	0,939	0,9387	0,9585	0,979	1																							
ColIT	-0,76	0,9019	0,8863	0,833	-0,7	0,94	0,98	0,9211	0,896	0,755	0,952	0,9719	0,9433	-0,925	0,9784	0,937	0,9388	0,9603	0,979	1																							
Glozosph	-0,65	0,7476	0,6139	0,676	-0,6	0,53	0,77	0,7046	0,739	0,245	0,827	0,7859	0,6344	-0,6873	0,7795	0,668	0,8429	0,7193	0,656	0,701	0,638	1																					
Haploxic	-0,65	0,7773	0,6954	0,509	-0,6	0,6	0,76	0,7373	0,751	0,449	0,671	0,7524	0,6606	-0,6382	0,6929	0,659	0,7066	0,6833	0,653	0,669	0,631	0,7199	1																				
Bazomm	-0,7	0,7931	0,5797	0,524	-0,7	0,47	0,69	0,6697	0,765	0,328	0,679	0,638	0,6224	-0,6286	0,6329	0,598	0,6844	0,5881	0,515	0,617	0,616	0,7539	0,824	1																			
Unionoid	-0,29	0,4874	0,4327	0,15	-0,2	0,15	0,43	0,3334	0,375	-0,06	0,43	0,4563	0,3048	-0,3168	0,3807	0,416	0,4197	0,3143	0,331	0,341	0,339	0,7176	0,723	0,6801	1																		
Gordioid	0,101	-0,299	-0,427	-0,31	0,15	-0,33	-0,36	-0,298	-0,25	-0,18	-0,371	-0,393	0,29165	-0,381	-0,428	-0,317	-0,323	-0,41	-0,42	-0,41	-0,26	-0,239	-0,189	-0,1727	1																		
Trichidit	-0,57	0,7503	0,6318	0,561	-0,5	0,48	0,73	0,6596	0,689	0,255	0,733	0,7601	0,6035	-0,6149	0,7201	0,694	0,761	0,6552	0,631	0,679	0,677	0,9017	0,841	0,8051	0,7682	-0,2713	1																
Acari	-0,2	0,0982	-0,073	-0,06	-0,1	-0,23	-0,06	-0,063	0,08	-0,17	-0,039	-0,109	-0,13	0,03337	-0,103	-0,169	-0,019	-0,078	-0,24	-0,14	-0,132	0,135	0,135	0,3644	0,1661	0,2883	0,143	1															
Decapod	0,305	-0,327	-0,18	-0,46	0,32	-0,35	-0,31	-0,348	-0,49	-0,33	-0,303	-0,419	-0,29	0,336	-0,44	-0,238	-0,505	-0,459	-0,3	-0,32	-0,317	-0,516	-0,474	-0,376	-0,3426	0,0249	-0,538	0,037	1														
Amphipo	0,042	-0,168	-0,296	-0,28	0,11	-0,21	-0,28	-0,207	-0,17	-0,12	-0,28	-0,268	-0,263	0,18828	-0,282	-0,258	-0,22	-0,226	-0,23	-0,27	-0,271	-0,181	-0,166	-0,132	-0,12	-0,0496	-0,189	-0,073	-0,098	1													
Collemb	0,193	-0,029	0,1096	-0	0,19	-0,05	-0,08	-0,207	-0,1	0,107	-0,108	-0,016	-0,019	0,15075	-0,005	0,065	-0,053	-0,066	0,046	0,004	0,002	-0,181	-0,166	-0,132	-0,12	-0,0496	-0,08	-0,073	-0,098	-0,034	1												
Diptera	0,256	-0,201	-0,231	-0,47	0,29	-0,6	-0,28	-0,335	-0,3	-0,75	-0,212	-0,305	-0,368	0,4162	-0,351	-0,276	-0,271	-0,452	-0,43	-0,38	-0,39	0,1845	0,119	0,231	0,4747	0,1028	0,256	0,336	0,0831	0,0398	-0,18	1											
Epheme	0,874	-0,335	-0,807	-0,89	0,83	-0,89	-0,96	-0,936	-0,94	-0,73	-0,949	-0,94	-0,89	0,94495	-0,954	-0,846	-0,956	-0,952	-0,91	-0,95	-0,952	-0,747	-0,717	-0,744	-0,3962	0,3404	-0,712	-0,036	0,3764	0,2013	0,063	0,323	1										
Plecopte	0,851	-0,912	-0,736	-0,89	0,82	-0,84	-0,95	-0,902	-0,93	-0,64	-0,973	-0,927	-0,866	0,92516	-0,951	-0,822	-0,985	-0,94	-0,87	-0,92	-0,919	-0,855	-0,699	-0,634	-0,4501	0,3066	-0,756	-0,015	0,4438	0,1723	0,118	0,214	0,949	1									
Trichopt	0,78	-0,885	-0,749	-0,92	0,76	-0,84	-0,92	-0,891	-0,93	-0,67	-0,925	-0,943	-0,856	0,88681	-0,964	-0,817	-0,982	-0,948	-0,88	-0,92	-0,916	-0,843	-0,717	-0,704	-0,4412	0,3252	-0,781	0,006	0,5854	0,1918	-0,024	0,255	0,938	0,3528	1								
Coléopt	0,557	-0,766	-0,923	-0,6	0,39	-0,67	-0,81	-0,681	-0,62	-0,43	-0,77	-0,858	-0,736	0,67144	-0,777	-0,893	-0,732	-0,738	-0,86	-0,83	-0,824	-0,641	-0,588	-0,466	-0,4254	0,4405	-0,668	0,158	0,1593	0,2019	-0,122	0,192	0,752	0,7236	0,7255	1							
Megalop	0,58	-0,636	-0,633	-0,34	0,29	-0,42	-0,53	-0,487	-0,45	-0,31	-0,483	-0,584	-0,45	0,49593	-0																												

Tabla 28

Cuadros de datos de la matriz de correlación del Río Pucuhuayco - Físicoquímicos y Microbiológicos y Macro invertebrados (Spearman)

	Caudal	Temp_A	Temp_a	Turbidez	pH	Alcalinidad	Conductib	Salinidad	PO4-	NH4	NO3-	NO2-	K+	OxigDisuel	DBO5	DQO	Cl-	DurezaT	SólidosT	ColIF	ColIT	Glossiph	Haploids	Bazomni	Unionoid	Gordioic	Trichdis	Acari	Decapo	Amphipo	Collemb	Diptera	Ephemeri	Plecopte	Trichopt	Col			
Caudal	1	-0,857	-0,58	-0,5468	0,841	-0,7422	-0,8025	-0,787	-0,832	-0,7274	-0,745	-0,765	-0,71	0,82621	-0,6439	-0,7718	-0,7707	-0,765	-0,762	-0,77	-0,772	-0,6277	-0,637	-0,666	-0,3397	0,0772	-0,523	-0,221	0,352	-0,011	0,2039	0,073	0,7598	0,7379	0,6798	0			
Temp_Aml	-0,86	1	0,818	0,7064	-0,658	0,9071	0,94193	0,8862	0,9543	0,9156	0,9088	0,9308	0,89	-0,9513	0,8419	0,9388	0,93775	0,9349	0,9367	0,9371	0,939	0,7845	0,8031	0,8285	0,5549	-0,318	0,7528	0,063	-0,45	-0,183	-0,011	-0,04	-0,931	-0,923	-0,863	0			
Temp_agu	-0,58	0,818	1	0,5991	-0,314	0,8248	0,81333	0,756	0,8338	0,8263	0,7376	0,8403	0,813	-0,8095	0,767	0,8387	0,83943	0,8373	0,8316	0,8366	0,841	0,6346	0,7725	0,7293	0,4792	-0,356	0,6959	0,034	-0,42	-0,247	0,0967	-0,098	-0,843	-0,778	-0,74	-0,74	-0,74	-0,74	
Turbidez	-0,55	0,706	0,599	1	-0,57	0,8769	0,80868	0,8398	0,7816	0,8379	0,7383	0,866	0,862	-0,796	0,9311	0,8554	0,85876	0,8535	0,8534	0,8615	0,859	0,7135	0,5977	0,5796	0,238	-0,324	0,5745	-0,136	-0,52	-0,311	0,0107	-0,284	-0,838	-0,843	-0,881	-0,881	-0,881	-0,881	
pH	0,841	-0,658	-0,31	-0,5697	1	-0,5858	-0,6222	-0,6427	-0,619	-0,5363	-0,596	-0,585	-0,546	0,63104	-0,5427	-0,5904	-0,5893	-0,582	-0,58	-0,586	-0,587	-0,4816	-0,423	-0,549	-0,14	0,0849	-0,357	-0,232	0,275	0,0537	0,2683	0,128	0,5944	0,5782	0,5708	0,5708	0,5708	0,5708	0,5708
Alcalinidad	-0,74	0,907	0,825	0,8769	-0,586	1	0,96751	0,9422	0,946	0,949	0,8744	0,9833	0,967	-0,9624	0,959	0,964	0,98631	0,9762	0,9854	0,9854	0,987	0,7805	0,7909	0,7585	0,4254	-0,371	0,6968	-0,153	-0,352	-0,225	-0,032	-0,182	-0,363	-0,349	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	
Conductib	-0,8	0,942	0,813	0,8087	-0,622	0,9675	1	0,9437	0,9368	0,9285	0,9163	0,9842	0,944	-0,9885	0,9333	0,9631	0,96275	0,9743	0,9785	0,9801	0,982	0,7671	0,7913	0,7805	0,4665	-0,324	0,685	-0,057	-0,39	-0,268	-0,116	-0,152	-0,36	-0,342	-0,876	-0,876	-0,876	-0,876	
Salinidad	-0,79	0,886	0,756	0,8398	-0,643	0,9422	0,9437	1	0,926	0,8612	0,8691	0,9501	0,93	-0,9477	0,9009	0,9494	0,94721	0,9367	0,9392	0,9406	0,942	0,7802	0,7854	0,77	0,4287	-0,318	0,6777	-0,07	-0,45	-0,221	-0,221	-0,11	-0,935	-0,888	-0,869	-0,869	-0,869	-0,869	
PO4-	-0,83	0,954	0,834	0,7816	-0,619	0,946	0,93684	0,926	1	0,9253	0,8807	0,9528	0,925	-0,9525	0,8834	0,9576	0,95876	0,9494	0,9504	0,9552	0,956	0,8106	0,83	0,8076	0,4914	-0,356	0,746	0,011	-0,56	-0,107	-0,054	-0,076	-0,34	-0,933	-0,908	-0,908	-0,908	-0,908	
NH4	-0,73	0,916	0,827	0,8379	-0,536	0,949	0,92847	0,8612	0,9253	1	0,8186	0,9568	0,914	-0,9325	0,9199	0,9602	0,96003	0,9659	0,9681	0,9737	0,969	0,7076	0,7236	0,7162	0,3904	-0,372	0,6618	-0,068	-0,51	-0,269	-0,183	-0,279	-0,937	-0,918	-0,918	-0,918	-0,918		
NO3-	-0,75	0,909	0,738	0,7383	-0,596	0,8744	0,91834	0,8691	0,8807	0,8186	1	0,9007	0,87	-0,9052	0,8671	0,9008	0,89892	0,8859	0,8924	0,8918	0,896	0,8985	0,8072	0,8313	0,6608	-0,34	0,8197	0,079	-0,37	-0,279	-0,161	0,144	-0,931	-0,941	-0,848	-0,848	-0,848	-0,848	
NO2-	-0,76	0,931	0,84	0,866	-0,585	0,8833	0,88419	0,9501	0,9528	0,9568	0,9007	1	0,958	-0,9781	0,9599	0,9364	0,93668	0,9394	0,9901	0,9938	0,996	0,7904	0,7979	0,7792	0,4583	-0,324	0,7129	-0,057	-0,47	-0,279	-0,054	-0,182	-0,975	-0,953	-0,916	-0,916	-0,916		
K1	-0,71	0,89	0,813	0,8618	-0,546	0,9671	0,9437	0,9305	0,9247	0,9139	0,8704	0,9582	1	-0,9463	0,9418	0,9602	0,96404	0,9502	0,9578	0,9658	0,967	0,7803	0,7959	0,7527	0,4357	-0,386	0,7033	-0,113	-0,49	-0,247	-0,054	-0,153	-0,936	-0,936	-0,899	-0,899	-0,899		
OxigDisuel	0,826	-0,951	0,825	0,8769	-0,631	-0,9624	-0,9885	-0,9477	-0,935	-0,9325	-0,905	-0,978	-0,946	1	-0,9182	-0,9814	-0,9808	-0,974	-0,974	-0,978	-0,98	-0,7631	-0,782	-0,755	-0,4548	0,3707	0,665	0,045	0,395	0,358	0,3707	0,3707	0,3707	0,3707	0,3707	0,3707	0,3707	0,3707	
DBO5	-0,65	0,842	0,767	0,9311	-0,543	0,959	0,93335	0,9009	0,8834	0,9199	0,8671	0,9599	0,942	-0,9182	1	0,9543	0,95591	0,9547	0,9561	0,9519	0,954	0,8001	0,7597	0,7168	0,4374	-0,355	0,6794	-0,096	-0,51	-0,311	-0,043	-0,189	-0,935	-0,938	-0,93	-0,93	-0,93		
DQO	-0,77	0,939	0,839	0,8554	-0,59	0,964	0,98309	0,9494	0,9576	0,9602	0,9008	0,9364	0,96	-0,9814	0,9543	1	0,93811	0,9325	0,9393	0,9341	0,936	0,7871	0,7955	0,7808	0,4644	-0,355	0,7115	-0,068	-0,48	-0,247	-0,054	-0,19	-0,978	-0,957	-0,924	-0,924	-0,924		
Cl-	-0,77	0,938	0,839	0,8588	-0,589	0,9663	0,98275	0,9472	0,9588	0,96	0,8969	0,9369	0,964	-0,9808	0,9559	0,9381	1	0,9307	0,9319	0,9342	0,936	0,7894	0,7948	0,7795	0,4615	-0,363	0,711	-0,085	-0,48	-0,247	-0,054	-0,192	-0,976	-0,956	-0,924	-0,924	-0,924		
DurezaT	-0,77	0,935	0,827	0,8535	-0,582	0,9762	0,9743	0,9367	0,9494	0,9659	0,8859	0,9394	0,95	-0,9737	0,9337	0,9602	0,96003	0,9659	0,9681	0,9737	0,969	0,7076	0,7236	0,7162	0,3904	-0,372	0,6618	-0,068	-0,51	-0,269	-0,183	-0,279	-0,937	-0,918	-0,918	-0,918	-0,918		
SólidosT	-0,76	0,937	0,832	0,8534	-0,58	0,9654	0,97852	0,9392	0,9504	0,9661	0,8924	0,9901	0,958	-0,9744	0,9561	0,9393	0,93187	0,93911	1	0,93937	0,9393	0,7836	0,7915	0,7756	0,4633	-0,363	0,7119	-0,096	-0,5	-0,204	-0,011	-0,197	-0,977	-0,957	-0,934	-0,934	-0,934		
ColIF	-0,77	0,937	0,837	0,8615	-0,586	0,9854	0,98009	0,9406	0,9552	0,9737	0,8918	0,9398	0,966	-0,9782	0,9519	0,9341	0,93421	0,938	0,93937	1	0,939	0,7748	0,7878	0,7722	0,4448	-0,363	0,7079	-0,074	-0,48	-0,247	0,0107	-0,197	-0,974	-0,952	-0,924	-0,924	-0,924		
ColIT	-0,77	0,939	0,841	0,8594	-0,587	0,9871	0,9822	0,9416	0,9558	0,9691	0,8956	0,9355	0,967	-0,9801	0,9536	0,9356	0,93633	0,9385	0,9393	0,9396	1	0,7799	0,7927	0,7757	0,4533	-0,355	0,7073	-0,068	-0,48	-0,247	-0,011	-0,189	-0,974	-0,954	-0,922	-0,922	-0,922		
Glossiph	-0,63	0,784	0,635	0,7135	-0,482	0,7805	0,76707	0,7802	0,8106	0,7076	0,8985	0,7904	0,78	-0,7631	0,8001	0,7871	0,78341	0,7881	0,7836	0,7748	0,78	1	0,8537	0,7969	0,748	-0,275	0,9135	0,101	-0,61	-0,191	-0,191	0,311	-0,846	-0,879	-0,834	-0,834	-0,834		
Haploids	-0,64	0,803	0,773	0,5977	-0,423	0,7909	0,79127	0,7854	0,83	0,7236	0,8072	0,7979	0,796	-0,7823	0,7597	0,7955	0,79476	0,7979	0,7915	0,7878	0,793	0,8537	1	0,8904	0,7608	-0,261	0,8728	0,144	-0,58	-0,181	-0,181	0,31	-0,821	-0,801	-0,775	-0,775	-0,775		
Bazomni	-0,67	0,829	0,729	0,5796	-0,549	0,7585	0,78053	0,77	0,8076	0,7162	0,8313	0,7792	0,753	-0,7551	0,7168	0,7808	0,77952	0,7751	0,7756	0,7722	0,776	0,7969	0,8904	1	0,754	-0,235	0,8496	0,172	-0,52	-0,163	-0,163	0,268	-0,819	-0,764	-0,782	-0,782	-0,782		
Unionoid	-0,34	0,555	0,479	0,238	-0,14	0,4254	0,46653	0,4287	0,4314	0,3904	0,6608	0,4583	0,436	-0,4548	0,4374	0,4644	0,46148	0,4549	0,4633	0,4448	0,453	0,748	0,7608	0,754	1	-0,184	0,1991	0,162	-0,41	-0,128	-0,128	0,59	-0,532	-0,538	-0,484	-0,484	-0,484		
Gordioic	0,077	-0,318	-0,36	-0,3242	0,085	-0,3706	-0,3242	-0,3183	-0,356	-0,3717	-0,34	-0,324	-0,386	0,37074	-0,3552	-0,3551	-0,363	-0,355	-0,363	-0,355	-0,2748	-0,261	-0,235	-0,1842	1	-0,274	0,288	0,099	-0,05	-0,05	0,077	0,3715	0,3838	0,4013	0,4013	0,4013			
Trichdis	-0,52	0,753	0,696	0,5745	-0,357	0,6968	0,68502	0,6777	0,746	0,6618	0,8197	0,7129	0,703	-0,6647	0,6794	0,7115	0,71004	0,7125	0,7119	0,7079	0,707	0,9135	0,8728	0,8496	0,7991	-0,274	1	0,13	-0,61	-0,19	-0,034	0,414	-0,779	-0,794	-0,747	-0,747			
Acari	-0,22	0,063	0,034	-0,1359	-0,232	-0,153	-0,0566	-0,0701	0,0113	-0,068																													

Tabla 29

Cuadros de la matriz de correlación del Río Zham-Zham - Físicoquímicos y Microbiológicos y Macro invertebrados (Pearson)

	Caudal	Temp	Temp_agr	Turbidez	pH	Alcalinidad	Conductibi	Salinidad	PO4-	NH4	NO3-	NO2-	K+	OxigDisuel	DBO5	DQO	Cl-	DurezaT	SólidosT	ColIF	ColIT	Glossipl	Haploxiid	Basomr	Uniono	Gordioi	Triclad.	Acari.,L	Decapoc	Amphipr	Colleml	Diptera.	Ephemr	Pleocop	Tricli
Caudal	1	-0,74	-0,7274	-0,609	0,763	-0,833858	-0,71162	-0,816655	-0,7	-0,874	-0,653	-0,6698	-0,546	0,887376	-0,623	-0,66	-0,659	-0,7813	-0,6889	-0,768	-0,775	-0,717	-0,6703	-0,753	-0,302	-0,058	-0,768	0,0772	0,19518	0,1848	0,1663	0,7614	0,748	0,55	0,5
Temp_f	-0,74	1	0,97166	0,7985	-0,724	0,867001	0,963678	0,897445	0,93	0,718	0,9301	0,9548	0,7553	-0,867015	0,924	0,948	0,8897	0,9222	0,93828	0,9476	0,946	0,839	0,85683	0,8652	0,6	0,222	0,8427	-0,045	-0,048	-0,3141	-0,052	-0,874	-0,914	-0,93	-0
Temp_a	-0,73	0,972	1	0,8425	-0,727	0,898423	0,973463	0,908207	0,94	0,765	0,9436	0,973	0,827	-0,88029	0,954	0,978	0,9094	0,9421	0,9576	0,9741	0,972	0,81	0,80684	0,8251	0,532	0,17	0,802	-0,139	0,00519	-0,3166	-0,011	-0,91	-0,926	-0,932	-0
Turbidez	-0,61	0,798	0,84247	1	-0,858	0,876207	0,873915	0,876015	0,92	0,766	0,9083	0,8828	0,8682	-0,846566	0,935	0,84	0,9184	0,8963	0,82471	0,9197	0,919	0,7656	0,6187	0,714	0,36	0,138	0,5964	-0,218	-0,1492	-0,1399	0,0177	-0,887	-0,896	-0,78	-0
pH	0,76	-0,72	-0,72718	-0,858	1	-0,822343	-0,801162	-0,858574	-0,8	-0,77	-0,844	-0,7669	-0,708	0,880278	-0,79	-0,668	-0,849	-0,8506	-0,6562	-0,835	-0,838	-0,812	-0,6166	-0,745	-0,326	-0,221	-0,608	0,2134	0,34546	0,1408	0,1806	0,8553	0,891	0,645	0,6
Alcalinic	-0,83	0,867	0,89842	0,8762	-0,822	1	0,900617	0,915271	0,9	0,904	0,8684	0,8872	0,8069	-0,960219	0,882	0,897	0,8429	0,9334	0,90441	0,9516	0,952	0,7276	0,69228	0,7587	0,336	0,04	0,7562	-0,221	-0,1166	-0,2261	-0,053	-0,868	-0,888	-0,795	-0
Conduc	-0,71	0,964	0,97346	0,8739	-0,801	0,900617	1	0,926394	0,97	0,743	0,9789	0,9804	0,8485	-0,899549	0,963	0,948	0,9322	0,9573	0,93004	0,9773	0,976	0,8468	0,82832	0,8445	0,578	0,196	0,8037	-0,084	-0,11	-0,2434	-0,073	-0,908	-0,952	-0,942	-0
Salinidad	-0,82	0,897	0,90821	0,876	-0,859	0,915271	0,926394	1	0,95	0,806	0,9092	0,935	0,7784	-0,942523	0,916	0,859	0,9341	0,9696	0,86298	0,9456	0,946	0,8657	0,82484	0,8754	0,544	0,204	0,8273	-0,085	-0,0973	-0,1886	-0,046	-0,911	-0,949	-0,843	-0
PO4-	-0,71	0,931	0,94341	0,92	-0,838	0,895098	0,967415	0,954549	1	0,758	0,9645	0,9782	0,8432	-0,896195	0,983	0,909	0,9841	0,9689	0,91196	0,9675	0,965	0,8778	0,83863	0,8523	0,59	0,192	0,8035	-0,08	-0,1625	-0,2243	-0,052	-0,932	-0,961	-0,93	-0
NH4	-0,87	0,718	0,76475	0,7657	-0,77	0,904286	0,742608	0,805803	0,76	1	0,8921	0,7241	0,7054	-0,912063	0,725	0,737	0,7103	0,8223	0,7549	0,8374	0,842	0,7087	0,62445	0,7383	0,258	0,086	0,7235	-0,182	-0,2211	-0,1376	-0,103	-0,808	-0,79	-0,585	-0
NO3-	-0,65	0,93	0,94362	0,9083	-0,844	0,86841	0,978885	0,909236	0,96	0,692	1	0,9607	0,8514	-0,862021	0,969	0,919	0,9508	0,9365	0,8833	0,9604	0,958	0,8444	0,76573	0,7994	0,535	0,206	0,7182	-0,172	-0,1362	-0,2671	-0,084	-0,923	-0,945	-0,925	-0
NO2-	-0,67	0,955	0,97296	0,8828	-0,767	0,88716	0,980443	0,935046	0,98	0,724	0,9607	1	0,8277	-0,879293	0,984	0,953	0,9564	0,9614	0,94461	0,9715	0,968	0,8226	0,82089	0,8397	0,582	0,197	0,7921	-0,09	-0,0125	-0,2651	-0,012	-0,9	-0,956	-0,958	-0
K ₁	-0,55	0,755	0,82697	0,8682	-0,708	0,806885	0,848535	0,778357	0,84	0,705	0,8514	0,8277	1	-0,771477	0,869	0,826	0,8178	0,8086	0,80496	0,8596	0,86	0,7104	0,62516	0,6678	0,317	0,037	0,6017	-0,175	-0,1942	-0,0792	0,0075	-0,859	-0,811	-0,776	-0
OxigDis	0,89	-0,87	-0,88023	-0,847	0,88	-0,960219	-0,899549	-0,942523	-0,9	-0,912	-0,862	-0,8793	-0,771	1	-0,859	-0,846	-0,855	-0,9391	-0,8524	-0,941	-0,943	-0,814	-0,7629	-0,854	-0,433	-0,133	-0,822	0,1255	0,18316	0,188	0,0846	0,8942	0,931	0,769	0,7
DBO5	-0,62	0,924	0,95371	0,9349	-0,79	0,881691	0,963133	0,9163	0,98	0,725	0,9689	0,9841	0,8693	-0,859481	1	0,944	0,9724	0,9497	0,92869	0,9689	0,965	0,8157	0,76948	0,7991	0,534	0,18	0,7323	-0,152	-0,0611	-0,2572	0,018	-0,921	-0,947	-0,94	-0
DQO	-0,66	0,948	0,97809	0,8395	-0,668	0,897368	0,948286	0,858782	0,91	0,737	0,9185	0,9528	0,8258	-0,845799	0,944	1	0,8659	0,9143	0,97291	0,9572	0,955	0,7124	0,7291	0,7479	0,471	0,118	0,7396	-0,169	0,06201	-0,3551	0,0487	-0,861	-0,882	-0,924	-0
Cl ₋	-0,66	0,89	0,90941	0,9184	-0,849	0,842883	0,932176	0,934069	0,98	0,71	0,9508	0,9564	0,8178	-0,855386	0,972	0,866	1	0,9464	0,85621	0,9392	0,937	0,8666	0,78828	0,8238	0,562	0,21	0,7345	-0,121	-0,1347	-0,2163	-0,036	-0,927	-0,957	-0,899	-0
DurezaT	-0,78	0,922	0,94209	0,8963	-0,851	0,933369	0,957326	0,969606	0,97	0,822	0,9365	0,9614	0,8086	-0,939057	0,95	0,914	0,9464	1	0,91037	0,9762	0,976	0,8337	0,80877	0,8459	0,535	0,266	0,8119	-0,049	-0,1102	-0,2447	-0,051	-0,916	-0,968	-0,888	-0
SólidosT	-0,69	0,938	0,9576	0,8247	-0,856	0,904407	0,930042	0,862977	0,91	0,755	0,8833	0,9446	0,805	-0,852431	0,929	0,973	0,8562	0,9104	1	0,9371	0,935	0,7009	0,7533	0,7527	0,497	0,088	0,7729	-0,091	-0,0037	-0,2953	0,0498	-0,839	-0,869	-0,921	-0
ColIF	-0,77	0,948	0,97407	0,9197	-0,835	0,951589	0,977319	0,945639	0,97	0,837	0,9604	0,9715	0,8596	-0,940732	0,969	0,957	0,9392	0,9762	0,93714	1	1	0,8343	0,78107	0,8389	0,479	0,169	0,797	-0,166	-0,0745	-0,2606	-0,026	-0,937	-0,963	-0,897	-0
ColIT	-0,78	0,946	0,97235	0,9195	-0,838	0,952026	0,975546	0,945793	0,97	0,842	0,9583	0,9683	0,86	-0,943471	0,965	0,955	0,9371	0,9761	0,93471	0,9995	1	0,833	0,77867	0,8364	0,473	0,165	0,7864	-0,156	-0,0813	-0,2563	-0,03	-0,938	-0,962	-0,892	-0
Glossipl	-0,72	0,839	0,80997	0,7656	-0,812	0,72763	0,846811	0,865686	0,88	0,709	0,8444	0,8226	0,7104	-0,814481	0,816	0,712	0,8666	0,8337	0,70086	0,8343	0,833	1	0,89803	0,9386	0,668	0,325	0,8388	-0,003	-0,3145	-0,1489	-0,149	-0,877	-0,875	-0,752	-0
Haploxiid	-0,67	0,857	0,80684	0,6187	-0,617	0,69228	0,828316	0,824836	0,84	0,624	0,7657	0,8209	0,6252	-0,762888	0,769	0,729	0,7883	0,8088	0,7533	0,7811	0,779	0,898	1	0,9206	0,776	0,327	0,9656	0,2338	-0,2393	-0,1637	-0,164	-0,755	-0,8	-0,827	-0
Basomr	-0,75	0,865	0,82512	0,714	-0,745	0,758747	0,844476	0,87541	0,85	0,738	0,7994	0,8397	0,6678	-0,854153	0,799	0,748	0,8238	0,8459	0,7527	0,8389	0,836	0,9386	0,92056	1	0,702	0,333	0,9093	0,0622	-0,1844	-0,1577	-0,158	-0,823	-0,881	-0,765	-0
Unionoi	-0,3	0,6	0,53152	0,36	-0,326	0,335529	0,577753	0,543692	0,59	0,258	0,5348	0,582	0,3175	-0,432606	0,534	0,471	0,5623	0,5349	0,49676	0,4789	0,473	0,6681	0,7756	0,7022	1	0,36	0,6883	0,3991	-0,2668	-0,1263	-0,126	-0,46	-0,536	-0,638	-0
Gordioi	-0,06	0,222	0,17	0,1377	-0,221	0,039874	0,195501	0,203733	0,19	0,086	0,2065	0,1965	0,0368	-0,132948	0,18	0,118	0,2101	0,2657	0,08777	0,1696	0,165	0,3247	0,32662	0,3329	0,36	1	0,2602	0,4152	-0,0728	-0,0345	-0,034	-0,188	-0,29	-0,174	-0
Tricladia	-0,77	0,843	0,80199	0,5964	-0,608	0,756224	0,803658	0,827274	0,8	0,723	0,7182	0,7921	0,6017	-0,821912	0,732	0,74	0,7345	0,8119	0,7729	0,787	0,786	0,8388	0,96563	0,9093	0,688	0,26	1	0,2072	-0,2037	-0,1543	-0,154	-0,741	-0,776	-0,779	-0
Acari.,L	0,08	-0,05	-0,13901	-0,218	0,213	-0,220889	-0,083766	-0,065245	-0,1	-0,182	-0,172	-0,0897	-0,175	0,125516	-0,152	-0,169	-0,121	-0,0489	-0,0908	-0,166	-0,156	-0,003	0,23382	0,0622	0,399	0,415	0,2072	1	-0,1754	0,4152	-0,083	0,1886	0,103	0,014	0,0
Decapoc	0,2	-0,05	0,00519	-0,149	0,345	-0,116592	-0,109998	-0,097301	-0,2	-0,221	-0,136	-0,0125	-0,194	0,183159	-0,061	0,062	-0,135	-0,1102	-0,0037	-0,075	-0,081	-0,315	-0,2												

Tabla 30

Cuadros de la matriz de correlación del Río Zham-Zham - Físicoquímicos y Microbiológicos y Macro invertebrados (Spearman)

	Caudal	Temp_A	Temp_w	Turbidez	pH	Alcalinidad	Conduct	Salinidad	PO4-	NH4	NO3-	NO2-	K+	OxigDisuel	DBO5	DGO	Cl-	DurezaT	SólidosT	Colif	ColIT	Glossipl	Haploxiid	Bazomn	Uniono	Gordioi	Tricldia	Acari...	Decapo	Amphip	Collembc	Diptera	Epheme	Plecopt	Tricho	Coléog	Megalop	Odonat	Hemipt	Lepid
Caudal	1	-0,716	-0,723	-0,47	0,748	-0,68	-0,75	-0,74	-0,72	-0,68	-0,75	-0,73	-0,52	0,75864	-0,614	-0,74	-0,77	-0,712	-0,689	-0,72	-0,72	-0,678	-0,653	-0,7	-0,38	-0,183	-0,69	-0,03	0,164	0,258	0,1611	0,666	0,733	0,587	0,54	0,68	0,719	0,411	0,039	0,42
Temp_Ar	-0,7	1	0,969	0,8013	-0,61	0,959	0,9672	0,92	0,96	0,918	0,97	0,963	0,776	-0,3592	0,937	0,96	0,94	0,952	0,939	0,96	0,95	0,89	0,89	0,909	0,64	0,248	0,895	-0,03	-0,08	-0,27	-0,054	-0,9	-0,95	-0,924	-0,92	-0,86	-0,66	-0,803	-0,24	-0,2
Temp_wg	-0,7	0,9687	1	0,856	-0,64	0,985	0,9768	0,953	0,99	0,965	0,972	0,992	0,846	-0,3777	0,959	0,99	0,969	0,982	0,94	0,99	0,99	0,88	0,864	0,881	0,58	0,236	0,874	-0,11	-0,06	-0,29	-0,054	-0,94	-0,97	-0,931	-0,93	-0,87	-0,637	-0,846	-0,3	-0,3
Turbidez	-0,5	0,8013	0,856	1	-0,63	0,882	0,8429	0,847	0,88	0,863	0,838	0,878	0,873	-0,8407	0,927	0,87	0,839	0,863	0,803	0,88	0,89	0,785	0,651	0,705	0,39	0,097	0,665	-0,18	-0,15	-0,1	0,0322	-0,85	-0,82	-0,777	-0,82	-0,74	-0,348	-0,792	-0,49	-0,4
pH	0,75	-0,609	-0,635	-0,631	1	-0,63	-0,67	-0,66	-0,64	-0,6	-0,7	-0,65	-0,58	0,67428	-0,6	-0,65	-0,66	-0,646	-0,491	-0,64	-0,65	-0,631	-0,492	-0,56	-0,21	-0,161	-0,49	0,269	0,397	0,161	0,2253	0,641	0,656	0,452	0,48	0,52	0,463	0,321	0,191	0,77
Alcalinidad	-0,7	0,959	0,985	0,8824	-0,63	1	0,9703	0,943	0,99	0,96	0,967	0,985	0,845	-0,3676	0,971	0,99	0,967	0,979	0,944	0,98	0,98	0,863	0,833	0,856	0,53	0,172	0,856	-0,16	-0,06	-0,28	-0,043	-0,92	-0,95	-0,925	-0,94	-0,87	-0,593	-0,847	-0,31	-0,3
Conduct	-0,7	0,9672	0,977	0,8429	-0,67	0,97	1	0,941	0,98	0,944	0,967	0,986	0,826	-0,3879	0,948	0,98	0,954	0,969	0,937	0,98	0,98	0,878	0,848	0,874	0,57	0,161	0,869	-0,11	-0,08	-0,25	-0,075	-0,9	-0,95	-0,916	-0,92	-0,85	-0,677	-0,816	-0,28	-0,3
Salinidad	-0,7	0,92	0,953	0,8468	-0,66	0,943	0,9408	1	0,95	0,89	0,935	0,957	0,786	-0,3535	0,939	0,95	0,956	0,947	0,893	0,94	0,94	0,888	0,861	0,886	0,59	0,201	0,877	-0,05	-0,02	-0,2	-0,011	-0,89	-0,93	-0,866	-0,89	-0,89	-0,632	-0,82	-0,38	-0,4
PO4	-0,7	0,9628	0,966	0,8789	-0,64	0,987	0,984	0,951	1	0,964	0,975	0,992	0,852	-0,3839	0,97	0,99	0,973	0,979	0,952	0,99	0,99	0,872	0,842	0,866	0,56	0,161	0,861	-0,12	-0,06	-0,25	-0,011	-0,93	-0,96	-0,928	-0,93	-0,88	-0,626	-0,851	-0,3	-0,3
NH4	-0,7	0,9178	0,965	0,8633	-0,6	0,96	0,9435	0,89	0,96	1	0,927	0,969	0,86	-0,3461	0,943	0,96	0,946	0,964	0,923	0,98	0,98	0,815	0,779	0,817	0,51	0,161	0,806	-0,16	-0,08	-0,28	-0,043	-0,93	-0,94	-0,898	-0,89	-0,83	-0,556	-0,854	-0,31	-0,2
NO3	-0,8	0,9704	0,972	0,8376	-0,7	0,967	0,9669	0,935	0,97	0,927	1	0,979	0,813	-0,3821	0,941	0,98	0,942	0,964	0,935	0,97	0,96	0,86	0,836	0,861	0,54	0,182	0,859	-0,11	-0,09	-0,26	-0,097	-0,91	-0,95	-0,913	-0,91	-0,83	-0,68	-0,787	-0,24	-0,3
NO2	-0,7	0,9695	0,992	0,8783	-0,65	0,985	0,9862	0,957	0,99	0,969	0,979	1	0,843	-0,3884	0,97	0,99	0,974	0,987	0,952	1	0,99	0,873	0,845	0,879	0,58	0,182	0,865	-0,1	-0,06	-0,28	-0,032	-0,93	-0,97	-0,929	-0,93	-0,88	-0,637	-0,844	-0,31	-0,3
K1	-0,5	0,7764	0,846	0,8732	-0,58	0,845	0,8264	0,786	0,85	0,86	0,813	0,843	1	-0,8184	0,886	0,86	0,793	0,844	0,779	0,86	0,86	0,773	0,685	0,701	0,39	0,075	0,683	-0,17	-0,22	-0,1	-0,011	-0,87	-0,79	-0,781	-0,81	-0,71	-0,36	-0,784	-0,4	-0,3
OxigDisol	0,76	-0,359	-0,378	-0,841	0,674	-0,97	-0,988	-0,95	-0,98	-0,95	-0,98	-0,99	-0,82	1	-0,351	-0,98	-0,96	-0,983	-0,939	-0,98	-0,97	-0,873	-0,844	-0,86	-0,58	-0,183	-0,86	0,098	0,062	0,29	0,0107	0,318	0,361	0,316	0,32	0,87	0,673	0,82	0,267	0,36
DBO5	-0,6	0,937	0,959	0,9265	-0,6	0,971	0,9483	0,939	0,97	0,943	0,941	0,97	0,886	-0,3511	1	0,97	0,929	0,966	0,931	0,97	0,96	0,872	0,829	0,86	0,56	0,183	0,846	-0,11	-0,09	-0,2	0,0215	-0,93	-0,92	-0,896	-0,92	-0,83	-0,488	-0,863	-0,41	-0,3
DGO	-0,7	0,9619	0,99	0,8719	-0,65	0,987	0,9831	0,953	0,99	0,964	0,977	0,994	0,855	-0,3816	0,967	1	0,968	0,984	0,953	0,99	0,99	0,863	0,84	0,866	0,53	0,182	0,864	-0,12	-0,05	-0,29	-0,032	-0,94	-0,97	-0,929	-0,93	-0,87	-0,633	-0,841	-0,31	-0,3
Cl	-0,8	0,94	0,969	0,8332	-0,66	0,967	0,9539	0,956	0,97	0,946	0,942	0,974	0,793	-0,3531	0,929	0,97	1	0,965	0,925	0,97	0,97	0,865	0,835	0,867	0,56	0,161	0,854	-0,13	-0,03	-0,26	0,0107	-0,91	-0,96	-0,9	-0,89	-0,91	-0,634	-0,811	-0,23	-0,3
DurezaT	-0,7	0,9523	0,982	0,8634	-0,65	0,979	0,9669	0,947	0,98	0,964	0,964	0,987	0,844	-0,3827	0,966	0,98	0,965	1	0,939	0,99	0,98	0,87	0,844	0,864	0,57	0,225	0,862	-0,1	-0,07	-0,29	-0,011	-0,93	-0,97	-0,926	-0,93	-0,87	-0,592	-0,848	-0,32	-0,3
SólidosT	-0,7	0,9389	0,94	0,8025	-0,49	0,944	0,9371	0,899	0,95	0,923	0,935	0,952	0,779	-0,399	0,931	0,95	0,925	0,939	1	0,95	0,94	0,788	0,838	0,847	0,56	0,097	0,892	-0,03	-0,05	-0,28	-0,011	-0,87	-0,9	-0,929	-0,91	-0,84	-0,588	-0,834	-0,22	-0,1
Colif	-0,7	0,9604	0,988	0,8797	-0,64	0,984	0,9834	0,941	0,99	0,982	0,971	0,996	0,858	-0,3882	0,967	0,99	0,969	0,986	0,947	1	1	0,873	0,839	0,87	0,57	0,182	0,86	-0,1	-0,09	-0,27	-0,054	-0,93	-0,97	-0,927	-0,93	-0,87	-0,622	-0,854	-0,33	-0,3
ColIT	-0,7	0,9545	0,986	0,8661	-0,65	0,983	0,9773	0,937	0,99	0,983	0,964	0,993	0,86	-0,375	0,963	0,99	0,967	0,981	0,938	1	1	0,866	0,825	0,858	0,55	0,182	0,844	-0,11	-0,09	-0,27	-0,054	-0,93	-0,96	-0,919	-0,93	-0,87	-0,61	-0,85	-0,34	-0,3
Glossiph	-0,7	0,8899	0,88	0,7646	-0,69	0,863	0,8775	0,888	0,87	0,815	0,86	0,873	0,773	-0,8731	0,872	0,86	0,865	0,87	0,788	0,87	0,87	1	0,932	0,907	0,75	0,28	0,892	0,034	-0,34	-0,16	-0,163	-0,83	-0,86	-0,814	-0,86	-0,86	-0,567	-0,773	-0,44	-0,5
Haploxiid	-0,7	0,8897	0,864	0,6508	-0,49	0,833	0,8476	0,861	0,84	0,779	0,836	0,845	0,685	-0,844	0,829	0,84	0,835	0,844	0,838	0,84	0,82	0,932	1	0,924	0,8	0,333	0,979	0,193	-0,23	-0,17	-0,172	-0,78	-0,83	-0,859	-0,86	-0,85	-0,598	-0,816	-0,36	-0,3
Bazomn	-0,7	0,9093	0,881	0,7047	-0,56	0,856	0,8741	0,886	0,87	0,817	0,861	0,879	0,701	-0,8629	0,86	0,87	0,867	0,864	0,847	0,87	0,86	0,907	0,924	1	0,76	0,287	0,924	0,077	-0,15	-0,17	-0,172	-0,8	-0,88	-0,817	-0,83	-0,82	-0,598	-0,771	-0,37	-0,3
Unionoid	-0,4	0,6444	0,582	0,3925	-0,21	0,53	0,573	0,587	0,56	0,508	0,543	0,576	0,399	-0,5762	0,558	0,53	0,558	0,574	0,559	0,57	0,55	0,749	0,801	0,764	1	0,335	0,73	0,36	-0,27	-0,13	-0,129	-0,49	-0,59	-0,642	-0,68	-0,68	-0,447	-0,61	-0,34	-0,1
Gordioi	-0,2	0,2481	0,236	0,0365	-0,16	0,172	0,1609	0,201	0,16	0,161	0,182	0,182	0,075	-0,1825	0,183	0,18	0,161	0,225	0,097	0,18	0,18	0,28	0,333	0,287	0,33	1	0,241	0,415	-0,07	-0,03	-0,034	-0,21	-0,28	-0,172	-0,18	-0,18	-0,12	-0,163	-0,09	-0,1
Tricldia	-0,7	0,8948	0,874	0,6648	-0,49	0,856	0,869	0,877	0,86	0,806	0,859	0,865	0,683	-0,8644	0,846	0,86	0,854	0,862	0,892	0,86	0,84	0,892	0,979	0,924	0,79	0,241	1	0,171	-0,21	-0,17	-0,172	-0,78	-0,84	-0,859	-0,85	-0,85	-0,598	-0,816	-0,34	-0,1
Acari...	-0	-0,031	-0,109	-0,181	0,269	-0,16	-0,109	-0,05	-0,12	-0,16	-0,11	-0,1	-0,17	0,09825																										