



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,**

**INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.**

**“ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RIOS  
ZHAMZHAM Y PUCUHUAYCO DE LA CIUDAD DE CAÑAR  
MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN INDICE DE CALIDAD  
DE AGUA (ICA).”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**AUTORES: LADY NATHALY OJEDA GARCIA.**

**JUAN PABLO PACHECHO BUÑAY.**

**DIRECTOR: ING. CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS.**

**CUENCA-ECUADOR**

**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



# **UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

## **UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.**

### **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.**

**“ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS ZHAMZHAM Y  
PUCUHUAYCO DE LA CIUDAD DE CAÑAR MEDIANTE LA  
CONSTRUCCION DE UN ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA).”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.**

**AUTORES: LADY NATHALY OJEDA GARCIA.**

**JUAN PABLO PACHECHO BUÑAY.**

**DIRECTOR: ING. CARLOS MARCERLO MATOVELLE BUSTOS.**

**CUENCA - ECUADOR**

**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

**Lady Nathaly Ojeda García** portador de la cédula de ciudadanía N.º 0104777776 y **Juan Pablo Pacheco Buñay** portador de la cedula de ciudadanía N.º 0350155842. Declaramos ser los autores de la obra: **“ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RIOS ZHAMZHAM Y PUCUHUYCO DE LA CIUDAD DE CAÑAR MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **28 de febrero de 2023.**

F: .....

Lady Nathaly Ojeda García.

010477777-6

F: .....

Juan Pablo Pacheco Buñay.

035015584-2

## CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Carlos Marcelo Matovelle Bustos MSc con CI: 0302013578 en calidad de director de tesis certifico que el trabajo **“ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RIOS ZHAMZHAM Y PUCUHUAYCO DE LA CIUDAD DE CAÑAR MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA).”**, fue realizado por los estudiantes Lady Nathaly Ojeda García y Juan Pablo Pacheco Buñay, bajo mi supervisión.

Cuenca, **28 de febrero de 2023.**



.....

Ing. Carlos Marcelo Matovelle Bustos MSc.

**DIRECTOR.**

## DEDICATORIA

Quisiera dedicar el fruto de este trabajo a Dios y a mi familia, especialmente a mis padres Rider Ojeda y Marcia García, quienes me brindaron su apoyo y compañía en los momentos buenos y malos. Agradezco su enseñanza sobre cómo enfrentar las adversidades sin perder el control ni rendirme en el intento. Gracias a ellos, he aprendido a ser la persona que soy hoy, con mis propios principios, valores, perseverancia y determinación. Todo esto lo han hecho con una gran dosis de amor y sin esperar nada a cambio.

También quiero dedicar este trabajo a mi abuelita, quien ahora está en el cielo, pero que siempre estuvo a mi lado apoyándome en todo momento. Su más grande deseo era verme graduada, y estoy segura de que estaría muy orgullosa de mi hoy. A mis hermanas, Estrellita y Nicol, quienes han estado a mi lado en este camino de superación. Juntas hemos intentado alcanzar lo mejor y ser un orgullo para nuestros padres, quienes han hecho muchos sacrificios por nosotras,

Lady N, Ojeda.

Quiero dedicar este trabajo de titulación con toda mi gratitud a Dios, mi eterno guía. A mis abuelos Gustavo y Rosa, que me miran desde el cielo y me bendicen con su amor incondicional. A mis padres Wilson y Ligia, por su incesante apoyo a lo largo de mi vida y su ejemplo de dedicación a la familia. A todos mis familiares que me han apoyado en cada paso que he dado. A todos mis amigos por su tiempo y compañía, por compartir conmigo momentos inolvidables.

Por todo aquello que me han regalado, sinceramente les digo gracias. Este trabajo de titulación es un humilde homenaje a todos los que me han amado y apoyado a lo largo de mi vida. Sin su amor, sus consejos y su inspiración, esta tarea nunca se habría concretado,

Juan P, Pacheco Buñay.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quisiera agradecer a mi director de tesis, Ing. Carlos Matovelle, por su apoyo, orientación y sabias sugerencias durante todo el proceso de investigación de este trabajo. Su amplia experiencia y conocimiento en el campo de la ingeniería civil han sido fundamentales para el éxito de esta investigación. A la Ing. María Eugenia Bernal por sus consejos y experiencia que también sirvieron de mucho para poder desarrollar este trabajo de titulación de la mejor manera.

Finalmente, un agradecimiento formal a todos nuestros docentes, autoridades y personal de la Universidad Católica de Cuenca, por su dedicación en impartir conocimientos que, sin duda alguna, contribuyen al beneficio de nuestra sociedad. Este agradecimiento es, un reconocimiento a la labor incansable de cada uno de ellos en la formación de futuros ingenieros civiles.

## RESUMEN

Es fundamental investigar la calidad del agua de los ríos, dado que son fuentes importantes de suministro y recursos para múltiples aplicaciones que promueven el progreso humano. En la presente investigación se realizó la evaluación de la calidad del agua de los ríos Zhamzham y Pucuhuayco de la ciudad de Cañar, mediante la construcción de un Índice de Calidad del Agua “ICA” específico para la zona. Para ello, se utilizó el método “Delphi” y “AHP”, que consistió en la selección de un grupo de expertos que emitieron sus criterios a base de encuestas, donde asignaron pesos a los parámetros contaminantes más representativos dentro de un marco unificado. Todo esto mediante la matriz de comparación pareada, facilitando la toma de decisiones en problemas en los cuales se involucran múltiples criterios.

Durante tres meses, se han monitoreado 11 secciones a lo largo de estos dos ríos, evaluando diferentes parámetros medidos en campo, como el pH, oxígeno disuelto y temperatura y otros analizados en laboratorio como: DBO5, DQO, nitratos, fosfatos, sólidos suspendidos, turbidez y coliformes fecales. Esto permitió construir un ICA propio de la zona, donde se ha evidenciado que los ríos están clasificados como contaminados, con niveles de calidad que oscilan entre “media” y “mala”. Debido a que las descargas de aguas residuales se están vertiendo directamente en los cuerpos de agua, lo que sugiere una falta de compromiso de las entidades públicas de la ciudad en lo que respecta a la protección y gestión adecuada de los recursos hídricos.

*Palabras clave:* ICA, método delphi, AHP, contaminación, parámetros.

## ABSTRACT

It is essential to investigate the water quality of rivers since they are important sources of supply and resources for multiple purposes that promote human progress. This research evaluated water quality in the Zhamzham and Pucuhuayco rivers in Cañar by constructing a Water Quality Index (WQI) specific to the area. For this reason, the "Delphi" and "Analytic Hierarchy Process" (AHP) methods were used, which consisted of selecting a group of experts who established their criteria based on surveys, in which weights were assigned to the most representative pollutant parameters in a unified framework. This process was done using the paired comparison matrix, facilitating the decision-making process in problems in which multiple criteria were involved. During three months, 11 sections have been monitored along these two rivers, evaluating different parameters measured in the site, including pH, dissolved oxygen, temperature, and others such as BOD5, COD, nitrates, phosphates, suspended solids, turbidity, and fecal coliforms. This made it possible to construct an WQI for the area, which has shown that the rivers are classified as polluted, with quality levels ranging from "medium" to "poor." The fact that sewage discharges are being dumped directly into the water bodies suggests a lack of commitment from the city's public entities regarding protecting and adequately managing water resources.

*Keywords:* WQI, Delphi Method, AHP, contamination, parameter.

## INDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	4
1.3. Antecedentes.....	9
1.4. Objetivos.....	12
1.4.1 Objetivo General.....	12
1.4.2 Objetivos Específicos.....	12
1.5. Metodología.....	13
1.5.1 Área y delimitación de la zona de estudio.....	16
1.5.2 Uso de suelo y cobertura vegetal.....	17
1.5.3 Determinación de estaciones de monitoreo.....	18
1.5.4 Determinación de caudales.....	19
1.5.5 Determinación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos.....	20
Capítulo 2. MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. Calidad del agua.....	21
2.2. Contaminación del agua.....	21
2.2.1 Contaminación del agua por fuentes puntuales.....	22
2.2.2 Contaminación del agua por fuentes no puntuales o difusas.....	22
2.3.1 Parámetros físicos.....	22
2.3.2 Parámetros químicos.....	23
2.3.3 Parámetro físico – químico.....	25

2.3.4	Parámetros microbiológicos.....	25
2.4.	Índice de calidad del agua (ICA).....	25
2.4.1	Índice NSF .....	27
2.5.	Elaboración de índices de calidad del agua.....	28
2.5.1	Metodología Delphi .....	29
2.5.2	Fundamentos metodológicos del DELPHI .....	30
2.5.3	Método AHP (Análisis Jerárquico de Prioridades).....	32
2.5.4	Proceso de jerarquía analítica en índices de calidad del agua .....	32
2.6.	Sub-índices para la calidad del agua .....	36
2.7.	Métodos para validación de correlación de datos .....	37
2.7.1	Coefficiente de correlación ( $R^2$ ).....	38
2.8.	Legislación aplicable vigente .....	38
CAPITULO 3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....		40
3.1.	Campañas de monitoreo .....	40
3.2.	Ubicación y puntos de muestreo .....	41
3.3.	Justificación para la selección de parámetros .....	42
3.4.	Consideraciones para la toma de muestra .....	43
3.4.1	Conservación y etiquetado de la muestra .....	43
3.6.	Determinación de parámetros químicos y físicos en laboratorio. ....	45
3.7.	Metodología para la medición de caudal.....	46
3.8.	Metodología Delphi.....	49
3.9.	Desarrollo del índice propio (ICA) basado en AHP .....	52

3.9.1	Identificación de los pesos para cada parámetro seleccionado .....	52
3.9.2	Organización de una Jerarquía.....	52
3.9.3	Matriz de comparaciones por pares .....	52
3.9.4	Cálculo de pesos .....	55
3.9.5	Evaluación de coherencia .....	55
3.9.6	Agregación de pesos individuales a grupales .....	57
3.10.	Generación de subíndices .....	57
3.11.	Obtención del Índice de Calidad del Agua propio .....	65
3.11.1	Interpretación del valor del índice .....	66
3.12.	Correlación de datos .....	67
3.13.	Criterios de calidad admisible del Acuerdo Ministerial A97 .....	68
3.14.	Clasificación del ICA en base a los usos que se le da al recurso .....	68
3.15.	Metodología para determinar el ICA mediante el índice NSF. ....	69
4.	CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	72
4.1.	Resultados de los indicadores físicos, químicos y microbiológicos . ...	72
4.2	Resultado de la medición de los caudales - método del flotador .....	73
4.3	Variación de los caudales – ríos Pucuhuayco y Zhamzham .....	75
4.4	Resultados de derivación de caudales .....	77
4.5	Clasificación de caudales .....	78
4.5.1	Río Pucuhuayco .....	78
4.5.2	Clasificación de caudales - Río Zhamzham .....	79
	Construcción de ICA mediante las metodologías DELPHI y AHP .....	80

4.6. Resultados de la metodología DELPHI .....	80
4.7. Resultados del índice propio basado en AHP .....	82
4.8. Calidad del agua del rio Pucuhuayco aplicando el índice propio .....	85
4.8.1 Variación del índice ICA – Rio Pucuhuayco .....	86
4.8.2 Relacion del caudal y el ICA .....	87
4.8.3 Comparación de los muestreos con la normativa ecuatoriana .....	89
4.8.4 Usos del recurso según el ICA general .....	90
4.9. Calidad del agua del rio Zhamzham aplicando el índice propio .....	91
4.9.1 Variación del índice ICA – Rio Zhamzham .....	92
4.9.2 Relacion del caudal y el ICA .....	93
4.10. Comparación de los muestreos con la normativa ecuatoriana .....	95
4.10.1 Usos del recurso según el ICA general .....	96
4.11. Comparación del índice propio con el NSF .....	97
4.12. Correlación de datos del índice propio y NSF .....	102
4.13. Discusiones .....	108
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	112
BIBLIOGRAFIA .....	117
ANEXOS .....	122

## INDICE DE FIGURAS.

<b>Figura 1.</b> Río Zhamzham .....	5
<b>Figura 2.</b> Río Pucuhuayco.....	5
<b>Figura 3.</b> Residuos de la industria maderera (aserrín). .....	6
<b>Figura 4.</b> Basura desechada en el río Pucuhuayco.....	7
<b>Figura 5.</b> Basura desechada en el río Zhamzham. ....	7
<b>Figura 6.</b> Descargas no puntuales de efluentes domésticos Río Zhamzham. ....	8
<b>Figura 7.</b> Descargas no puntuales de efluentes domésticos Río Pucuhuayco.....	8
<b>Figura 8.</b> Descarga directa del alcantarillado.....	9
<b>Figura 9.</b> Diagrama de flujo - Desarrollo del ICA.....	15
<b>Figura 10.</b> Mapa de ubicación y área de estudio.....	16
<b>Figura 11.</b> Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo.....	17
<b>Figura 12.</b> Mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo.....	18
<b>Figura 13.</b> Escala de pH. ....	24
<b>Figura 14.</b> Pasos utilizados para la elaboración del ICA. ....	29
<b>Figura 15.</b> Escala fundamental de puntuación. ....	34
<b>Figura 16.</b> Punto de muestreo de la descarga.....	41
<b>Figura 17.</b> Multiparamétrico para obtención de datos en campo.....	44
<b>Figura 18.</b> Toma de muestras analizadas en laboratorio.....	45
<b>Figura 19.</b> Flotadores en distancia recorrida.....	46
<b>Figura 20.</b> Matriz de comparación por pares - esquema.....	53
<b>Figura 21.</b> Matriz de comparación por pares enviada a expertos. ....	54
<b>Figura 22.</b> Valores propuestos por el NSF para rangos de coliformes fecales. ....	58

<b>Figura 23.</b> Valores propuestos por el NSF para rangos del Ph.....	59
<b>Figura 24.</b> Valores propuestos por el NSF para rangos de la DBO5.....	60
<b>Figura 25.</b> Valores propuestos por el NSF para rangos de los nitratos.....	60
<b>Figura 26.</b> Valores propuestos por el NSF para rangos de los fosfatos.....	61
<b>Figura 27.</b> Valores de temperatura.....	62
<b>Figura 28.</b> Valores propuestos por el NSF para rangos de la turbidez.....	63
<b>Figura 29.</b> Valores propuestos por el NSF para rangos de solidos disueltos totales.....	63
<b>Figura 30.</b> Valores propuestos por el NSF para rangos del oxígeno disuelto.....	64
<b>Figura 31.</b> Valores del DQO.....	65
<b>Figura 32.</b> Variación espacial y temporal de los caudales – Rio Pucuhuayco.....	76
<b>Figura 33.</b> Variación espacial y temporal de los caudales – Rio Zhamzham.....	76
<b>Figura 34.</b> Estructuración de la jerarquía para la determinación de los pesos del AHP..	83
<b>Figura 35.</b> Variación espacial y temporal del rio Pucuhuayco.....	87
<b>Figura 36.</b> Relación de caudal e ICA – rio Pucuhuayco.....	88
<b>Figura 37.</b> Relación de caudal e ICA – rio Pucuhuayco.....	88
<b>Figura 38.</b> Relación de caudal e ICA – rio Pucuhuayco.....	89
<b>Figura 39.</b> Variación espacial y temporal del rio Zhamzham.....	93
<b>Figura 40.</b> Relación de caudal e ICA – rio Zhamzham.....	94
<b>Figura 41.</b> Relación de caudal e ICA – rio Zhamzham.....	94
<b>Figura 42.</b> Relación de caudal e ICA – rio Zhamzham.....	95
<b>Figura 43.</b> Relación de caudal e ICA – rio Pucuhuayco.....	99
<b>Figura 44.</b> Relación de caudal e ICA – rio Pucuhuayco.....	99
<b>Figura 45.</b> Relación de caudal e ICA – rio Pucuhuayco.....	100

<b>Figura 46.</b> Relación de caudal e ICA – río Zhamzham. ....	100
<b>Figura 47.</b> Relación de caudal e ICA – río Zhamzham. ....	101
<b>Figura 48.</b> Relación de caudal e ICA – río Zhamzham. ....	101
<b>Figura 49.</b> Correlación de datos – estación 9.....	103
<b>Figura 50.</b> Correlación de datos – estación 3.....	103
<b>Figura 51.</b> Correlación de datos – estación 4.....	104
<b>Figura 52.</b> Correlación de datos – estación 10.....	104
<b>Figura 53.</b> Correlación de datos – estación 7.....	105
<b>Figura 54.</b> Correlación de datos – estación 5.....	105
<b>Figura 55.</b> Correlación de datos – estación 8.....	106
<b>Figura 56.</b> Correlación de datos – estación 1.....	106
<b>Figura 57.</b> Correlación de datos – estación 11.....	107
<b>Figura 58.</b> Correlación de datos – estación 2.....	107
<b>Figura 59.</b> Correlación de datos – estación 6.....	108

## INDICE DE TABLAS.

<b>Tabla 1.</b> Ubicación de estaciones de monitoreo de las aguas receptoras.....	19
<b>Tabla 2.</b> Ponderación asignada a cada parámetro (NSF). .....	28
<b>Tabla 3.</b> Campañas de monitoreo y fecha de análisis. ....	40
<b>Tabla 4.</b> Formato de registro tomado en campo - multiparamétrico.....	44
<b>Tabla 5.</b> Métodos de referencia para realizar ensayos en laboratorio.....	46
<b>Tabla 6.</b> Formato para la estimación del área. ....	49
<b>Tabla 7.</b> Formato para la estimación de la velocidad mediante los flotadores. ....	49
<b>Tabla 8.</b> Criterio de valoración para selección de expertos. ....	51
<b>Tabla 9.</b> Escala de 1 a 9 puntos utilizada para el AHP .....	53
<b>Tabla 10.</b> Valores R.I. para el índice de consistencia. ....	57
<b>Tabla 11.</b> Tabla de la clasificación del ICA.....	67
<b>Tabla 12.</b> Criterios de calidad admisible del Acuerdo Ministerial A 97.....	68
<b>Tabla 13.</b> Escala de clasificación del ICA. ....	69
<b>Tabla 14.</b> Ponderación asignada a cada parámetro (NSF). ....	70
<b>Tabla 15.</b> Clasificación según el ICA NSF .....	71
<b>Tabla 16.</b> Resultado de parámetros del mes de octubre.....	72
<b>Tabla 17.</b> Resultado de parámetros del mes de noviembre.....	73
<b>Tabla 18.</b> Resultado de parámetros del mes de diciembre. ....	73
<b>Tabla 19.</b> Caudales aforados (m <sup>3</sup> /seg) en el mes de octubre.....	74
<b>Tabla 20.</b> Caudales aforados (m <sup>3</sup> /seg) en el mes de noviembre.....	74
<b>Tabla 21.</b> Caudales aforados (m <sup>3</sup> /seg) en el mes de diciembre. ....	75
<b>Tabla 22.</b> Derivación de caudales en la sección 7.....	77

<b>Tabla 23.</b> Derivación de caudales en el mes de octubre en la estación 8.....	77
<b>Tabla 24.</b> Clasificación de los caudales – río Pucuhuayco .....	78
<b>Tabla 25.</b> Clasificación de los caudales – río Zhamzham.....	79
<b>Tabla 26.</b> Determinación del coeficiente de argumentación.....	81
<b>Tabla 27.</b> Obtención del Índice de Competencia Experta (K). .....	82
<b>Tabla 28.</b> Obtención de los pesos por cada parámetro seleccionado. ....	84
<b>Tabla 29.</b> Resultados de los pesos individuales de los 12 encuestados .....	85
<b>Tabla 30.</b> Resultados de la calidad del agua del río Pucuhuayco con el índice propio....	86
<b>Tabla 31.</b> Rangos y descripción del estado de contaminación del ICA.....	86
<b>Tabla 32.</b> Resultados de la comparación con la normativa ecuatoriana .....	90
<b>Tabla 33.</b> Estado de clasificación del ICA .....	91
<b>Tabla 34.</b> Resultados de la calidad del agua del río Zhamzham con el índice propio .....	92
<b>Tabla 35.</b> Rangos y descripción del estado de contaminación del ICA.....	92
<b>Tabla 36.</b> Criterios de calidad admisible de la vida acuática – río Zhamzham.....	96
<b>Tabla 37.</b> Estado de clasificación del ICA en base a los usos del recurso.....	97
<b>Tabla 38.</b> Relación de caudal e ICA – río Zhamzham. ....	98
<b>Tabla 39.</b> Relación de caudal e ICA – río Zhamzham. ....	98

## **CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.**

En este capítulo se presenta la parte introductoria donde se describen las características generales de la zona de estudio y se explica la motivación del proyecto, que aborda las problemáticas más comunes presentes en la zona y sus posibles causas. Además, se mencionan algunos estudios previos realizados tanto a nivel nacional como internacional que abordan la problemática establecida. Los objetivos del proyecto se plantean y se describe la metodología experimental utilizada en la presente investigación.

### **1.1. Introducción.**

Los recursos hídricos son esenciales para diversos aspectos de la economía, desde la agricultura hasta la industria. La disponibilidad y la calidad del agua han sufrido un deterioro continuo debido a la expansión de la población, la industrialización y la urbanización (Tyagi et al., 2013). La pureza del agua es un asunto esencial en la administración de los recursos hídricos. (Sutadian et al., 2017), y su clasificación basada en el grado de pureza y contaminación data de 1848, siendo evaluada por sus características físicas, químicas y microbiológicas (Pérez et al., 2018). La evaluación de la calidad del agua es un proceso complejo debido a la diversidad de factores y parámetros que pueden afectarla. Por ello, se requiere la creación de índices de calidad del agua (ICAs) como una herramienta eficaz para describir el estado general de la calidad del agua en una sola expresión fácil de comprender para el público y para quienes toman decisiones (Tyagi et al., 2013).

El primer ICA utilizado fue el índice sapróbico, desarrollado en 1908 por el microbiólogo Edwar Herbert, el cual se desarrolló para determinar la calidad de agua del Rio Ganges, Considerando la existencia de bacterias y algas en el río para evaluar la cantidad de materia orgánica de fácil degradación en el agua de superficie. Desde entonces, se han creado muchos otros Índices de Calidad del Agua que se han convertido en una valiosa herramienta en programas de monitoreo,

regulación y administración de los recursos hídricos, como el ICA de la National Sanitation Foundation en los Estados Unidos, el ICA de León en México, el CCME en Canadá, el Índice de Calidad General en España, el Índice Holandés de Calidad del Agua, entre otros (García-González et al., 2021).

En Ecuador, el uso del ICA de la National Sanitation Foundation ha sido dominante, como se puede ver en el estudio técnico de la subcuenca del Río Coca (García-González et al., 2021), el estudio de calidad de agua superficial en la cuenca del Río Mira (Altamirano Mateus, 2013) y la evaluación de la pureza en el Río Portoviejo (Quiroz Fernández et al., 2017). Sin embargo, otros índices han sido utilizados como el de Dinius en la valoración de la calidad de agua destinada al consumo humano en Quevedo (Mite et al., 2016) y el aplicado en el Río Burgay que es un modelo aditivo de calidad del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (Calle & Gómez, 2014a).

Según Plan de Ordenamiento Territorial Municipal del cantón Cañar, esta ciudad no cuenta con un estudio de la calidad del agua de sus ríos. Es por ello que, gran parte de la población carece de servicios de agua potable; con descarga directa de las aguas residuales a los ríos, lagos o quebradas, causando la contaminación de las fuentes hidrográficas (PDOT, 2021). La degradación de la calidad del agua hace que sea prioritario evaluarla con el objetivo de tomar medidas de regulación y mitigación, por lo que es necesario encontrar alternativas de evaluación que permitan conocer su condición.

Para una evaluación más precisa de la calidad de los recursos hídricos, es conveniente crear indicadores específicos para cada área o ecosistema, debido a que estos dependen de las diferentes características locales, las condiciones geográficas y ambientales de la región (García-González et al., 2021). Por tanto, existen diferentes técnicas viables para desarrollar índices de calidad, uno

de ellos es la metodología DELPHI, que permite la selección de un grupo de expertos, mediante encuestas realizadas donde se evalúa la experiencia profesional, producción científica, campos de estudio e implicación laboral, asegurando la calidad del panel (López-Gómez, 2018) . Y, por otro lado, la metodología AHP (Análisis Jerárquico de Prioridades) que se utiliza para evaluar y priorizar diferentes alternativas, basándose en la construcción de una matriz de comparación de las alternativas o soluciones, en la que se establecen relaciones de prioridad entre ellas (Delgado, 2015) . A partir de esta matriz se obtienen pesos y subíndices que serán utilizados en la formulación del ICA. La combinación de estos dos métodos permite alcanzar un consenso entre los participantes sobre los criterios y alternativas a considerar, para luego evaluar y priorizar estas alternativas de manera objetiva y basada en criterios.

La presente investigación pretende desarrollar un indicador (ICA) para los ríos Zhamzham y Pucuhuayco de la ciudad de Cañar, mediante las metodologías DELPHI y AHP, haciéndose uso del software EXPERT CHOICE, el cual permitió construir una jerarquía de criterios para así calcular los pesos relativos de cada uno. Para ello se han monitoreado en diferentes meses 11 secciones a lo largo de estos dos ríos, analizando diferentes parámetros tomados en campo como el pH, oxígeno disuelto y temperatura y otros analizados en laboratorio como: DBO5, DQO, nitratos, fosfatos, sólidos suspendidos, turbidez y coliformes fecales. De esta manera se facilita la elaboración del Índice de Calidad del Agua específico para la zona de estudio, permitiendo tener información sobre el grado de contaminación y abrir una discusión sobre los resultados obtenidos.

## **1.2. Justificación.**

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) aboga por objetivos integrados e indivisibles que engloban aspectos económicos, sociales y ambientales. Dentro de estos objetivos se encuentra el Objetivo 6, que busca “Asegurar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y saneamiento para todos”. Con el fin de mejorar la calidad del agua, se busca reducir la cantidad de contaminación presente, evitar los vertidos, disminuir al mínimo la descarga de materiales y productos químicos perjudiciales, reducir a la mitad la cantidad de aguas residuales no tratadas, y aumentar significativamente el reciclaje y la reutilización de forma segura (ONU, 2016).

En Ecuador, el objetivo 6 ha tenido ciertos avances, como la implementación de programas para mejorar el acceso al agua potable y saneamiento en zonas rurales y urbanas. Sin embargo, aún existen desafíos a superar, como la falta de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales y la deforestación, que afectan negativamente la disponibilidad y calidad del agua. En el cantón Cañar el tema hídrico pasa totalmente desapercibido, es un problema que afecta directamente a la salud, crecimiento y desarrollo de la población. Es esencial evaluar la situación actual de los ríos y otros cuerpos de agua debido a que son fuentes importantes de agua para diversos usos en las comunidades circundantes, incluyendo el suministro público, agricultura, abrevadero para animales y tratamiento de aguas residuales.

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Cañar, los ríos Pucuhuayco y Zhamzham que en su curso bañan a la ciudad presentan una situación preocupante, en donde las viviendas eliminan las aguas servidas con descarga directa a los ríos, contaminando los recursos naturales del medio, los mismos que se utilizan para el riego y cultivo de la zona. Dado esto la calidad de agua se ve afectada y es de conocimiento público que la misma es aprovechada por el

sector agrario y ganadero de las parroquias La Posta y Nar, generando impactos negativos como enfermedades en el ganado, problemas en los cultivos, malos olores, incomodidad, cambio en la perspectiva visual del paisaje, fauna nociva y sobre todo enfermedades como la Diarrea, E. Collí, Hepatitis, Disentería, Infecciones de heridas, Sarpullido, Dengue, etc. De tal manera, que poseer este servicio no es un beneficio que se ve reflejado solamente en la salud de los habitantes, sino que también ayuda al desarrollo en diferentes ámbitos al pueblo, impulsando el desarrollo de la región y del país (PDOT, 2021). En las Figuras 1 y 2 se muestra el estado actual de los ríos Pucuhuayco y Zhamzham.



*Figura 1. Rio Zhamzham  
Fuente: Elaboración propia*



*Figura 2. Río Pucuhuayco.  
Fuente: Elaboración propia.*

Una de las afecciones encontradas en las aguas del río Pucuhuayco es la presencia de residuos de la industria maderera (aserrín) como se observa en la Figura 3. El aserrín puede obstruir las tomas de agua, causando problemas para la vida acuática y afectando el suministro de agua potable. También puede causar problemas de sedimentación al no ser biodegradable, aumentando el riesgo de erosión del suelo, lo que puede afectar a la calidad del agua y a la vida acuática.



*Figura 3. Residuos de la industria maderera (aserrín).  
Fuente: Elaboración propia.*

Estos ríos se ven contaminados por la presencia de basura cuya descomposición genera malos olores, daño al ecosistema, y vectores como presencia de moscas como se muestra en la Figura 4 y 5.



*Figura 4. Basura desechada en el rio Pucuhuayco.  
Fuente: Elaboración propia*



*Figura 5. Basura desechada en el rio Zhamzham.  
Fuente: Elaboración propia*

Otras causales por la que se ve afectado la calidad en los ríos de la ciudad, es debido a que existen directamente vertimientos no puntuales sin ningún tipo de tratamiento, estos pueden ser de origen doméstico como se observa en la Figura 6 y 7, o a su vez vertimientos puntuales como son las descargas directas de redes de alcantarillado como se observa en la Figura 8.



*Figura 6. Descargas no puntuales de efluentes domésticos Rio Zhamzham.  
Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 7. Descargas no puntuales de efluentes domésticos Rio Pucuhuayco.  
Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 8. Descarga directa del alcantarillado.  
Fuente: Elaboración propia.*

### **1.3. Antecedentes.**

La importancia de la calidad del agua ha sido un tema que ha sido abordado desde hace siglos. En la antigüedad, las civilizaciones antiguas ya tenían conocimiento de la importancia de la limpieza del agua para la salud humana. En la Edad Media, la falta de acceso a agua limpia fue una causa importante de enfermedades y epidemias. Durante el Renacimiento, se han implementado sistemas para mejorar la gestión de las aguas residuales, incluyendo el desarrollo de redes de alcantarillado y plantas de tratamiento. A finales del siglo XIX y principios del siglo XX, las ciudades industrializadas enfrentaron problemas de contaminación del agua debido al crecimiento de la industria y la falta de regulaciones. A partir de entonces, se han implementado leyes y regulaciones para mejorar la calidad del agua y protegerla para el uso humano y la vida silvestre.

Es por ello, la necesidad de evaluar el estado actual en el que se encuentran los ríos, mediante metodologías que nos permitan conocer su calidad, como es la metodología Delphi, que ha sido un recurso importante en la evaluación y definición de diversos campos y son varios los trabajos que se pueden citar. En Cuba, el uso de la evaluación de la tecnología se ha utilizado en el ámbito

de la salud para alcanzar un acuerdo sobre la evaluación de la tecnología, establecer criterios de diagnóstico y intervenciones médicas para enfermedades específicas, priorizar investigaciones en diversas disciplinas y desarrollar planes de estudio en la formación médica (García Valdés & Suárez Marín, 2013).

Por otra parte, en el sector del transporte se utilizó el método Delphi para diseñar un modelo de financiación para los transportes públicos en España. Este proceso permitió recopilar opiniones expertas concordantes en temas cruciales, como la creación de una legislación sólida para regular la financiación del transporte urbano, en la cual se obtuvo un consenso unánime (Flores Ureba et al., 2019).

Los autores Souza y Libânio en 2009 propusieron un Índice de Calidad del Agua para evaluar la calidad del agua en las fuentes superficiales en Brasil mediante el uso de la metodología Delphi. Por otro lado, Santiago y Dias (2012) también utilizaron el método Delphi para validar una matriz de indicadores de sostenibilidad en la gestión de residuos sólidos urbanos, como una herramienta efectiva en la evaluación y planificación de residuos sólidos en diferentes ubicaciones (Mancera Quevedo, 2017).

Con respecto a la metodología AHP, Yussac Tallar y Suen (2015) desarrollaron un índice de calidad del agua con el objetivo de brindar un enfoque simple y económico para evaluar la calidad del agua en relación con la acuicultura. Utilizaron la metodología de Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) para determinar los pesos de los parámetros seleccionados y analizaron los parámetros adecuados para diferentes especies de peces. Los resultados indicaron que las ponderaciones de los parámetros eran similares, lo que sugiere que los requisitos para la calidad del agua son similares para los parámetros y las especies de peces examinadas.

En un estudio conducido por Chakraborty y Kumar en el año 2016, se evaluó la calidad del agua subterránea afectada por los vertidos de residuos urbanos. Para hacerlo, se empleó un índice ponderado aritmético modificado mediante AHP para obtener información detallada. Los investigadores asignaron pesos a cada parámetro de calidad de agua basándose en las opiniones de expertos y utilizaron ecuaciones para determinar los pesos individuales. Después, se creó una matriz para comparar los parámetros y se aplicaron diversas ecuaciones para calcular los pesos finales. Los resultados demostraron que, en algunos casos, el índice modificado con AHP y el índice ponderado aritmético eran similares, lo que indicaba una mala calidad de agua debido a los vertidos de residuos sólidos urbanos. (Flores Rengifo, 2022).

## **1.4. Objetivos.**

### **1.4.1 Objetivo General.**

- Construir un Índice de Calidad de Agua (ICA), para los ríos Zhamzham y Pucuhuayco de la ciudad de Cañar, mediante los métodos “Delphi” y “AHP”.

### **1.4.2 Objetivos Específicos.**

- Analizar y determinar las variables físicas, químicas y microbiológicas de los 11 puntos de monitoreo para el diagnóstico de la calidad del agua asociados al río Zhamzham y Pucuhuayco en la ciudad de Cañar.
- Establecer un Índice de Calidad de Agua (ICA) a partir de la información obtenida por los expertos en el tema.
- Definir los usos que pueden asignarse al recurso en las diferentes estaciones.
- Comparar con la legislación vigente ecuatoriana ACUERDO MINISTERIAL A 97 de acuerdo a los “Criterios de Calidad Admisibles para la Preservación de Vida Acuática y Silvestre en Aguas Dulces”.

## **1.5. Metodología**

La metodología utilizada combina aspectos teóricos y experimentales para cumplir los objetivos planteados, como primer punto se estableció la zona de estudio y los puntos de monitoreo donde se recolectarán las muestras y se obtendrán los caudales; se plantea procedimientos de obtención de datos in situ. Por otro lado, se realizará los ensayos en laboratorio para interpretar los resultados y sistematizar la información. Para la construcción del ICA, se establecen dos metodologías, la Delphi que permitirá obtener un grupo seleccionado de expertos en el tema, mediante la evaluación de cuestionarios; recolección de información sobre su experiencia profesional, producción científica y compromiso laboral. Y la metodología AHP, donde se estructura una jerarquía de los parámetros a usar, permitiendo la construcción de una matriz de comparación por pares que permitirá obtener los pesos que asigna cada experto. Finalmente, se procederá a realizar la construcción del ICA y su respectiva evaluación con la normativa actual vigente.

- **Diagrama de flujo para el desarrollo del Índice de Calidad de Agua de los ríos y Pucuhuayco y Zhamzham.**

Para el desarrollo del Índice de Calidad del Agua como en cualquier proyecto se puede establecer etapas con tiempo de finalización y resultados esperados. Los procesos que se siguen para la obtención del ICA se exponen en el diagrama de flujo de la Figura 9.

Como primer paso se define el problema central por el cual se está construyendo un Índice de Calidad de Agua. Esto permite seleccionar un subsistema hídrico para analizar. Con la zona de estudio establecida, se definen los puntos de monitoreo a evaluar, se plantea procedimientos de obtención de datos in situ y acciones para la toma de muestras de agua en estaciones de monitoreo

seleccionadas, las cuales serán enviadas al laboratorio para su respectivo análisis. Posteriormente, se interpretan los resultados de laboratorio y se sistematiza la información obtenida.

Se plantea las metodologías para la construcción del ICA: Delphi, que implica la selección definitiva de expertos a evaluar para la toma de decisiones; y AHP, que permite la estructuración de una jerarquía para la construcción de una matriz de comparación por pares, obteniendo los pesos de cada variable y, por tanto, el ICA. Por último, se procede a realizar el análisis de calidad el agua en cada estación de monitoreo, llegando a tener conclusiones concretas y recomendaciones que deben ser consideradas para ayudar y proteger los cuerpos de agua afectados en la ciudad de Cañar.

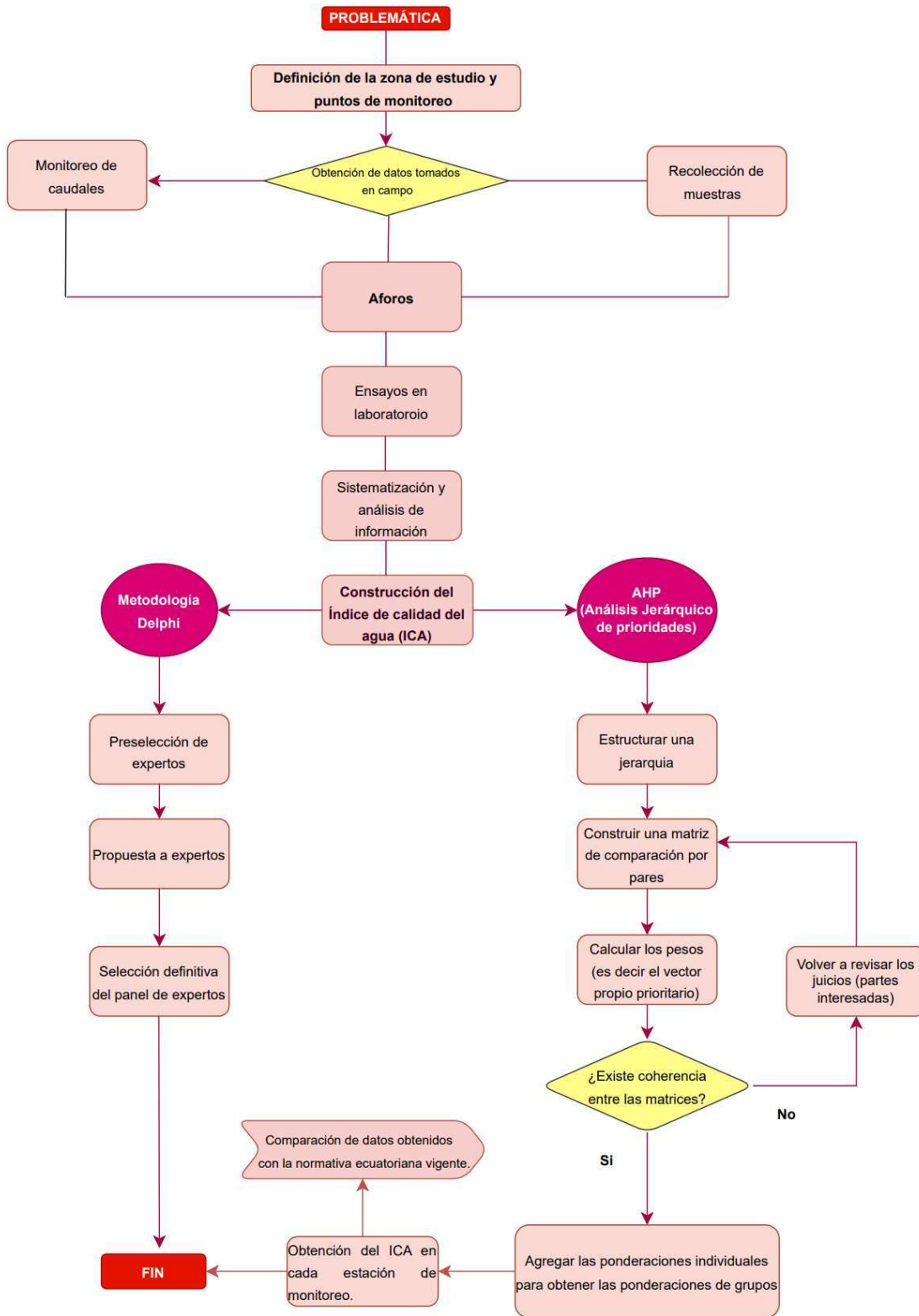


Figura 9. Diagrama de flujo - Desarrollo del ICA.  
Fuente: Elaboración propia.

### 1.5.1 Área y delimitación de la zona de estudio

La zona de estudio está situada en el cantón Cañar, ubicado en la región sur del Ecuador, en la provincia que lleva su nombre, con una superficie aproximada de 74.55 km<sup>2</sup>. (Figura 10). Su altimetría inicia en 100 a 4500 metros sobre el nivel del mar ubicándose en regiones naturales de costa y sierra (PDOT, 2021).

Sus límites son:

Norte: provincia de Chimborazo y cantón Suscal.

Sur: provincia del Azuay y los cantones Biblian y Azogues.

Este: cantón Azogues.

Oeste: cantón la Troncal y provincia del Azuay.

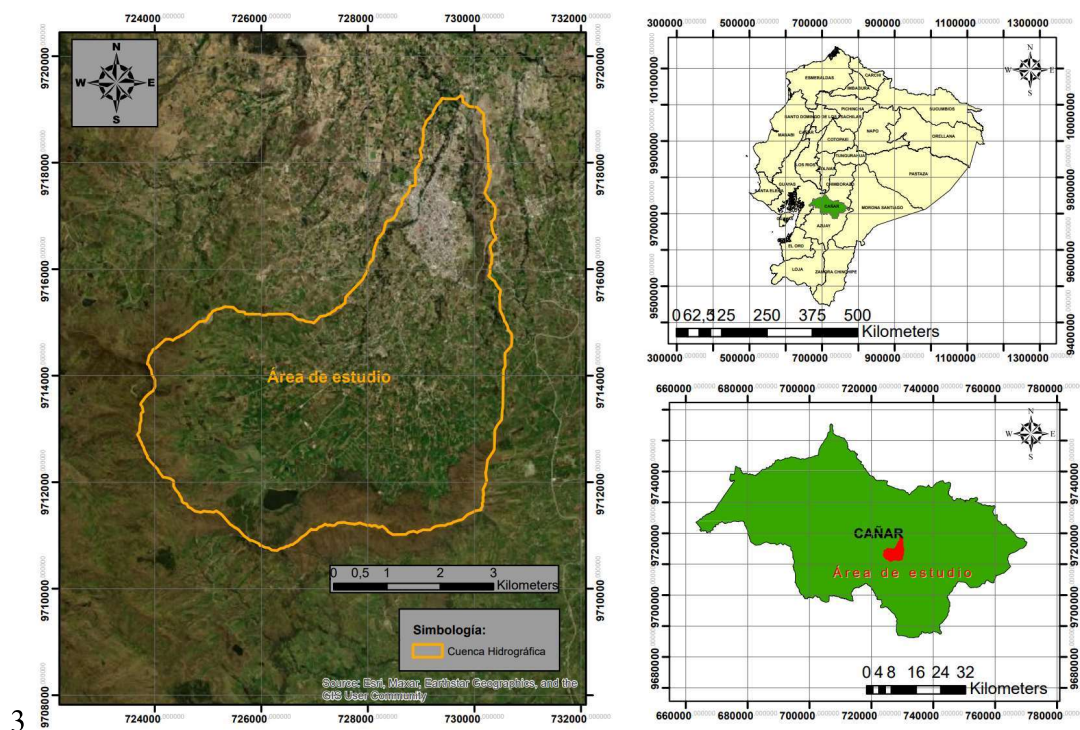


Figura 10. Mapa de ubicación y área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

### 1.5.2 Uso de suelo y cobertura vegetal

El estudio realizado por el PDOT de la ciudad de Cañar muestra que las coberturas más importantes se ocupan dentro de la zona noreste y sur del cantón, encontrándose paramos y distribuyéndose de forma dispersa. Existe cobertura de bosque natural con vegetación de tipo arbustiva, también existen tramos grandes de bosques intervenidos, arboricultura tropical, pastos cultivados, cultivos de ciclo corto, entre otros. Los páramos constituyen parte importante de estos recursos que son donde se originan los ríos de las cuencas hidrográficas a alturas superiores a los 3500 m.s.n.m.

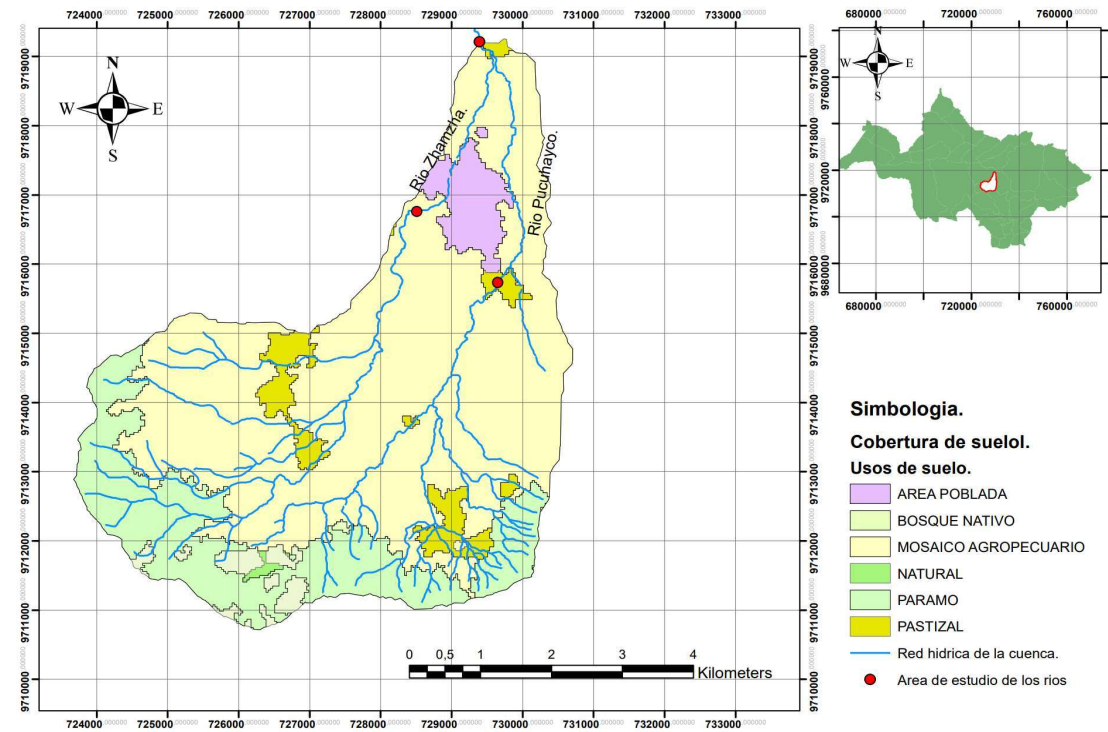


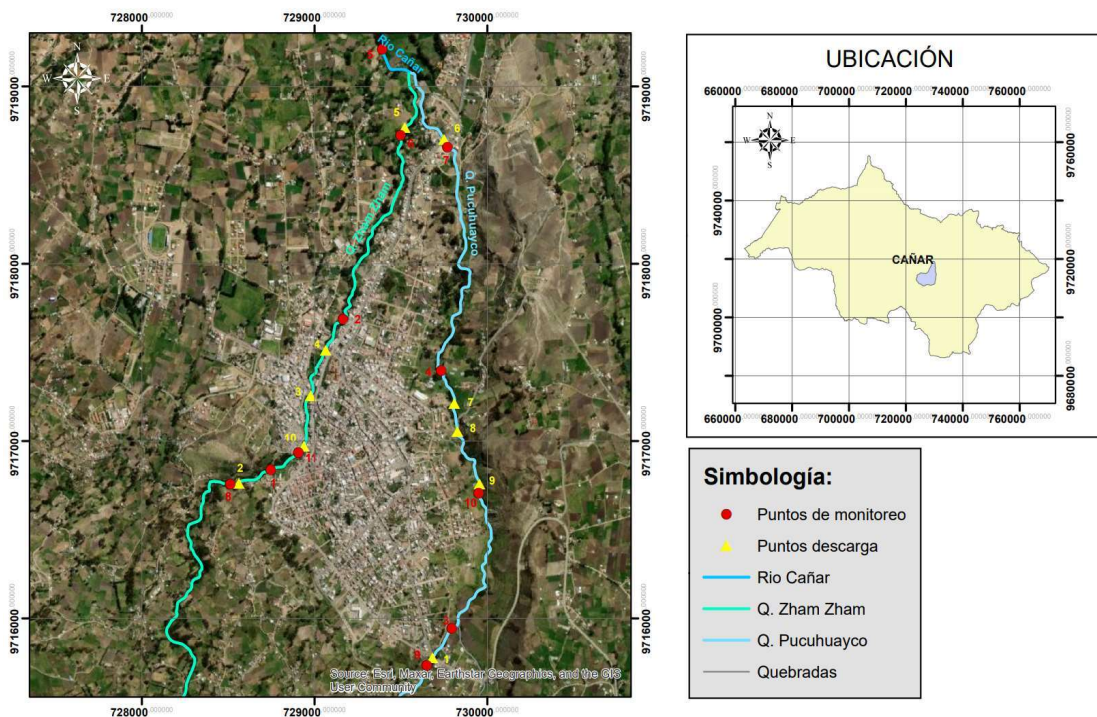
Figura 11. Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo.  
Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la Figura 11, la zona de estudio está representada en su mayoría por mosaico agropecuario que es una combinación de diferentes tipos de tierra utilizados para la agricultura y ganadería. Cada tipo de tierra se utiliza para cultivar diferentes cultivos y albergar diferentes animales, creando una combinación de producción agrícola y ganadera. A esto le sigue el área poblada, que en su curso el río Zhamzham baña gran parte de la ciudad. Y, por último, los

pastizales que un área menor, pero se debe tomar en cuenta ya que es importante para la red hídrica de la cuenca porque son áreas de aporte para los ríos.

### 1.5.3 Determinación de estaciones de monitoreo

Se ubicaron 11 puntos de monitoreo a lo largo de los dos ríos, 5 estaciones en el río Pucuhuayco, 5 en el río Zhamzham y 1 estación en la unión de los 2 ríos. Esto, con el fin de poder comprender como varia la calidad temporal - espacial del recurso, considerando las descargas de los efluentes líquidos; información que fue suministrada por el GAD del cantón Cañar y la accesibilidad a dichas estaciones. En la Figura 12, se pueden observar las estaciones de monitoreo establecidas.



*Figura 12. Mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo.  
Fuente: Elaboración propia.*

En la Tabla 1, se presenta las coordenadas de las estaciones de monitoreo en donde se realizó la toma de muestras para análisis en laboratorio y las campañas de aforo para medir los caudales.

*Tabla 1. Ubicación de estaciones de monitoreo de las aguas receptoras y la descarga directa.  
Fuente: Elaboración propia*

Estación	COORDENADAS	
	Este	Sur
1	-2.560178	-78.942717
2	-2.552497	-78.938977
3	-2.568254	-78.933276
4	-2.555104	-78.933854
5	-2.538723	-78.936951
6	-2.543104	-78.935997
7	-2.543709	-78.933548
8	-2.560906	-78.944828
9	-2.570136	-78.934579
10	-2.561347	-78.931891
11	-2.559307	-78.941278
12	-2.558611	-78.941111

#### **1.5.4 Determinación de caudales**

Dentro del campo de la hidrometría, el objetivo principal es medir, registrar, calcular y analizar la cantidad de agua que fluye a través de una sección transversal de un río, canal o tubería por unidad de tiempo. Existen varios métodos para medir corrientes naturales, y el método del flotador se utiliza en este estudio debido a que la zona cuenta con un bajo flujo de agua.

El método del flotador consiste en colocar un flotador, como por ejemplo una pelota o una boya, en la superficie del agua y medir el tiempo que tarda en recorrer una distancia conocida. La

velocidad de la corriente se calcula dividiendo la distancia recorrida por el tiempo que tardó el flotador en recorrerla. A partir de la velocidad obtenida y de la sección transversal del río o canal, se puede calcular el caudal del agua que está circulando en ese momento.

### **1.5.5 Determinación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos.**

Dado que no hay una serie de datos históricos que indiquen la pureza o contaminación del agua en esta zona de estudio, es esencial medir ciertos parámetros físicos, químicos y microbiológicos que se producen a lo largo de toda la longitud del río.

**Dentro de los parámetros físicos que tienen más incidencia directa en la perspectiva estética del agua son:**

- Temperatura del agua, sólidos totales y turbidez.

**Mientras que los parámetros químicos más comunes en el diagnóstico de calidad son:**

- DBO5, DQO, nitratos, pH y fosfatos.

**El parámetro físico – químico más utilizado es:**

- Oxígeno disuelto

**Por último, se tiene a los microbiológicos como:**

- Coliformes fecales.

De estos parámetros el pH, oxígeno disuelto y temperatura son levantados en campo mediante el uso del multiparamétrico y los nitratos, fosfatos, DBO5, DQO, coliformes fecales, sólidos totales y turbidez son analizados en el Laboratorio de Calidad del Agua de la Universidad Católica de Cuenca.

## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.**

En este capítulo se aprecian los fundamentos teóricos de los temas que permiten la solución a la problemática planteada para el desarrollo de la presente investigación, los subtemas que se abarcan en este capítulo están enfocados directamente al recurso agua, su importancia y contaminación.

### **2.1. Calidad del agua.**

La calidad del agua es un factor crítico para determinar su aceptabilidad para distintos usos, como el consumo humano, recreación y riego. Esta calidad puede verse influenciada tanto por factores naturales como antropogénicos y se evalúa a través de parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Si los valores de calidad del agua exceden los límites establecidos por las normativas nacionales e internacionales, se considera inaceptable para su uso (Espejo Ruiz & Tenelanda Patiño, 2018). El objetivo principal de los encargados de formular políticas y profesionales en el ámbito del agua, saneamiento y higiene es asegurar una gestión sostenible y disponibilidad de agua de calidad en concordancia con el Objetivo 6 de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ONU, 2016).

### **2.2. Contaminación del agua**

La contaminación del agua se refiere a la presencia de sustancias tóxicas o perjudiciales que alteran su calidad y hacen que sea menos apta para su uso, como consumo humano, agricultura, recreación, entre otros. Estas sustancias pueden provenir tanto de fuentes naturales como antropogénicas, incluyendo vertidos de aguas residuales, transporte de sustancias peligrosas, y actividades agrícolas y ganaderas. La contaminación del agua puede tener graves efectos en la salud humana y el medio ambiente (Calle & Gómez, 2014a).

### **2.2.1 Contaminación del agua por fuentes puntuales**

La contaminación del agua con fuentes claramente identificables se conoce como contaminación puntual y se conoce su origen y responsables. Esta sucede cuando contaminantes se descargan en un lugar específico a través de conductos o alcantarillas.

### **2.2.2 Contaminación del agua por fuentes no puntuales o difusas**

La contaminación por fuentes múltiples también es conocida como contaminación por fuentes no fijas y se produce debido a una gran cantidad de fuentes grandes y pequeñas de descargas que no han sido identificadas. La mayor parte de esta contaminación proviene de derrames y filtración a través de poros del suelo, y está estrechamente vinculada a las actividades agrícolas (Flores Rengifo, 2022).

## **2.3. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos para determinar la calidad del agua**

### **2.3.1 Parámetros físicos.**

- **Turbidez.**

La turbiedad se refiere a la dificultad que presenta la luz para pasar a través del agua debido a la cantidad de material en suspensión. Se mide en unidades de turbiedad nefelométricas (NTU) y está relacionada con el desgaste de la cuenca del río que lleva a la presencia de sedimentos en el agua; constituye un parámetro propiamente aplicado como un indicador de calidad de agua en fuentes de suministro desde el punto de vista estético (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

- **Temperatura.**

Es un parámetro físico importante debido a que el incremento o decremento del mismo llega a afectar la viscosidad y la velocidad de las reacciones químicas, este actúa como parámetro de diseño en la mayoría de los métodos de tratamiento del agua (coagulación, sedimentación, etc.).

- **Conductividad.**

La capacidad del agua para transmitir electricidad se llama conductividad. Esta depende de la temperatura y la cantidad de sustancias disueltas en el agua que están ionizadas. Cuanto más minerales hay en el agua, más alta será la conductividad, lo que significa que la electricidad fluye con más facilidad y la velocidad de corrosión es más rápida. Sin embargo, los minerales disueltos estarán menos ionizados y colisionarán con mayor frecuencia (Espejo Ruiz & Tenelanda Patiño, 2018). La medición de la conductividad se realiza utilizando dispositivos que permiten una lectura directa en unidades  $\mu\text{mho/}$  a  $25^{\circ}\text{C}$  con un margen de error inferior al 1% (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

- **Sólidos suspendidos.**

Los sólidos suspendidos son partículas sólidas que se encuentran en suspensión en un líquido o en el aire. Estas partículas pueden ser de naturaleza orgánica o inorgánica, y su tamaño puede variar desde partículas muy pequeñas hasta partículas visibles a simple vista. Los sólidos suspendidos pueden ser causados por la erosión del suelo, la actividad humana (como la agricultura o la industria) o eventos naturales (como tormentas) que pueden afectar negativamente la calidad del agua.

### **2.3.2 Parámetros químicos.**

- **pH.**

El pH es un indicador utilizado para medir el nivel de acidez o alcalinidad del agua. Afecta la vida acuática y tiene un impacto en la toxicidad de diversos compuestos presentes en el agua, como el amoníaco, los metales pesados y el dióxido de azufre (Rojas, 2009).



*Figura 13. Escala de pH.*  
Fuente: <https://concepto.de/ph/>

- **Nitratos (NO<sub>3</sub>).**

El nitrato es compuesto químico inorgánico que se deriva del nitrógeno, se encuentra en pequeñas concentraciones en aguas superficiales y subterráneas que puede estimular efectos nocivos si se consume en niveles elevados. El nitrato es inodoro e incoloro. Bajas concentraciones de nitrato son normales, pero altas cantidades pueden infectar nuestra fuente de agua potable (Rodríguez, 2013).

- **Fosfatos.**

Los fosfatos son compuestos que contienen fósforo y se encuentran en aguas superficiales tanto de forma natural como artificial, como en restos de animales, rocas, fertilizantes y detergentes, aguas residuales, y restos de mataderos.

- **Demanda Bioquímica de oxígeno en 5 días (DBO<sub>5</sub>).**

Este parámetro mide la cantidad de oxígeno necesario que necesitan los microorganismos bacteriológicos, hongos y protozoos, para poder degradar u oxidar la materia orgánica, el más conocido es la prueba de la DBO<sub>5</sub> el cual trata de incubar una muestra de agua en laboratorio durante 5 días, los resultados de estos se expresan en (mg/l) (Rojas, 2009).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO).**

Es un indicador de la cantidad de materia orgánica presente en una muestra líquida, que puede ser oxidada mediante procesos químicos.

### **2.3.3 Parámetro físico – químico**

- **Oxígeno Disuelto.**

El contenido de oxígeno disuelto en el agua puede ser medido tanto como su concentración presente en miligramos por litro (mg/L) o como la cantidad total de oxígeno que puede haber en el agua a una temperatura y presión explícita. Se conoce también como el porcentaje de saturación (waterboards, 2021).

### **2.3.4 Parámetros microbiológicos**

- **Coliformes fecales.**

Los coliformes fecales son utilizados como indicadores claves para determinar la calidad del agua potable e importantes para su valoración en términos sanitarios, dentro de este grupo se encuentran las enterobacterias, así mismo, están las bacterias aerobias y anaerobias siendo representativa la E. Coli, la cual se caracteriza por su rápido crecimiento en condiciones de temperatura elevadas (Fernández-Santisteban, 2017).

## **2.4. Índice de calidad del agua (ICA)**

El tema de la calidad del agua ha cobrado una gran importancia en todo el mundo en las últimas décadas debido a su relevancia como fuente de vida. Para determinar la calidad del agua, se ha utilizado la técnica de los índices de calidad del (Pesántez Quintuña & Roldán Arias, 2021). Desde 1960, se han desarrollado diferentes índices de calidad del agua (ICA) para evaluar el estado de

los ecosistemas acuáticos y reducir la larga lista de parámetros a unos pocos (Singh & Saxena, 2018). Estos índices permiten comunicar de manera sencilla y efectiva el estado de la calidad del agua (Sutadian et al., 2017).

Los índices de calidad del agua (ICA) han sido ampliamente utilizados para evaluar la calidad del agua tanto subterránea como superficial, desempeñando un papel importante en la gestión de recursos hídricos. Los métodos basados en ICA son una forma más eficiente de comunicación en comparación con los reportes de calidad del agua convencionales, ya que facilitan la comprensión del estado general de la masa de agua y el ecosistema a través de un valor único en lugar de una lista de parámetros individuales. (Solangi et al., 2018). Reflejan el nivel de contaminación del agua en el momento de la toma de muestra, y se expresan como un porcentaje de agua pura. Por lo tanto, el agua altamente contaminada tendrá un valor cercano o igual a 0%, mientras que el agua en excelentes condiciones tendrá un valor cercano al 100% (Mancera Quevedo, 2017). A continuación, se presenta las respectivas asignaciones que se le puede dar a la calidad del agua

- Agua clasificada como excelente o buena puede sostener una gran cantidad de vida acuática y es adecuada para actividades recreativas y para su uso como agua potable.
- Las aguas clasificadas como medianas o promedio tienden a tener una menor diversidad de vida acuática y a experimentar crecimiento anormal de algas.
- Las aguas clasificadas como regulares tienen una baja diversidad de vida acuática y probablemente están contaminadas.
- Por último, las aguas clasificadas como pobres solo pueden sostener una cantidad limitada de vida acuática y se consideran inapropiadas para actividades que involucren contacto directo con el agua.

### 2.4.1 Índice NSF

El NSF WQI fue desarrollado en 1965 por Brown como una versión mejorada del índice de Horton (Uddin et al., 2021). Esta herramienta fue respaldada por la Fundación Nacional de Saneamiento de Estados Unidos (NSF) y fue el primer índice numérico para evaluar patrones de contaminación en diferentes regiones. La construcción del índice se basó en la técnica de investigación Delphi, que se basa en la opinión de expertos y presenta una mayor fluidez en la selección de parámetros y la asignación de pesos (Torrez, 2018). El índice NSF WQI consta de tres componentes básicos, se describen de la siguiente manera:

**Selección de parámetros:** Los parámetros de calidad del agua pueden ser divididos en cinco grupos: físicos, químicos, microbiológicos, de nutrientes y tóxicos. Estos parámetros físicos incluyen temperatura, turbidez y sólidos totales, mientras que los químicos incluyen potencial de hidrógeno y oxígeno disuelto. Los parámetros microbiológicos están relacionados con los coliformes fecales y la demanda bioquímica de oxígeno. Los parámetros de nutrientes incluyen fosfatos y nitratos, mientras que los parámetros tóxicos abarcan pesticidas y otras sustancias tóxicas. A menudo, los parámetros tóxicos son excluidos del análisis debido a la falta de datos o a la falta de disponibilidad.

- **Ponderación de los pesos:** el modelo NSF utiliza 9 parámetros, para la determinación de la calidad y cada uno con su respectivo peso, como se observa en la Tabla 2.

*Tabla 2. Ponderación asignada a cada parámetro (NSF).  
Fuente: Elaboración propia*

<b>Parámetros</b>	<b>Ponderación</b>
Cambio de temperatura	0.1
Turbidez	0.08
Sólidos totales	0.07
pH	0.11
Oxígeno disuelto	0.17
Coliformes Fecales	0.16
DBO	0.11
Fosfatos	0.1
Nitratos	0.1

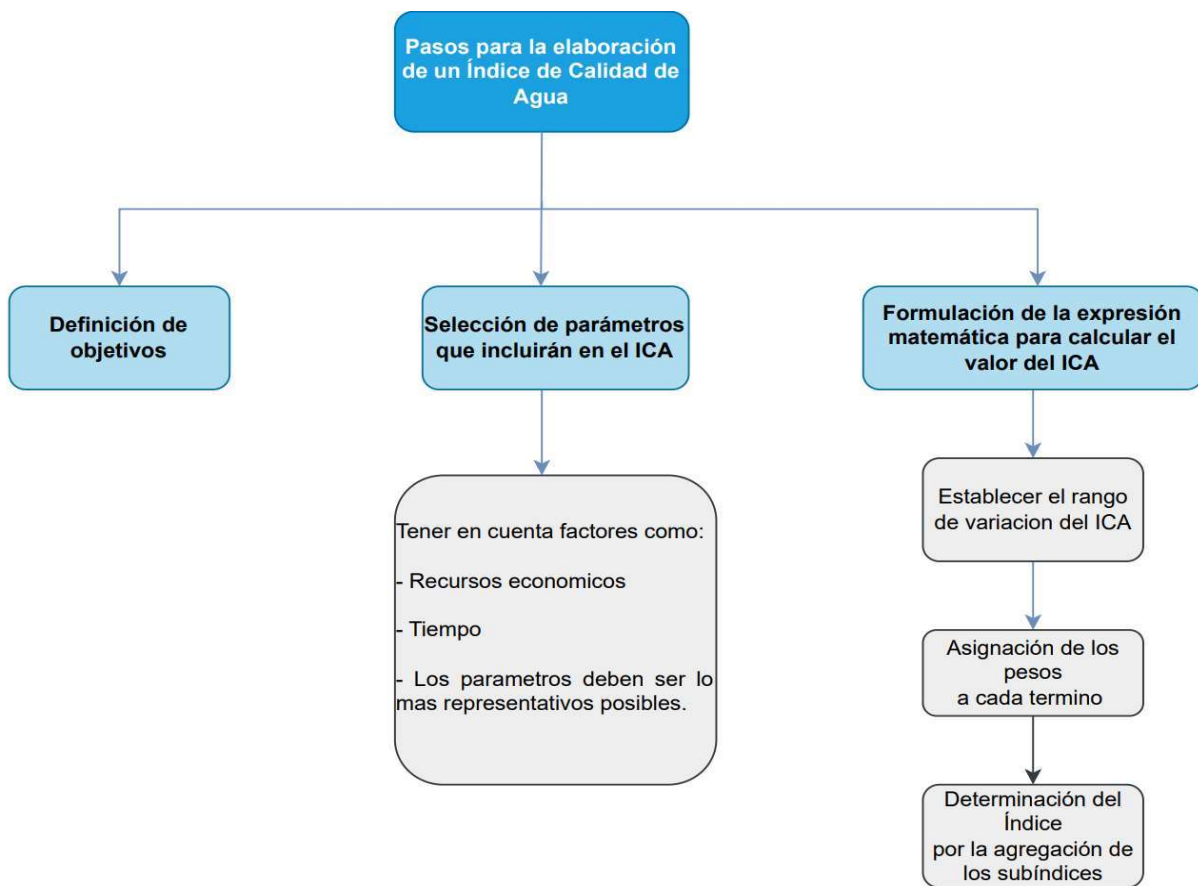
- **Valoración:** La evaluación o clasificación se realiza en una escala que va de 0 a 100, siendo una puntuación próxima a 100 un indicador de una buena calidad del agua, mientras que una puntuación cercana a 0 indica una mala calidad (Pesántez & Roldán, 2021; Torrez, 2018; Uddin et al., 2021).

Es importante recalcar que el índice NSF evalúa la calidad del agua de manera general y no tiene en cuenta usos específicos como el consumo humano, agricultura o recreación, según Abbasi y Abbasi (2012). Aunque fue desarrollado en base a las características de los ríos norteamericanos, se puede aplicar en todo el mundo y ha sido utilizado para evaluar la calidad de los ríos en Sudamérica para el consumo humano. Además, es altamente factible, ya que se puede adaptar y modificar para su uso en diferentes sistemas acuáticos (Torrez, 2018).

## **2.5. Elaboración de índices de calidad del agua**

Hay distintos enfoques para crear un índice de calidad de agua; de acuerdo a las características del cuerpo de agua (estáticas o dinámicas), la forma de calcular el valor de calidad y los parámetros que se tienen en cuenta en la formulación. Por lo tanto, elaborar un índice propio requiere un esfuerzo mucho mayor que simplemente aplicar un ICA ya establecido por otro autor (Sierra Ramirez, Carlos Alberto, 2011). En este caso, se utilizará la metodología DELPHI, que nos

permitirá elegir el panel de expertos adecuadamente, y luego la metodología AHP, en la que los expertos asignarán pesos diferentes a los parámetros seleccionados a través de una matriz de comparaciones por pares y los pasos a seguir se muestra en la Figura 14.



*Figura 14. Pasos utilizados para la elaboración del ICA.*

*Fuente: (Sierra Ramírez, Carlos Alberto, 2011)*

*Elaboración: Autoría propia a partir de (Sierra,2011).*

### 2.5.1 Metodología Delphi

La metodología Delphi es un enfoque que permite alcanzar un acuerdo sobre temas controversiales a través de la evaluación de un grupo de expertos. Es ampliamente utilizado en investigación científica para abordar diferentes problemáticas, desde la identificación de temas hasta la creación de herramientas para la recopilación de información y análisis (Almenara & Moro, 2014). Para lograrlo, los siguientes pasos deben ser seguidos:

- Asegurarse de mantener el anonimato para minimizar los factores psicológicos y evitar la influencia de la opinión de los expertos más especializados sobre los demás.
- Interacción a través de varias rondas de cuestionarios, permitiendo a los participantes revisar sus decisiones.

### **2.5.2 Fundamentos metodológicos del DELPHI**

- **Selección y conformación del panel de expertos**

Para los estudios Delphi, es vital elegir con cuidado a los expertos que forman parte del panel. Una selección aleatoria o sin fundamento es inaceptable. Por tanto, el investigador debe identificar a los posibles expertos de acuerdo con criterios previamente establecidos. De esta manera, se realiza un proceso nominativo que incluye una invitación formal a expertos reconocidos y relevantes para el tema de investigación, quienes, además, deben estar dispuestos a participar (Almenara & Moro, 2014).

- **Numero de expertos**

El tamaño del panel de expertos varía según el problema y los recursos a disposición de los investigadores. Los expertos de un panel homogéneo se suelen limitar a entre 10 y 15, mientras que los de un panel heterogéneo o con distintos perfiles de expertos se elevan hasta cientos (López-Gómez, 2018).

- **Calidad del panel**

La calidad de un panel de expertos se puede asegurar a través de los criterios de selección utilizados para conformarlo. La formación, la investigación y la experiencia profesional adquirida por los miembros del panel son una garantía de su calidad. Existen distintos parámetros para evaluar la

calidad del panel, uno de ellos es el Índice de Competencia Experta (K) propuesto por López-Gómez (2018). Esta evaluación consiste en un cuestionario que debe ser contestado por los expertos para determinar su nivel de conocimiento sobre el tema en cuestión. (López-Gómez, 2018).

$$k = \frac{1}{2}(Kc + Ka)$$

**Donde:**

**K** = Índice de Competencia Experta

**Kc** = Coeficiente de Conocimiento

**Ka** = Coeficiente de Argumentación

El Índice de Competencia Experta (Kc) se obtiene a través de la autoevaluación del experto en una escala de 0 - 10, multiplicado por 0,1. Por otro lado, el índice (Ka) se basa en la asignación de puntuaciones por el experto a diferentes fuentes de argumentación, como análisis teóricos, experiencia profesional, participación en proyectos de investigación, etc. El resultado final es una puntuación en una escala de 0 a 1, donde un valor de 0,8 o más se considera una alta competencia experta (García-Ruiz & Lena-Acebo, 2018).

- **Criterios a considerar para la finalización del proceso**

Para finalizar un estudio Delphi es importante evaluar el grado de acuerdo entre los participantes y la estabilidad de sus respuestas. El objetivo principal de la técnica es lograr una convergencia en las opiniones de los expertos, y se considera que existe consenso cuando al menos el 80% de las estimaciones individuales se encuentran en acuerdo (Mancera Quevedo, 2017).

### **2.5.3 Método AHP (Análisis Jerárquico de Prioridades)**

El método del AHP, desarrollado por Thomas Saaty en la década de 1970, es una herramienta para la toma de decisiones en entornos complejos. Esta técnica busca determinar las ponderaciones relativas de los parámetros disponibles para así elegir de forma eficaz entre los parámetros existentes. El AHP es un método teóricamente sólido, fácilmente comprensible y de aplicación sencilla. Está relacionado con la integración de los diversos juicios y preferencias para la toma de decisiones en equipo. (Sutadian et al., 2017). La metodología AHP propone tres etapas en su formulación

- **Modelización - Primera etapa**

Se busca realizar el esquema tomando en cuenta los parámetros más relevantes dentro del análisis.

- **Valoración - Segunda etapa**

En esta etapa se toman en cuenta las inclinaciones, gustos y objetivos de los individuos involucrados al evaluar sus opiniones mediante la aplicación de matrices de comparación, las cuales muestran una comparación entre un elemento y otro en relación a una característica o atributo en común.

- **Síntesis - Tercera etapa**

Se toma en cuenta las diferentes prioridades que considerarán para la resolución del problema, estas pueden ser prioridades locales, globales o totales.

### **2.5.4 Proceso de jerarquía analítica en índices de calidad del agua**

El proceso de evaluación de la calidad del agua es uno de los temas de mayor interés en el ámbito de la ciencia ambiental. Para ello, se recurre a herramientas como los índices de calidad del agua

(ICA). El uso de estos índices permite determinar la influencia de los distintos parámetros en la calidad general del agua. Una forma de generar un índice propio es mediante el proceso de jerarquía analítica (AHP). Este proceso utiliza una metodología de comparación por pares de parámetros para estimar los valores de ponderación. Dicha ponderación reduce las ideas preconcebidas presentes en el proceso de toma de decisiones, permitiendo acceder a evaluaciones confiables (Flores Rengifo, 2022).

El tema de la evaluación de la calidad del agua es muy importante y ha sido objeto de mucha investigación, por lo que existen diversas herramientas para medir dicha calidad, incluyendo los índices de calidad del agua (ICA). Sin embargo, muchos de estos índices han sido creados en otros países. Una forma de crear un índice propio es a través del uso del proceso de jerarquía analítica (AHP), que permite determinar los pesos adecuados para los parámetros seleccionados.

### **2.5.5 Metodología utilizada en el AHP para asignar las ponderaciones de los parámetros en el ICA**

El AHP establece las ponderaciones (pesos) de cada parámetro seleccionado en la elaboración de un índice de calidad de agua, por lo que, el procedimiento incluye varias fases (Flores Rengifo, 2022).

- **Fase 1**

Organizar una jerarquía es clasificar una lista de criterios y subcriterios para garantizar su efectividad en la aplicación. Se establece una meta principal en la cima de la jerarquía y objetivos secundarios en los niveles inferiores que ayudan a alcanzar la meta principal. En el caso de los Índices de Calidad del Agua (ICA), la meta principal es evaluar la importancia de los parámetros

que miden la calidad del agua y los niveles inferiores son los parámetros individuales o grupales que son medidos.

- **Fase 2**

La creación de una matriz de comparación por pares implica elaborar un cuestionario que será distribuido entre los encuestados. La escala utilizada para calificar los juicios de los participantes es una de las partes importantes de esta fase, y de acuerdo con Saaty (1987), se recomienda el uso de la escala de 1 a 9, ya que ofrece más opciones para evaluar la prioridad relativa entre los parámetros, al contrario de escalas más pequeñas. La interpretación de los puntos (1-9) está detallada en la Figura 15.

<b>Puntuaciones de preferencia</b>	<b>Definición</b>	<b>Explicación</b>
<b>1</b>	Igualmente, importante	Ambos elementos tienen la misma prioridad.
<b>3</b>	Moderadamente importante	Un elemento está moderadamente favorecido sobre el otro.
<b>5</b>	Fuertemente importante	La experiencia y el juicio recomiendan encarecidamente preferir un elemento sobre el otro.
<b>7</b>	Importancia muy fuerte	Se da una preferencia muy fuerte a un elemento sobre otro y se demuestra su dominio en la práctica.
<b>9</b>	Importancia extremadamente fuerte	Las pruebas que favorecen una actividad sobre otra son del mayor grado posible de afirmación
<b>2, 4, 6, 8</b>		Se utiliza para representar el compromiso entre las preferencias enumeradas anteriormente
<b>Recíprocos</b>		Los recíprocos se utilizan para la comparación inversa

*Figura 15. Escala fundamental de puntuación.  
Fuente: (Saaty, 1987).*

- **Fase 3**

Determinación de los pesos, se logran al utilizar la algebra matricial para identificar el vector propio principal y luego normalizarlo para convertirlo en el peso del parámetro específico.

- **Calculo de los pesos mediante al algebra matricial**

Para calcular la matriz de preferencias en el proceso AHP se necesita comparar cada par de criterios o alternativas y asignarles un peso que refleje su importancia relativa. Esto se hace utilizando una escala de comparación, que puede ser una escala numérica o una tabla de comparación y el vector propio se calcula multiplicando la matriz de comparación pareada de criterios por la matriz de comparación pareada de alternativas en función de cada criterio.

- **Formas de calcular el vector propio de una matriz**

Para encontrar el vector propio de una matriz, se puede utilizar el método de las potencias. Este consiste en aplicar sucesivamente la matriz ( $A$ ) a un vector  $x$  inicial hasta que se converja a un vector propio. Es decir, se repite la operación  $Ax$  hasta que  $x$  no cambie significativamente. El vector propio se encuentra a partir de la última iteración y el valor propio se encuentra a partir del cociente entre el vector propio y el vector inicial.

Otra forma de encontrar el vector propio de una matriz es utilizando el método de los auto vectores y auto valores. Este consiste en resolver la ecuación  $Ax = \lambda x$  para encontrar tanto el vector propio  $x$  como el valor propio  $\lambda$ . Una vez que se ha encontrado el vector propio de la matriz de preferencias, se pueden calcular los vectores de prioridades de cada criterio y de cada alternativa utilizando técnicas matemáticas específicas. Estos vectores nos permiten comparar las diferentes opciones o alternativas y seleccionar aquella que tenga el mayor valor.

- **Fase 4**

Evaluación de consistencia, en esta fase se verifica si los juicios emitidos por el encuestado son coherentes con los establecidos. Se considera que hay coherencia cuando se cumple la propiedad de la lógica de preferencia transitiva. Esto implica que las ponderaciones individuales deben ser agregadas para obtener las ponderaciones de grupo, y en el caso del ICA, se hace una agregación para cada nivel jerárquico. Se recomienda utilizar el método de agregación de prioridades individuales (AIP) para asegurar la consistencia en la evaluación.

### **2.6. Sub-índices para la calidad del agua**

Los sub-índices son medidas específicas dentro de un índice de calidad del agua que se utilizan para evaluar aspectos específicos de la calidad del agua. Estos sub-índices se combinan con el índice principal para proporcionar una visión más detallada de la calidad del agua. Algunos ejemplos de sub-índices incluyen la concentración de oxígeno disuelto, nitratos, coliformes, turbidez y pH. Cada sub-índice tiene una escala de valores y una clasificación que va desde excelente hasta pésima, lo que permite determinar la calidad de cada parámetro individual del agua (Fernández-Santisteban, 2017).

Los sub-índices nos ayudan a determinar la calidad de un parámetro en específico, al igual que en el índice estos se evalúan de 0% a 100%, y el puntaje que se obtenga de cada uno va a recaer en la evaluación de la calidad, En resumen, establecer los pesos para los sub-índices es un proceso crítico, ya que es importante que los pesos sumaran uno, teniendo en cuenta las valoraciones de los expertos (Fernández Parada & Solano Ortega, 2007).

La calificación de un sub-índice se basa en los valores medidos de los parámetros y en la escala de valores establecida para ese sub-índice en particular. Cada sub-índice cuenta con su propia escala

de valores y clasificación que varía desde excelente hasta mala, la cual se determina por el rango de valores y las regulaciones aplicables (Fernández Parada & Solano Ortega, 2007).

Por ejemplo, si un subíndice de oxígeno disuelto tiene un rango de valores entre 5 y 10 mg/L y se mide un valor de 8 mg/L, se consideraría que el subíndice tiene una calificación excelente. Sin embargo, si el valor medido fuera de 2 mg/L, se consideraría que el subíndice tiene una calificación pésima. Es importante mencionar que la calificación de los subíndices se realiza en conjunto con otros subíndices y el índice principal, ya que todos ellos son necesarios para determinar la calidad del agua en general.

### **2.7. Métodos para validación de correlación de datos**

Los métodos de correlación de datos son técnicas estadísticas que se utilizan para evaluar la relación entre dos o más variables y determinar si existe una correlación entre ellas. Aquí se presentan algunos de los métodos más comunes:

- **Correlación de Pearson:** Este método se utiliza para medir la relación lineal entre dos variables continuas. El resultado es un coeficiente de correlación que varía entre -1 y 1, donde -1 indica una correlación negativa perfecta, 0 indica que no hay correlación y 1 indica una correlación positiva perfecta.
- **Correlación de Spearman:** Este método se utiliza para medir la relación entre dos variables ordinalmente escaladas. El resultado es un coeficiente de correlación que varía entre -1 y 1, donde -1 indica una correlación negativa perfecta, 0 indica que no hay correlación y 1 indica una correlación positiva perfecta.
- **Coefficiente de determinación ( $R^2$ ):** Este método se utiliza para evaluar la relación entre dos variables y la capacidad de una variable para predecir el valor de la otra variable. El

resultado varía entre 0 y 1, donde 0 indica que no hay relación entre las variables y 1 indica que la variable independiente explica toda la variabilidad de la variable dependiente.

- **Correlación canónica:** Este método se utiliza para evaluar la relación entre dos conjuntos de variables. El resultado es un coeficiente de correlación canónica que indica la relación más fuerte entre las variables de ambos conjuntos.

### **2.7.1 Coeficiente de correlación ( $R^2$ ).**

El coeficiente de determinación,  $R^2$ , es una medida estadística que indica la proporción de la varianza total de una variable dependiente que es explicada por una variable independiente o por un conjunto de variables independientes en un modelo de regresión.

El  $R^2$  varía de 0 a 1, y cuanto mayor sea el valor, mayor es la proporción de la variabilidad en la variable dependiente que se explica por las variables independientes en el modelo de regresión.

El  $R^2$  también puede interpretarse como una medida de la bondad de ajuste del modelo de regresión. Un  $R^2$  alto indica que el modelo se ajusta bien a los datos y que la mayoría de la variabilidad en la variable dependiente se puede explicar por las variables independientes. Por otro lado, un  $R^2$  bajo indica que el modelo no se ajusta bien a los datos y que hay una gran cantidad de variabilidad en la variable dependiente que no se puede explicar por las variables independientes en el modelo.

## **2.8. Legislación aplicable vigente**

El Acuerdo Ministerial 097-A es la norma técnica ambiental actualizada y dictada bajo la protección de la Ley de Gestión Ambiental, su reglamento es aplicable en todo el país y rige para todas las partes interesadas. Esta norma establece los requisitos y regulaciones necesarias para prevenir y controlar la contaminación ambiental, estableciendo en ella:

- Compendios básicos y enfoque general para el control de la contaminación del agua.
- Definiciones de términos importantes y competencias.
- Criterios de calidad de las aguas para diferentes usos.
- Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de agua o sistema de alcantarillado.

También se mencionan las "Normas Generales de Criterios de Calidad para los Usos de las Aguas Superficiales, Subterráneas, Marítimas y Estuarios", teniendo en cuenta los siguientes usos del agua:

- Consumo humano y uso doméstico.
- Preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces y marinas.
- Uso agrícola o de riego.
- Uso pecuario
- Con fines recreativos

Para mantener una calidad aceptable del agua usada para la agricultura y la ganadería, la normativa citada establece los límites de descarga a los cuerpos de agua dulce y los criterios de calidad para preservar la vida acuática y silvestre de estos cuerpos de agua, los cuales serán utilizados en la presente investigación (Acuerdo Ministerial No. 097-A, 2015).

## CAPITULO 3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

En este capítulo se explica el proceso metodológico experimental que se desarrolló en el transcurso del trabajo autónomo para la toma de muestras, determinación de caudales y los parámetros de calidad de agua. Para la construcción del ICA, se establecen dos metodologías, la Delphi que permitirá obtener un grupo seleccionado de expertos en el tema, mediante la evaluación de cuestionarios; recolección de información sobre su experiencia profesional, producción científica y compromiso laboral. Y la metodología AHP, donde se estructura una jerarquía de los parámetros a usar, permitiendo la construcción de una matriz de comparación por pares que permitirá obtener los pesos que asigna cada experto. Finalmente, se procede a realizar la construcción del ICA y su respectiva evaluación con la normativa actual vigente.

### 3.1. Campañas de monitoreo

Debido a que la zona de estudio no cuenta con registros históricos de datos, se estableció realizar campañas de monitoreo donde se realizó el levantamiento de información hidráulica de caudales, velocidades, y secciones. A su vez también se procedió a tomar la recolección de muestras de agua para determinar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

Durante los meses de octubre a diciembre del 2022, se realizaron 3 campañas de monitoreo en las 11 secciones a lo largo de los ríos Zhamzham y Pucuchuyco. Las fechas de recolección y análisis para cada estación de muestreo se presentan en la Tabla 3.

*Tabla 3. Campañas de monitoreo y fecha de análisis.  
Fuente: Elaboración propia.*

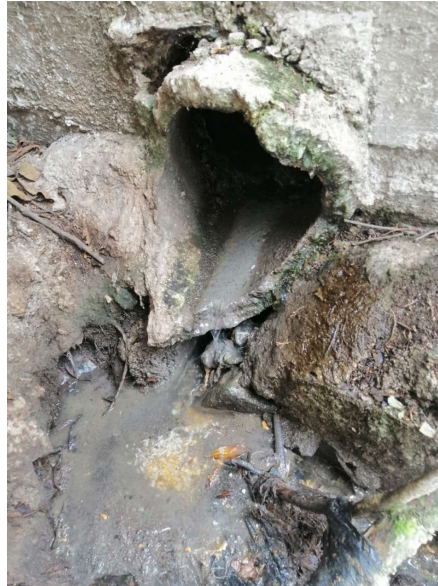
<b>Campañas de monitoreo</b>	<b>Fecha de monitoreo</b>	<b>Fecha de análisis</b>
C1	10/3/2022	10/4/2022
C2	11/15/2022	11/16/2022
C3	7/Dic/2022	8/Dic/2022

### 3.2. Ubicación y puntos de muestreo

Las publicaciones que han servido de referencia para la ubicación de los puntos de muestreo son la Guía para la Calidad del Agua Potable (OMS) y los Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

- **Puntos de muestreo para descargas**

Se procedió a recolectar una muestra en el punto exacto antes de que la descarga ingrese al curso de agua receptor.



*Figura 16. Punto de muestreo de la descarga  
Fuente: Elaboración propia.*

- **Puntos de muestreo para aguas receptoras**

Para el monitoreo de las aguas receptoras se procedió a ubicar como mínimo dos puntos de muestreo: aguas arriba de una descarga directa de sistema de alcantarillado y aguas abajo del mismo, en el cuerpo de agua receptor (tomando como referencia la descarga de un efluente líquido). Estos puntos permitirán determinar:

- El estado o calidad del cuerpo hídrico aguas arriba.
- Si las descargas de efluentes líquidos de las actividades productivas contribuyen a la contaminación de los cuerpos de agua.

El punto de muestreo aguas arriba estará ubicado lejos de ella para garantizar la integridad de la muestra, mientras que el punto después de la descarga estará ubicado en el lugar en que se haya mezclado completamente con el agua receptor, a una distancia aproximada de 100 metros después de la descarga. En este caso fueron seleccionaron once estaciones de muestreo, ubicadas dentro del área de influencia del proyecto a partir de las cuales se tomaron muestras simples.

### **3.3. Justificación para la selección de parámetros para estimar la calidad del agua**

Los diferentes índices de calidad del agua utilizan un número variable de parámetros para medir su calidad. Para el cálculo, el índice de Dinus utiliza 12 parámetros, el de Oregón utiliza 8, el NSF utiliza 9 y el índice CCME (Canadian Council of Ministers of Environment) no tiene restricción en el número de parámetros, pero al menos de ser cuatro.

Para la elaboración del índice propio, se seleccionaron 10 parámetros que son comúnmente más utilizados para evaluar la calidad del agua, considerando que estos se encuentren regulados dentro de la normativa actual vigente ecuatoriana y que la información y recursos necesarios estén disponibles.

**Parámetros físicos:** Temperatura del agua, sólidos totales, y turbidez.

**Parámetros químicos:** DBO5, DQO, pH, nitratos, fosfatos.

**Parámetro físico-químico:** Oxígeno disuelto

**Parámetros microbiológicos:** Coliformes fecales.

### **3.4. Consideraciones para la toma de muestra**

Para la recolección de muestras se siguió el protocolo descrito en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 169:98. Algunos puntos claves incluyen:

- El muestreo se realizó en el medio del río donde se encuentra una mayor homogeneización del agua.
- Los recipientes se lavaron y enjuagaron con agua destilada.
- Las muestras se tomaron a una profundidad media y en contra de la corriente.
- Se usó ropa adecuada, como botas de caucho, para prevenir accidentes.
- Se sellaron los envases debajo del agua para evitar la presencia de oxígeno y posibles alteraciones en las muestras.

#### **3.4.1 Conservación y etiquetado de la muestra**

Para la jornada de toma de muestras se usaron botellas de vidrio ámbar con boca angosta para evitar la entrada de aire y formación de burbujas. Cumpliendo con los requisitos establecidos por la norma INEN 2169: 2013. También se identificaron las botellas entre los distintos puntos para evitar errores o confusión.

### **3.5 Determinación de parámetros químicos y físicos mediante el uso del equipo multiparamétrico.**

Se efectuaron mediciones de parámetros en campo como son el pH, oxígeno disuelto, y temperatura. Este proceso se lo realizó con la ayuda del multiparamétrico como se muestra en la Figura 17, equipo el cual funciona por medio de sondas que al ser introducidas al agua actúan por

medio de sensores digitales resistentes al agua, todo este proceso se fue ejecutando en cada campaña de monitoreo.



*Figura 17. Multiparamétrico para obtención de datos en campo.  
Fuente: Elaboración propia.*

En la Tabla 4, se observa el formato utilizado para la toma de los parámetros medidos con el multiparamétrico in situ.

*Tabla 4. Formato de registro tomado en campo - multiparamétrico.  
Fuente: Elaboración propia*

PARÁMETROS OBTENIDOS EN CAMPO								
INSTRUMENTO:				FECHA:				
RIO:				NOMBRE DEL AFORADOR:				
CUENCA:								
				Parámetros				
Punto	Latitud	Longitud	Elevación	PH	Oxígeno disuelto (mg/LDO)	Conductividad (uS/cm)	Temperatura del agua (°C)	Psi (atm)

De acuerdo con APHA (APHA-AWWA-WPCF, 1992) para la mayoría de los análisis físicos y químicos se necesitan 2 muestras por estación. Por lo que, se tomaron 2 muestras por cada estación en botellas color ámbar las cuales tienen un volumen de 500 ml cada una y para el parámetro de coliformes fecales en frascos estériles con un volumen de 50 ml; éstos envases se colocaron en un cooler con hielo, para mantenerlas a bajas temperaturas (aproximadamente 4°C) y fueron enviadas al Laboratorio Calidad del Agua de la Universidad Católica de Cuenca, por medio de transporte terrestre para realizar los respectivos ensayos, cumpliendo con las medidas de protección necesarias.



*Figura 18. Toma de muestras analizadas en laboratorio.  
Fuente: Elaboración propia.*

### **3.6. Determinación de parámetros químicos y físicos en laboratorio.**

Una vez recolectadas las muestras en campo se procedió a realizar los diferentes ensayos mediante análisis estandarizados (APHA-AWWA-WPCF, 1992). Se determinaron parámetros químicos como la turbidez, nitratos, fosfatos, sólidos suspendidos, DBO5, DQO y microbiológicos como los coliformes fecales.

Tabla 5. Métodos de referencia para realizar ensayos en laboratorio.  
Fuente: Elaboración propia.

Análisis	Método de referencia	Técnica
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Método 5210 - Literal D.	Respirométrica
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Método 5220 - Literal D.	Espectrofotometría
Nitratos	Método 4500 - NO3 Literal: E.	Espectrofotometría
Fosfatos	Método 4500 - P Literal: E	Espectrofotometría
Sólidos Suspendidos	Método 2540 - Litera D.	Gravimetría

### 3.7. Metodología para la medición de caudal

#### Materiales utilizados

- Calculadora, formato de control de descarga-método de flotadores
- Cronómetro, cinta métrica y flotadores siendo como mínimo 6.
- Regleta para medir las profundidades

#### Selección del tramo recto “A” y “B”



Figura 19. Flotadores en distancia recorrida.  
Fuente: <https://www.cuevadelcivil.com/2011/02/metodo-del-flotador.html>

Se escoge un tramo recto “A” y “B”, que sea adecuado para las mediciones, donde el flujo de agua sea natural y sin obstáculos como piedras grandes o troncos. Luego se miden dos características claves: el ancho del río en metros y la distancia que el flotador recorrerá desde el punto de inicio "A" hasta el punto final "B".

### **Obtención del caudal en metros cúbicos por segundo: Q (m<sup>3</sup>/s)**

- **Calculo del tiempo promedio en segundos (tp)**

Para calcular el tiempo que tardan los flotadores en viajar de A a B, se requiere un cronómetro, una calculadora y un formato. Se deben lanzar al menos 2 flotadores en la margen derecha, 2 en el centro y 2 en la margen izquierda de la sección del río. Antes de pasar por el punto A, cada flotador se lanzará para que alcance una velocidad constante y su trayectoria se estabilice. El tiempo promedio se obtiene sumando el tiempo que tarda cada flotador y dividiendo por el número de flotadores, que en este caso es 6.

- **Tiempo promedio.**

$$\text{Tiempo promedio (tp)} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6}{6}$$

- **Calculo de la velocidad: V (m/s)**

$$V = \frac{d}{t}$$

**Donde:**

**V:** velocidad expresada en (m/s)

**d:** distancia que recorre el flotador desde A hasta B, expresada en metros (m).

**tp:** tiempo promedio que recorre los flotadores, esta expresado en segundos (s).

- **Calculo de la velocidad media en la vertical: (Vm)**

La velocidad corregida del flujo de agua en cada sección se obtiene multiplicando la velocidad superficial (Vs) por un coeficiente que se basa en la comparación entre la velocidad media de la

sección y la velocidad superficial. Los hidrólogos estiman que la velocidad media varía entre 0.75 y 0.90 veces la velocidad en la superficie, dependiendo del tamaño del cauce. Para este estudio, se multiplicará la velocidad superficial por 0.85.

- **Calculo del área de la sección, expresada en metros cuadrados: A (m<sup>2</sup>)**

$$A = hp * a$$

**Donde:**

**A:** área de la sección, expresada en metros cuadrados (m<sup>2</sup>)

**hp:** profundidad promedio (m).

**a:** ancho del rio, expresado en metros (m).

Para calcular la profundidad se midió cada 0.50 m la sección transversal del rio para así medir las diferentes profundidades y obtener el promedio.

- **Calculo del caudal: Q (m<sup>3</sup> /s)**

$$Q = A * Vm$$

**Donde:**

**Q:** caudal de agua, expresada en metros cúbicos sobre segundos (m<sup>3</sup>/s)

**A:** área de la sección, expresada en metros cuadrados (m<sup>2</sup>).

**Vm:** velocidad media, expresado en metros sobre segundos (m/s).

**Se presenta el formato de los aforos realizados en cada estación, siguiendo las siguientes etapas:**

*Tabla 6. Formato para la estimación del área.  
Fuente: Elaboración propia.*

CONTROL DE DESCARGAS O CAUDALES - METODO POR FLOTADORES																
RIO:			FECHA:													
CUENCA:			NOMBRE DEL AFORADOR:													
ESTIMACIÓN DEL ÁREA																
Punto	Hora		Ancho	Profundidad (de orilla a orilla cada metro)									Sección aforada	Profundidad promedio	Area de sección aforada (m <sup>2</sup> )	
	Inicio	Fin		An(m)	Orilla	1	2	3	4	5	6	7				8
				Dist Oril												
				Dist Oril												
				Dist Oril												

*Tabla 7. Formato para la estimación de la velocidad mediante los flotadores.  
Fuente: Elaboración propia*

CONTROL DE DESCARGAS O CAUDALES - METODO POR FLOTADORES														
RIO:			FECHA:											
CUENCA:			NOMBRE DEL AFORADOR:											
ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD														
Punto	Hora		Tiempos (seg)						Tiempo promedio	Velocidad			Area	Caudal
	Inicio	Fin	Margen derecho		Centro		Margen izquierdo			Distancia recorrida por el flotador	Velocidad superficial	Velocidad media		
			f1	f2	f3	f4	f5	f6	tp	d (m)	V= d/tp	Vs= V x 0.85	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s

Finalmente se realizan los respectivos cálculos con las fórmulas anteriores, con la finalidad de calcular la velocidad, el área y el caudal.

### 3.8. Metodología Delphi

- **Selección y conformación del panel de expertos**

Se utilizó un cuestionario para recopilar información sobre la experiencia profesional, publicaciones científicas, áreas de investigación y participación en proyectos de los expertos elegidos.

- **Tamaño de la muestra**

A pesar de que hay algunos estudios que emplean una gran cantidad de expertos, no existe una literatura que establezca con precisión el número exacto de expertos que se requieren para aplicar la metodología Delphi. Según Ludwig (1994), el número de expertos que se utiliza en un estudio Delphi generalmente se determina teniendo en cuenta la cantidad necesaria para formar un grupo representativo de juicios y la capacidad del equipo de investigación para procesar la información. Según Delbecq et al. (1975), entre diez y quince expertos podrían ser suficientes para lograr una homogeneidad en el Delphi. Por otro lado, Arrastiarraga (2005) sostiene que no es posible determinar el número óptimo de expertos para participar en una encuesta Delphi. No obstante, se cree que es necesario un mínimo de 7 expertos, pero no se recomienda superar los 30. En otras palabras, lo importante no es la cantidad de expertos sino su calidad.

- **Preselección de expertos**

En el presente estudio se planteó una preselección de 13 expertos, se contactó con estos para evaluar su tiempo a participar en la presente investigación, también se ofreció la oportunidad de proponer nuevos expertos de su consideración para formar el panel, y que en 2 casos pasaron a formar el grupo de expertos considerados. Tras esto, se contaba con un total de 15 expertos; 10 académicos de diferentes universidades de la ciudad de Cuenca, Loja y Azogues, 3 técnicos ambientales de la EMAPAD, 1 Administrador de Control de Operaciones de ETAPA y 1 profesional del área de Gestión Ambiental de Perú.

- **Selección definitiva de expertos**

Para la selección definitiva de los expertos a partir de los obtenidos, se empleó el Coeficiente de Competencia Experta, donde se podrá evaluar a los seleccionados para la siguiente ronda.

$$K = \frac{1}{2}(Kc + Ka)$$

**Donde:**

**K** = Índice de Competencia Experta

**Kc** = Coeficiente de Conocimiento

**Ka** = Coeficiente de Argumentación

No hay un criterio claro y obligatorio para evaluar los rangos, pero en el presente estudio se tomará en cuenta a los expertos que obtuvieron un valor de 0.8 en el Coeficiente de Competencia Experta (K).

Se propone en la Tabla 8, los valores de ponderación de factores en función del grado de influencia de los expertos, donde se permitirá evaluar su autovaloración para la selección del grupo definitivo de expertos.

*Tabla 8. Criterio de valoración para selección de expertos.  
Fuente: (García-Ruiz & Lena-Acebo, 2018)*

		Bajo	Medio	Alto
<b>Experiencia (Exp)</b>	Experiencia obtenida a través de su actividad y práctica.	0.2	0.4	0.5
<b>Conocimiento (Con)</b>	Conocimiento sobre el estado de la cuestión a nivel nacional e internacional.	0.1	0.2	0.3
<b>Intuición (Int)</b>	Intuición sobre el tema abordado y conocimiento sobre tecnología.	0.03	0.05	0.1
<b>Estudio (Est)</b>	Estudio de trabajos y publicaciones sobre el tema.	0.03	0.05	0.1

Adicionando los valores de los Coeficientes de Conocimiento ( $k_c$ ) y calculando a través de la expresión anteriormente citada, se obtiene el Coeficiente de Competencia Experta ( $K$ ), que permitirá evaluar que expertos pasaran a la siguiente ronda para el desarrollo de la metodología AHP.

### **3.9. Desarrollo del índice propio (ICA) basado en un proceso de jerarquía analítica**

En este estudio, se utilizó el método de la jerarquía analítica (AHP) para asignar valores a cada uno de los factores seleccionados para crear un índice personalizado de la calidad del agua en los ríos Zhamzham y Pucuhuayco.

#### **3.9.1 Identificación de los pesos para cada parámetro seleccionado**

La metodología AHP se utiliza para determinar los pesos de los distintos parámetros que forman parte de un índice de calidad del agua. El proceso consiste en varios pasos, como estructurar una jerarquía, desarrollar una matriz de comparaciones por pares, calcular los pesos mediante el vector propio de prioridad, evaluar la coherencia y agregar los pesos individuales a los grupales. La Figura 12 muestra este proceso a través de un diagrama de flujo.

#### **3.9.2 Organización de una Jerarquía**

En este trabajo, se llevó a cabo la creación de una jerarquía mediante la identificación de un objetivo principal en el primer nivel y los objetivos específicos requeridos para alcanzarlo en el nivel inferior. En este estudio, el propósito principal fue asignar los pesos de los parámetros de calidad del agua en el nivel superior y los valores de los parámetros se incluyen en el nivel inferior.

#### **3.9.3 Matriz de comparaciones por pares**

En este estudio, la comparación de los diferentes parámetros de calidad del agua a través de una matriz fue crucial en la implementación de la metodología AHP. Se utilizó una matriz de

comparación por pares para que las personas responsables de tomar decisiones (encuestadas) pudieran evaluar la importancia de un parámetro en relación con otro, usando una escala de 1 a 9 puntos. Se transformaron los resultados de las encuestas en valores cuantitativos mediante matrices. La tabla 11 brinda una interpretación de la escala de 1 a 9 puntos en términos de importancia relativa.

*Tabla 9. Escala de 1 a 9 puntos utilizada para el AHP  
Fuente: (García-Ruiz & Lena-Acebo, 2018)*

<b>Escala de 1 a 9 puntos utilizada para las comparaciones por pares</b>			
<b>Importancia relativa (+)</b>	<b>Escala (columna 1)</b>	<b>Importancia relativa (-)</b>	<b>Escala (columna 2)</b>
Igualmente importante	1	Igualmente importante	1
Moderadamente importante	3	Moderadamente menos importante	1/3.
Fuertemente importante	5	Débilmente importante	1/5.
Muy importante	7	Muy débilmente importante	1/7.
Extremadamente importante	9	Extremadamente débil	1/9.
Valores intermedios	2, 4, 6, 8	Valores recíprocos intermedio	1/2, 1/4, 1/6, 1/8

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & \dots & a_{2N} \\ a_{31} & \dots & a_{22} & \dots & a_{3N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1} & a_{N2} & a_{N3} & \dots & a_{NN} \end{bmatrix}$$

*Figura 20. Matriz de comparación por pares - esquema.  
Fuente: (Flores Rengifo, 2022)*

Se utilizó una matriz de comparaciones por pares para establecer los pesos de los parámetros de calidad del agua. Las personas encargadas de la toma de decisiones valoraron la importancia relativa de un parámetro en comparación con otro en una escala del 1 al 9. Estas valoraciones se registraron en una matriz N x N, con N representando el número de parámetros que se compararon.

Se completó solo la parte superior de la matriz, ya que la parte inferior es el valor recíproco positivo de la parte superior, y la diagonal de la matriz recibió un valor de 1 al compararse el mismo parámetro. En la Figura 21 se puede ver la matriz con los parámetros elegidos, siendo la parte amarilla completada por los encuestados.

Parametros	Coliformes Fecales	DQO	DBO5	Turbidez	Oxígeno disuelto	Solidos Suspendidos	Nitratos	pH	Temperatura	Fosfatos
Coliformes Fecales	1									
DQO		1								
DBO5			1							
Turbidez				1						
Oxígeno disuelto					1					
Solidos Suspendidos						1				
Nitratos							1			
pH								1		
Temperatura									1	
Fosfatos										1

*Figura 21. Matriz de comparación por pares enviada a expertos.  
Fuente: Elaboración propia.*

Para determinar el número de matrices totales, es decir el número de comparaciones se utilizó la siguiente fórmula.

$$J = \frac{N(N - 1)}{N}$$

**Donde:**

**J** = Representa las comparaciones

**N** = Cantidad de parámetros seleccionados.

### 3.9.4 Cálculo de pesos

Una vez seleccionadas las matrices de comparación por pares de los parámetros, para obtener los pesos se aplicará álgebra matricial y se calculará el vector propio principal de cada matriz. Este vector, una vez normalizado, se convierte en el vector de prioridades, esto es, los pesos de cada parámetro para el respectivo análisis. Para este estudio se empleó un software de AHP llamado Expert Choice, el cual determina el vector propio principal de cada matriz mediante un proceso de aumentar al cuadrado cada matriz de comparación por pares, sumando los valores de la fila y normalizándolos hasta que la variación entre dos cálculos sea muy reducida.

### 3.9.5 Evaluación de coherencia

Este estudio incluyó una verificación de la coherencia en la evaluación de los pesos de los parámetros, lo cual no es un paso necesario en la obtención de los mismos, pero proporciona una forma de asegurarse de la validez de los resultados obtenidos a través de la matriz de comparaciones por pares. La metodología AHP considera esta evaluación debido a que es difícil alcanzar un juicio completamente coherente en la práctica. Esto asegura que las comparaciones por pares estén dentro de un rango de coherencia aceptable. El primer paso en la evaluación de la coherencia de la matriz es multiplicar la matriz original, llenada por el encuestado y completada con sus recíprocos, por el vector propio principal, es decir, los pesos obtenidos.

$$Aw = (\text{Matriz original llenada por el encuestado}) * (\text{vector propio original})$$

**Donde:**

**A** = matriz original llenada por el encuestado

**w** = vector propio original (pesos)

Como resultado de la multiplicación, se obtuvo un nuevo vector. A continuación, cada componente del vector resultante de la multiplicación de  $Aw$  se dividió de nuevo con cada valor del vector propio principal ( $w$ ), para obtener un nuevo vector denominado  $Av$ . Luego, se calculó el valor de  $\lambda_{max}$ , que es el promedio de los valores del vector  $Av$ , este mayor valor propio se utilizó para calcular el índice de coherencia o coeficiente de incoherencia (C.I.) a través de la ecuación (9).

$$C.I = \frac{\lambda_{max} - N}{N - 1}$$

**Donde:**

$\lambda_{max}$  = mayor valor propio

$N$  = número total de parámetros seleccionados

**C.I.** = índice de coherencia o coeficiente de incoherencia

Para evaluar la coherencia de los resultados los cuales se obtuvieron a través de la metodología AHP, se utilizó el C.I. y se comparó con el R.I. propuesto por Saaty (1987). El R.I. es un promedio de diferentes tamaños de matrices generadas aleatoriamente, mientras que el C.I. se obtuvo a través de una ecuación y representa el promedio de los valores del vector  $Av$ . Los valores del R.I. se pueden observar en la Tabla 10.

La relación de coherencia (C.R) es la relación entre C.I. y R.I. y se puede calcular aplicando la siguiente fórmula (10):

$$C.R = \frac{C.I}{R.I}$$

En conclusión, una vez obtenido el C.R, se considera que si el valor del C.R es menor a 0.10, entonces las respuestas de los encuestados son completamente coherentes. Por otro lado, si el valor

es mayor a 0.10, la encuesta no se considera válida para el análisis. En este estudio, el cálculo de la coherencia se determinó utilizando el software Expert Choice de AHP.

*Tabla 10. Valores R.I. para el índice de consistencia.  
Autor: (Saaty, 1987)*

VALORES DE INDICE DE CONSISTENCIA ALEATORIO (R.I.)													
N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
R.I	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56

### 3.9.6 Agregación de pesos individuales a grupales

Para el propósito de este estudio, se eligió utilizar el método de prioridades individuales de agregación (AIP) debido a que solo hay un nivel jerárquico. Este proceso involucra la obtención de un conjunto de pesos basados en las respuestas de la matriz de comparaciones por pares. Se tomaron en cuenta los pesos individuales obtenidos de cada encuestado y se sumaron para formar los pesos de los parámetros agrupados. Además, se optó por usar el método de promedio geométrico en lugar del método de promedio aritmético, ya que el primero es más robusto en relación a AHP que el segundo.

### 3.10. Generación de subíndices

El cálculo de los valores de los sub índices “SI” es una parte importante a tener en cuenta, ya que estos van a establecer los rangos de ponderación que va a tener cada parámetro, el NSF establece valores de parámetros y los rangos de ponderación para los mismos, su metodología se basó en las siguientes premisas (Limon & Webb, 1964):

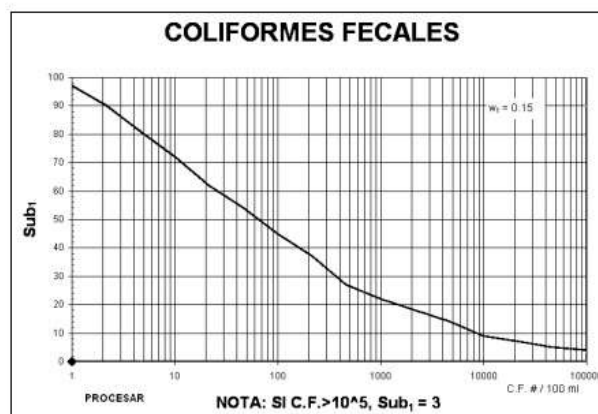
- La importancia del parámetro en cuestión para la salud humana y la vida acuática
- Los estándares y regulaciones existentes para el parámetro en cuestión
- La relación entre el parámetro y otros parámetros de calidad del agua

- La facilidad de medición y el costo del análisis del parámetro
- La opinión de expertos en la materia.

El índice NSF toma en cuenta valores propuestos por otras organizaciones, como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), quienes establecen valores para cada parámetro y sugieren que los valores para los parámetros utilizados en los subíndices de la calidad del agua pueden ser establecidos por diversas organizaciones (Limon & Webb, 1964). Por esta razón, la construcción del Índice de Calidad del Agua (ICA) toma valores preestablecidos de la NSF, ya que esta ponderación está avalada por muchas organizaciones internacionales.

La NSF define los rangos para los parámetros que se evalúan, como en el caso del sub índice de los coliformes fecales, donde se establecen los siguientes rangos (Limon & Webb, 1964).

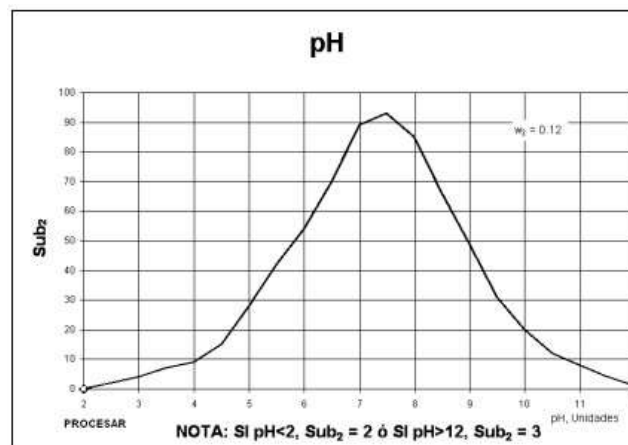
- Si los coliformes fecales son mayores de 100,000 Bact/100 mL, el subíndice es igual a 3.
- Si el valor de coliformes fecales es menor de 100,000 Bact/100 mL, se busca el valor en el eje de X en la Figura 22 y se procede a interpolar al valor en el eje de las Y.



*Figura 22. Valores propuestos por el NSF para rangos de coliformes fecales. Fuente: (Dinius, 1987).*

Con el valor del PH establece los siguientes valores(Limon & Webb, 1964):

- Si el valor de pH es menor o igual a 2 unidades, el subíndice es igual a 2.
- Si el valor de pH es mayor o igual a 10 unidades, el subíndice es igual a 3.
- Si el valor de pH está entre 2 y 10, se busca el valor en el eje de X en la Figura 23 y se procede a interpolar al valor en el eje de las Y.



*Figura 23. Valores propuestos por el NSF para rangos del Ph.  
Fuente: (Dinius, 1987)*

Los valores propuestos para la DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) vienen dados de la siguiente manera según la NSF:

- Si la DBO5 es mayor de 30 mg/L, el subíndice es igual a 2.
- Si la DBO5 es menor de 30 mg/L, se busca el valor en el eje de X en la Figura 24 y se procede a interpolar al valor en el eje de las Y.

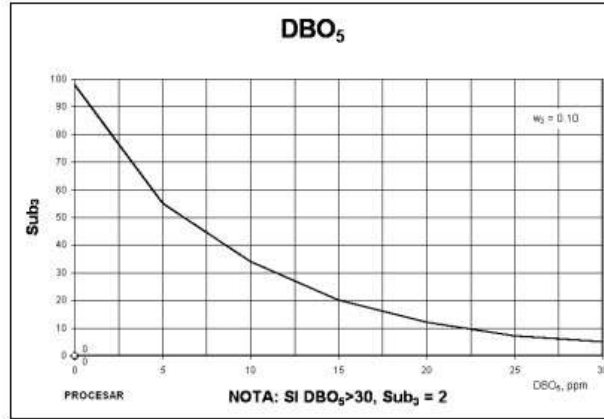


Figura 24. Valores propuestos por el NSF para rangos de la DBO<sub>5</sub>.  
Fuente: (Dinius, 1987)

En el caso de los nitratos tenemos otra curva que nos proporciona valores para calcular el sub índice, la cual tiene estos rangos de valores:

- Si el nivel de nitratos es mayor de 100 mg/L, se establece el valor de los Nitratos en 2.
- Si el nivel de nitratos es menor de 100 mg/L, se busca en la Figura 25 el valor correspondiente en el eje X.

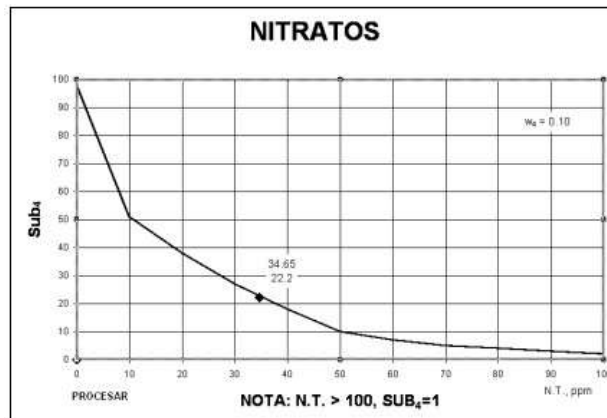
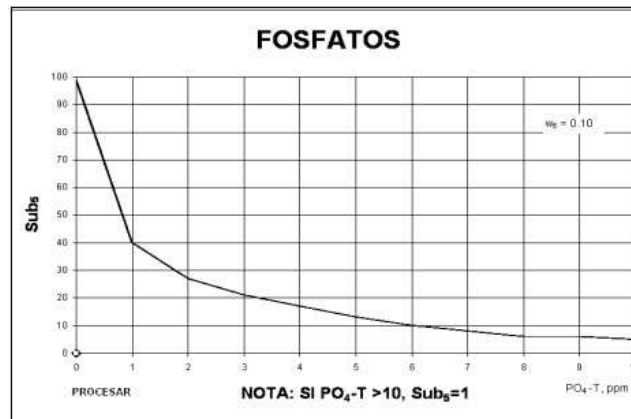


Figura 25. Valores propuestos por el NSF para rangos de los nitratos.  
Fuente: (Dinius, 1987)

El valor de los fosfatos viene dado en los siguientes rangos:

- Si el nivel de fosfatos es mayor de 10 mg/L, se establece el valor del subíndice de los fosfatos en 5.
- Si el nivel de fosfatos es menor de 10 mg/L, se busca en la Figura 26 el valor correspondiente en el eje X.

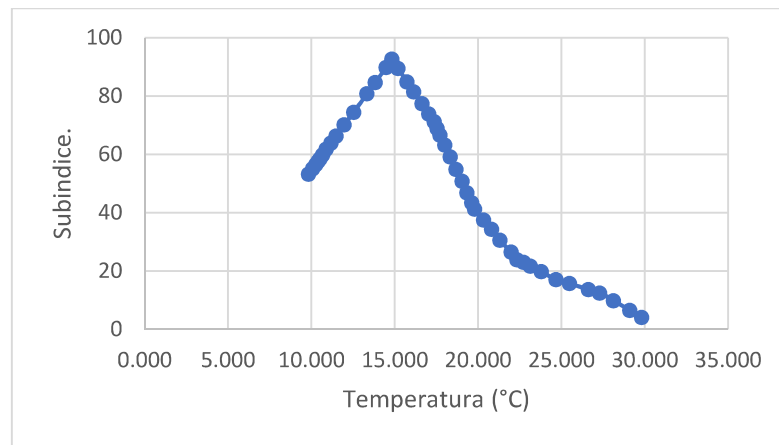


*Figura 26. Valores propuestos por el NSF para rangos de los fosfatos.  
Fuente: (Dinius, 1987)*

Para el parámetro de temperatura, se hizo una variación a los valores dados por NSF, ya que estos valores toman en cuenta la temperatura del ambiente y la temperatura de la muestra, para mejorar la precisión de los datos se optó por tomar la temperatura media de 4 ríos de la zona con características similares, como son: Río Jubones, San Francisco, Minas y Rircay los cuales datan una temperatura media de 14,86 °C, tomando esto en consideración podemos dar los siguientes valores

- Si la temperatura es mayor de 39,86 grados Celsius, el valor del subíndice es igual a 9.
- Cuando el valor de la temperatura es igual a la temperatura a 14,86 °C el subíndice toma un valor máximo de 93.

- Si el valor la temperatura es mayor a 14,86 grados Celsius se debe interpolar de acuerdo a la figura #.
- Si el valor es menor de 14,86 grados, se busca en el eje X de la Figura 27 y se interpola para obtener el valor en el eje Y.
- Si la temperatura es menor a 9,86 grados Celsius se toma un valor en el eje y de 53.



*Figura 27. Valores de temperatura.  
Fuente: Elaboración propia.*

Para encontrar los valores correspondientes a la turbidez la NSF proporciona los siguientes rangos donde podemos encontrar el valor del subíndice de la turbidez:

- Si la Turbidez es mayor de 100 FAU el sub índice de turbidez es igual a 5.
- Si la Turbidez es menor de 100 FAU, buscar el valor en el eje de (X) en la se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y).

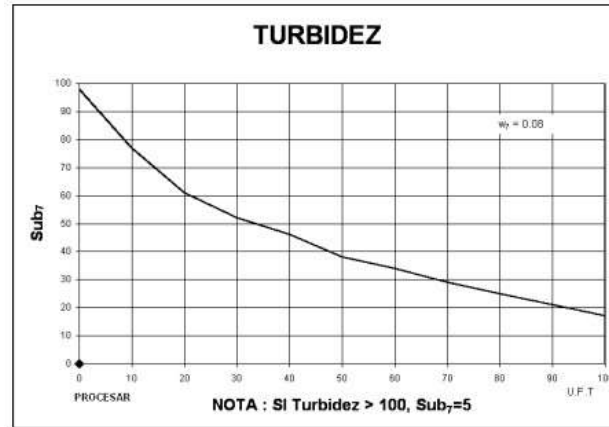


Figura 28. Valores propuestos por el NSF para rangos de la turbidez.  
Fuente: (Dinius, 1987)

Los rangos y valores de los sólidos disueltos (SDT) propuestos por el NSF toman los valores de la siguiente manera la cual se reflejan en la curva de la figura 25 (Limon & Webb, 1964), y se expresan de la siguiente manera:

- Si la cantidad de sólidos disueltos totales es superior a 500 mg/L, el valor que toma el sub índice es 3.
- Si es inferior a 500 mg/L, se busca el valor correspondiente en el eje X de la Figura 29 y se utiliza para interpolación en el eje Y.

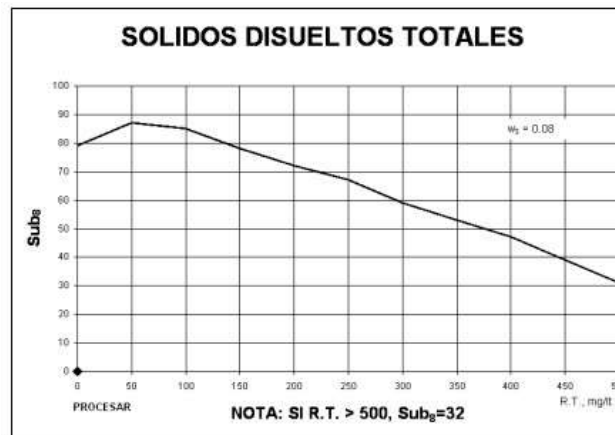
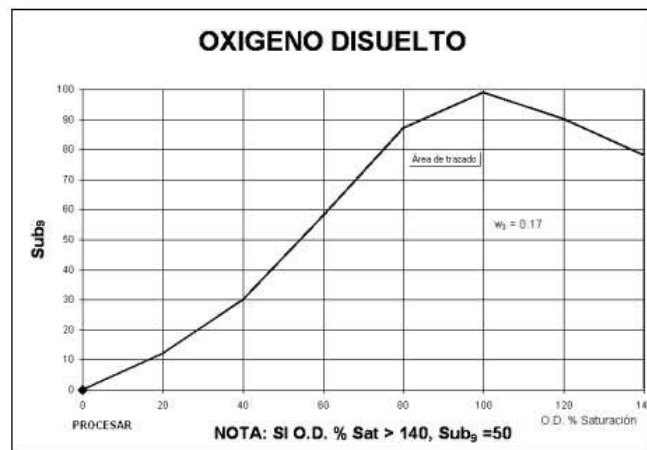


Figura 29. Valores propuestos por el NSF para rangos de sólidos disueltos totales.  
Fuente: (Dinius, 1987).

El oxígeno disuelto se evalúa por su porcentaje de saturación, este valor puede tomar saturaciones hasta del 140%, NSF nos ofrece los siguientes valores para el oxígeno disuelto:

- Si la tasa de saturación de oxígeno disuelto es superior al 140%, el valor su subíndice es igual a 47.
- Si la tasa de saturación es inferior al 140%, se busca el valor en el eje X de la Figura 30 y se interpolan los valores en el eje Y.
- Cuando el Oxígeno disuelto es del 100% de saturación toma el valor máximo del subíndice es decir del 100%.

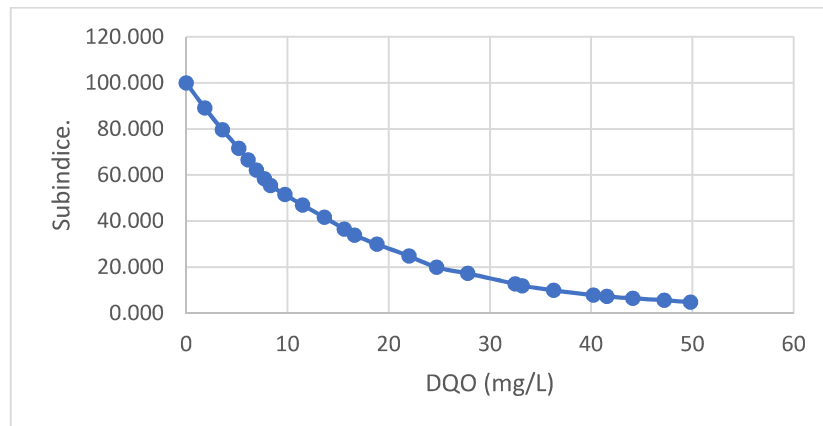


*Figura 30. Valores propuestos por el NSF para rangos del oxígeno disuelto*  
*Fuente: (Dinius, 1987)*

Para este estudio, no se tienen valores establecidos por el NSF para la Demanda Química de Oxígeno (DQO), a diferencia de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). La DBO mide la cantidad de oxígeno necesario para la degradación biológica de la materia orgánica en el agua, mientras que la DQO mide la cantidad de oxígeno necesario para la degradación química. En general, la DQO es mayor que la DBO debido a la naturaleza más compleja de la degradación biológica y la necesidad de más oxígeno. No obstante, la relación entre DBO y DQO puede variar

dependiendo de las características del agua y del tipo de materia orgánica presente en ella. Por lo general, existe una proporción DQO/DBO de 0,6, lo que nos permite determinar rangos para la DQO:

- Si la DQO es mayor de 50 mg/L, el subíndice es igual a 2.
- Si la DQO es menor de 50 mg/L, se busca el valor en el eje de X en la Figura 31 y se procede a interpolar al valor en el eje de las Y.
- Cuando el valor de DQO es igual a 0 el valor del subíndice es de 100.



*Figura 31. Valores del DQO.  
Fuente: Elaboración propia.*

Cada uno de los valores que tienen estos sub índices (SI) van a contribuir a que nuestro (ICA) tenga mayor o menor valoración pues estos sub índices al igual que los pesos generales de cada parámetro son directamente proporcionales al ICA.

### **3.11. Obtención del Índice de Calidad del Agua propio**

El proceso de agregación es el paso final del modelo de índice de calidad del agua, mismo que sirve para agregar los subíndices de los parámetros en una única puntuación del índice de calidad

del agua. Finalmente, la obtención del ICA o WQI, viene dada por la sumatoria de la multiplicación del subíndice por el peso de cada parámetro, como se puede observar en la ecuación 11.

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI * W$$

**Donde:**

**SI** = Subíndice del parámetro; (se encuentra entre 0 y 100).

**W** = Pesos relativos asignados a cada parámetro obtenido por los expertos y ponderados entre 0 y 100. De tal manera que se cumpla la sumatoria igual a 100.

### **3.11.1 Interpretación del valor del índice**

Para establecer los límites de clasificación del ICA, no existe un proceso establecido, según Sierra (2011). Aun así, los intervalos del ICA pueden ser definidos por el autor del índice o por un experto con conocimientos en la materia, basándose en su experiencia y revisión de la literatura relevante.

Para el índice propio de los ríos Pucuhuayco y Zhamzham se estableció cinco rangos de clasificación para evaluar el ICA, los cuales están en un rango de 0 a 100 puntos como se muestra en la Tabla 11.

*Tabla 11. Tabla de la clasificación del ICA.  
Fuente: Elaboración propia*

Tabla de clasificación del ICA	
Rango	Clasificación
91 - 100	Excelente
71 - 90	Buena
51 - 70	Regular
26 - 50	Mala
0 - 25	Pesima calidad

Para establecer los límites de clasificación del ICA, no existe un proceso establecido, según Sierra (2011). Aun así, los intervalos del ICA pueden ser definidos por el autor del índice o por un experto con conocimientos en la materia, basándose en su experiencia y revisión de la literatura relevante.

### 3.12. Correlación de datos

#### Análisis de la correlación de datos.

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) depende de la covarianza de los datos, y es el método más conocido para relacionar conjuntos de datos, el coeficiente  $R^2$  tiene la siguiente expresión:

$$R^2 = \frac{\text{cov}(O_i - p_i)^2}{\sigma^2_o * \sigma^2_P}$$

**Donde:**

$\text{cov}(O_i - p_i)^2$ : covarianza entre el conjunto de datos.

$\sigma^2_o$ : varianza del primer conjunto de datos.

$\sigma^2_p$ : varianza del segundo conjunto de datos.

### 3.13. Criterios de calidad admisible del Acuerdo Ministerial A97

En la Tabla 12 se muestra la tabla 2: Criterios de Calidad Admisibles para la Preservación de la Vida Acuática y Silvestre en Aguas dulces y Aguas marinas de la normativa actual vigente.

Tabla 12. Criterios de calidad admisible del Acuerdo Ministerial A 97.

Fuente: (Acuerdo Ministerial A97)

PARÁMETROS	Expresados como	Unidad	Criterio de calidad	
			Agua dulce	Agua marina y de estuario
Aluminio <sup>(1)</sup>	Al	mg/l	0,1	1,5
Amoniaco Total <sup>(2)</sup>	NH3	mg/l	-	0,4
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	1,5
Bifenilos Policlorados	Concentración de PCBs totales	µg/l	1,0	1,0
Boro	B	mg/l	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,001	0,005
Cianuros	CN	mg/l	0,01	0,01
Cinc	Zn	mg/l	0,03	0,015
Cloro residual total	Cl <sub>2</sub>	mg/l	0,01	0,01
Clorofenoles <sup>(3)</sup>		mg/l	0,05	0,05
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2
Cobre	Cu	mg/l	0,005	0,005
Cromo total	Cr	mg/l	0,032	0,05
Estaño	Sn	mg/l		2,00
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0,001	0,001
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3	0,3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,5	0,5
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1
Materia flotante de origen antrópico	visible		Ausencia	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,0002	0,0001
Níquel	Ni	mg/l	0,025	0,1
Oxígeno Disuelto	OD	% de saturación	> 80	> 60
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/l	0,05	0,05
Plaguicidas organoclorados totales	Organoclorados totales	µg/l	10,0	10,0
Plaguicidas organofosforados totales	Organofosforados totales	µg/l	10,0	10,0
Plata	Ag	mg/l	0,01	0,005
Plomo	Pb	mg/l	0,001	0,001
Potencial de Hidrógeno	pH	unidades de pH	6,5 – 9	6,5 – 9,5
Selenio	Se	mg/l	0,001	0,001
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5
Nitritos	NO <sub>2</sub>	mg/l	0,2	
Nitratos	NO <sub>3</sub>	mg/l	13	200
DQO	DQO	mg/l	40	-
DBO5	DBO <sub>5</sub>	mg/l	20	-
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	max incremento de 10% de la condicion natural	-

<sup>(1)</sup> Aluminio: Si el pH es menor a 6,5 el criterio de calidad será 0,005 mg/l

<sup>(2)</sup> Aplicar la Tabla 2a como criterio de calidad para agua dulce

<sup>(3)</sup> Si sobrepasa el criterio de calidad se debe analizar el diclorofenol cuyo criterio de calidad es 0,2 µg/l

### 3.14. Clasificación del índice general en base a los usos que se le pueda dar al recurso

En la Tabla 13 se muestra la clasificación en base a sus usos.

*Tabla 13. Escala de clasificación del ICA.  
Fuente: (Dinius, 1987).*

ICA	CRITERIO GENERAL	ABASTECIMIENTO PÚBLICO	RECREACIÓN	PESCA Y VIDA ACUÁTICA	INDUSTRIA	RIEGO AGRÍCOLA
100	No contaminada	No requiere purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	No requiere purificación	No requiere tratamiento
90	Aceptable	Ligera purificación			Ligera purificación para algunos procesos	Tratamiento menor para cultivos de alta calidad de agua para riego
80		Poco contaminada	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable no recomendable	Sin tratamiento para industria normal	Utilizable en la mayoría de los cultivos
70	Aceptable excepto especies muy sensibles					
60	Contaminada	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo organismos muy resistentes	Tratamiento en la mayor parte de la industria	Tratamiento requerido para la mayoría de cultivos
50			Sin contacto con el agua			
40	Altamente contaminada	No aceptable	Señal de contaminación	No aceptable	Uso muy restringido	Solo para cultivos muy resistentes (forrajes)
30			No aceptable		No aceptable	Inaceptable para riego
20						

### 3.15. Metodología para determinar la calidad del agua mediante el índice NSF.

El NSF WQI evalúa la calidad del agua a través de 9 parámetros diferentes, que incluyen la variación de temperatura, la turbidez, los sólidos totales, el potencial de hidrógeno, el porcentaje de oxígeno disuelto saturado, los coliformes fecales, la demanda bioquímica de oxígeno, los fosfatos y los nitratos (Uddin et al., 2021). El cambio de temperatura se determina restando la temperatura ambiente de la temperatura medida en el agua. La ponderación de cada parámetro se utiliza en el cálculo del Índice de Calidad del Agua, como se muestra en la Tabla 14.

*Tabla 14. Ponderación asignada a cada parámetro (NSF).  
Fuente: Elaboración propia*

Parámetros	Ponderación
Cambio de temperatura	0.1
Turbidez	0.08
Sólidos totales	0.07
pH	0.11
Oxígeno disuelto	0.17
Coliformes Fecales	0.16
DBO	0.11
Fosfatos	0.1
Nitratos	0.1

El método utilizado en la agregación fue el aditivo ponderado, que consiste en sumar los resultados obtenidos al multiplicar cada subíndice del parámetro por su respectiva ponderación. La fórmula para el NSF (índice aditivo) es la siguiente.

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI * Wi$$

**Donde:**

**SI** = Subíndice de calidad para el parámetro i.

**W** = coeficiente de ponderación del parámetro.

**n:** número total de parámetros.

Se empleó una herramienta en línea desarrollada por el centro de investigación WATER RESEARCH CENTER para calcular el ICA. Se requiere ingresar información personal como nombre, correo electrónico y organización, y después los datos del tipo de cuerpo de agua, fecha y ubicación. Es importante destacar que las ponderaciones asignadas a cada parámetro por la plataforma son las mismas que se muestran en la tabla 16. La plataforma proporciona un valor para

el índice NSF, que es interpretado en una escala de clasificación de 5 categorías, que van desde 0 hasta 100, como se presenta en la Tabla 15.

*Tabla 15. Clasificación según el ICA NSF*  
*Fuente: (Flores Rengifo, 2022)*

Tabla de clasificación del ICA	
Rango	Clasificación
91 - 100	Excelente
71 - 90	Bueno
51 - 70	Medio
26 - 50	Malo
0 - 25	Muy mala calidad

#### 4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### Calidad de agua de los ríos Zhamzham y Pucuhuayco obtenido a través de la construcción de un índice de calidad de agua ICA propio de la zona.

En esta sección se muestran los resultados obtenidos al aplicar el índice de calidad del agua usando las técnicas DELPHI y AHP. Estos fueron calculados para cada una de las estaciones de monitoreo en los dos ríos. También se incluye una comparación con las regulaciones establecidas en el Acuerdo Ministerial A97, Tabla 2, que establece los límites máximos permisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.

##### 4.1. Resultados de los indicadores físicos, químicos y microbiológicos utilizados para el cálculo del Índice de Calidad del Agua ICA.

Se presenta los resultados obtenidos en el laboratorio de calidad del agua de la Universidad Católica de Cuenca, así como los datos levantados en campo mediante el multiparamétrico de los 10 parámetros en los ríos Pucuhuayco y Zhamzham como se muestra en las Tablas 16, 17 y 18 correspondiendo a cada estación de monitoreo y en los diferentes meses.

*Tabla 16. Resultado de parámetros del mes de octubre.  
Fuente: Elaboración propia*

OCTUBRE											
Estaciones monitoreadas	Parámetros										
	pH	Oxígeno Disuelto (mg/LDO)	Temperatura del agua (°C)	DBO(mg/L)	DQO(mg/L)	Nitratos(mg/L)	Fosfatos(mg/L)	Sólidos Suspendidos(mg/L)	Turbidez (NTU)	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	Conductividad (mhos/cm)
<b>RIO PUCUHUYCO</b>											
M9	6.39	2.61	8.78	70	242	1.7	0.55	15	16.8	41	200
M3	6.38	1.31	9.12	22.2	49	1.4	1.34	5	32.2	24	200
M10	6.52	1.76	9.87	9.2	32	2.3	1.26	15	11.8	69	200
M4	6.51	0	11.59	38.2	61	7.8	3.39	75	19.1	17	200
M7	6.08	13.04	16.07	60	207	14.4	4.16	245	91.6	29	0
M5	6.69	17.26	16.59	51.7	103	13.1	4.62	5	15.5	20	0
<b>RIO ZHAMZHAM</b>											
M8	7.4	0.95	11.13	7.6	27	0.3	0.94	5	5.13	32	200
M1	6.49	0.07	12.17	13.5	47	4	3.41	10	18.2	19	200
M11	6.48	0	14.54	31	107	10.4	3.86	65	40.3	17	200
M2	6.42	13.98	14.35	76.8	153	14.3	4.35	20	34.9	22	0
M6	6.48	9.2	16.63	63	231	15.2	5.36	35	21.4	26	0
M5	6.69	17.26	16.59	51.7	103	13.1	4.62	5	15.5	20	0

*Tabla 17. Resultado de parámetros del mes de noviembre.  
Fuente: Elaboración propia*

NOVIEMBRE											
Estaciones monitoreadas	Parámetros										
	pH	Oxígeno Disuelto (mg/LDO)	Temperatura del agua (°C)	DBO(mg/L)	DQO(mg/L)	Nitratos(mg/L)	Fosfatos(mg/L)	Sólidos Suspendidos(mg/L)	Turbidez (NTU)	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	Conductividad (mhos/cm)
<b>RIO PUCUHUAYCO</b>											
M9	7.02	0.86	12.42	0	0	2.3	0.55	30	10.2	7.3	200
M3	6.58	0.52	13.49	0	0	4.5	1.34	15	15.6	1.8	200
M10	6.58	0.32	15.1	0	0	9.5	1.26	95	10.8	9.1	200
M4	6.22	0	12.8	0	0	7.8	3.39	15	22.7	7.2	200
M7	6.75	2.43	12.8	0	0	4.6	4.16	55	7.08	1.1	200
M5	7.28	2.252	10.28	0	0	6	4.62	25	8.07	9	200
<b>RIO ZHAMZHAM</b>											
M8	8.73	0	12.8	0	0	0	0.94	140	2.15	1.1	0
M1	6.75	0	12.23	0	0	15.2	3.41	140	5.15	1.1	200
M11	6.86	1.9	12.8	81.9	132	22.4	3.86	380	90	79	200
M2	6.71	2.46	12.8	59	142	22.2	4.35	70	50.7	130	200
M6	7.05	0.8	12.8	0	0	2.4	5.36	155	6.05	3.6	200
M5	7.28	2.252	10.28	0	0	6	4.62	25	8.07	9	200
M12 - Domiciliaria	No	No	No	0	18	75.4	9.18	260	337	95	No

*Tabla 18. Resultado de parámetros del mes de diciembre.  
Fuente: Elaboración propia*

DICIEMBRE											
Estaciones monitoreadas	Parámetros										
	pH	Oxígeno Disuelto (mg/LDO)	Temperatura del agua (°C)	DBO(mg/L)	DQO(mg/L)	Nitratos(mg/L)	Fosfatos(mg/L)	Sólidos Suspendidos(mg/L)	Turbidez (NTU)	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	Conductividad (mhos/cm)
<b>RIO PUCUHUAYCO</b>											
M9	7.84	0.75	11.48	13.7	39	7.2	0.92	5	7.02	5.6	200
M3	7.47	0.13	11.93	45.6	48	5.3	1.28	220	11.00	< 1.1	200
M10	7.44	0.06	11.8	0	8	5.2	1.23	15	7.03	7.3	200
M4	7.7	0	12.62	2.8	95	8.1	2.67	35	22.40	7.4	200
M7	6.91	2.48	13.42	32	41	1.1	3.38	20	19.10	< 1.1	0
M5	8.35	0.71	11.13	18.3	50	12.0	4.16	20	4.42	7.5	200
<b>RIO ZHAMZHAM</b>											
M8	9	0.61	11.07	0	27	2.7	0.55	20	7.25	< 1.1	200
M1	7.75	0.75	11.56	4.5	22	4.8	2.27	415	5.21	< 1.1	200
M11	7.54	0.53	10	76.5	222	23.0	4.46	140	107.00	95	200
M2	8.14	0.69	11.02	51	216	18.5	4.89	150	50.80	79	200
M6	8.2	0.69	11.23	32	53	11.1	5.24	25	6.37	4.4	200
M5	8.35	0.71	11.13	18.3	50	12.0	4.16	20	4.42	7.5	200

## 4.2 Resultado de la medición de los caudales utilizando el método del flotador – ríos Pucuhuayco y Zhamzham

Los valores de los caudales aforados, en las campañas de monitoreo para las 11 estaciones en los meses de octubre, noviembre y diciembre se presentan en las Tablas 19, 20 y 21.

*Tabla 19. Caudales aforados (m<sup>3</sup>/seg) en el mes de octubre.  
Fuente: Elaboración propia*

OCTUBRE													
Punto	Tiempos (seg)						Tiempo promedio	Velocidad			Area	Caudal	
	Margen derecho		Centro		Margen izquierdo			Distancia recorrida por el flotador	Velocidad superficial	Velocidad media			
	f1	f2	f3	f4	f5	f6	tp	d (m)	V= d/tp	Vs= V x 0.85	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	L/s
<b>RIO PUCUHUYCO</b>													
9	14.37	21.69	28.10	18.36	16.89	17.73	19.52	6.00	0.31	0.26	0.47	0.12	122.60
3	9.95	11.76	14.54	13.18	11.35	12.51	12.22	5.00	0.41	0.35	0.18	0.06	62.90
10	15.52	13.89	22.29	14.86	14.59	17.54	16.45	5.00	0.30	0.26	0.61	0.16	156.90
4	19.27	17.52	15.62	16.37	19.91	18.83	17.92	5.00	0.28	0.24	0.82	0.20	195.10
7	12.17	16.52	13.54	16.25	15.21	14.23	14.65	5.00	0.34	0.29	0.01	0.00	4.10
5	31.01	27.47	35.02	36.03	29.02	35.42	32.33	4.00	0.12	0.11	0.26	0.03	27.60
<b>RIO ZHAMZHAM</b>													
8	21.21	22.32	23.89	24.46	22.13	21.15	22.53	5.00	0.22	0.19	0.25	0.05	47.60
1	14.30	20.18	17.56	16.84	18.25	15.36	17.08	4.00	0.23	0.20	0.03	0.01	6.00
11	42.56	37.34	41.22	40.12	43.12	31.04	39.23	4.00	0.10	0.09	0.32	0.03	27.40
2	17.96	11.31	18.01	15.01	17.23	13.30	15.47	4.80	0.31	0.26	0.29	0.08	76.20
6	10.32	11.29	13.98	10.75	11.08	14.45	11.98	5.00	0.42	0.35	0.04	0.02	15.10
5	31.01	27.47	35.02	36.03	29.02	35.42	32.33	4.00	0.12	0.11	0.26	0.03	27.60

En la Tabla 19 se puede apreciar que, durante el mes de octubre, se registró el caudal máximo del río Pucuhuayco en la sección de aforo 4, alcanzando los 195.1 lt/seg, mientras que el caudal mínimo se presentó en la sección 7 con un registro de 4.1 lt/seg. En cuanto al río Zhamzham, la sección de aforo 2 registró el caudal máximo de 76.2 lt/seg, mientras que en la sección 1 se presentó el caudal mínimo de 6 lt/seg.

*Tabla 20. Caudales aforados (m<sup>3</sup>/seg) en el mes de noviembre.  
Fuente: Elaboración propia*

NOVIEMBRE													
Punto	Tiempos (seg)						Tiempo promedio	Velocidad			Area	Caudal	
	Margen derecho		Centro		Margen izquierdo			Distancia recorrida por el flotador	Velocidad superficial	Velocidad media			
	f1	f2	f3	f4	f5	f6	tp	d (m)	V= d/tp	Vs= V x 0.85	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	L/s
<b>RIO PUCUHUYCO</b>													
9	22.40	20.31	19.94	18.46	17.45	22.31	20.15	6.00	0.30	0.25	0.47	0.12	119.60
3	8.44	6.91	7.79	6.64	7.63	7.72	7.52	5.00	0.66	0.57	0.16	0.09	91.10
10	22.01	21.51	23.54	25.70	24.83	22.20	23.30	5.00	0.21	0.18	0.59	0.11	106.90
4	30.22	23.76	23.68	24.56	28.82	26.58	26.27	5.00	0.19	0.16	0.80	0.13	129.30
7	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	5.00	0.08	0.07	0.06	0.00	4.50
5	64.00	40.19	61.00	55.44	51.42	39.75	51.97	4.80	0.09	0.08	0.29	0.02	22.80
<b>RIO ZHAMZHAM</b>													
8	24.93	19.50	19.81	18.06	18.20	17.10	19.60	5.00	0.26	0.22	0.25	0.05	53.10
1	25.68	24.57	26.05	25.01	24.42	21.63	24.56	5.00	0.20	0.17	0.08	0.01	14.00
11	15.73	18.62	19.21	21.84	20.98	21.00	19.56	4.00	0.20	0.17	0.10	0.02	17.20
2	15.73	19.25	15.26	14.11	13.61	14.89	13.63	4.00	0.29	0.25	0.18	0.05	45.90
6	38.99	25.19	24.68	30.48	24.32	28.25	28.65	5.00	0.17	0.15	0.04	0.01	6.40
5	64.00	40.19	61.00	55.44	51.42	39.75	51.97	4.80	0.09	0.08	0.29	0.02	22.80

En la Tabla 20 se puede apreciar que, durante el mes de noviembre, se registró el caudal máximo del río Pucuhuayco en la sección de aforo 4, alcanzando los 129.3 lt/seg, mientras que el caudal mínimo se presentó en la sección 7 con un registro de 4.5 lt/seg. En cuanto al río Zhamzham, la sección de aforo 8 registró el caudal máximo de 53.1 lt/seg, mientras que en la sección 6 se presentó el caudal mínimo de 6.4 lt/seg.

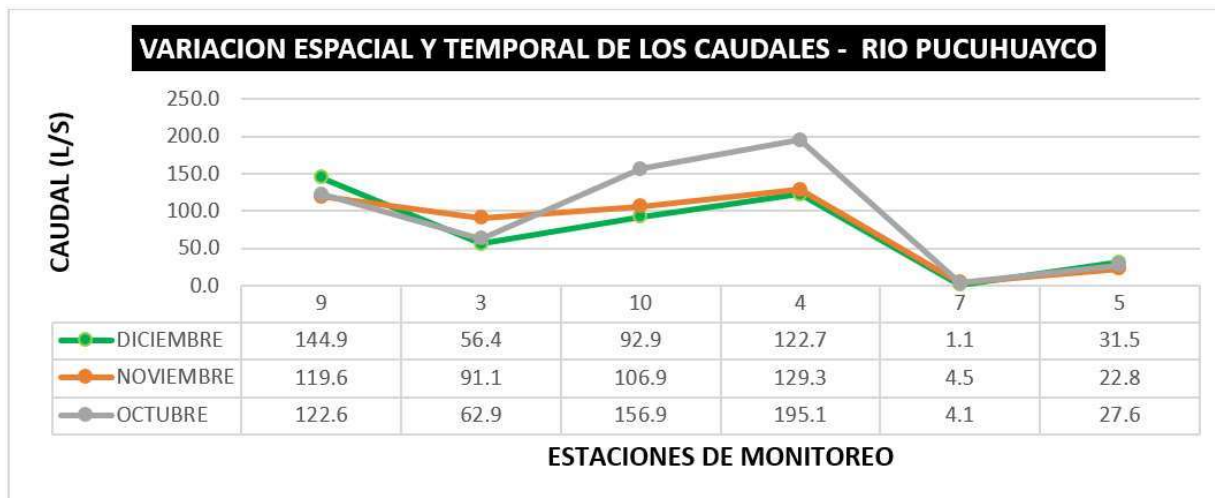
*Tabla 21. Caudales aforados (m3/seg) en el mes de diciembre.  
Fuente: Elaboración propia*

DICIEMBRE													
Punto	Tiempos (seg)						Tiempo promedio tp	Velocidad			Area m <sup>2</sup>	Caudal	
	Margen derecho		Centro		Margen Izquierdo			Distancia recorrida por el flotador d (m)	Velocidad superficial V= d/tp	Velocidad media Vs= V x 0.85		m <sup>3</sup> /s	L/s
f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	d (m)	V= d/tp	Vs= V x 0.85	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	L/s	
<b>RIO PUCUHUAYCO</b>													
9	21.20	24.28	21.04	17.45	24.01	24.41	21.68	6.00	0.28	0.24	0.62	0.14	144.93
3	13.95	9.18	8.41	8.76	15.25	10.18	10.96	5.00	0.46	0.39	0.15	0.06	56.39
10	24.01	23.58	26.17	29.65	31.62	28.67	27.28	5.00	0.18	0.16	0.60	0.09	92.95
4	29.26	27.43	32.28	29.47	25.06	26.58	28.35	5.00	0.18	0.15	0.82	0.12	122.70
7	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	5.00	0.08	0.07	0.02	0.00	1.10
5	33.18	29.39	37.47	38.55	31.05	37.90	34.59	4.00	0.12	0.10	0.32	0.03	31.45
<b>RIO ZHAMZHAM</b>													
8	20.70	23.88	25.56	26.17	23.68	22.63	23.77	5.00	0.21	0.18	0.24	0.04	42.55
1	15.30	21.59	18.79	18.02	19.53	16.44	18.28	4.00	0.22	0.19	0.08	0.01	13.95
11	45.54	39.95	44.11	42.93	46.14	33.21	41.98	4.00	0.10	0.08	0.39	0.03	31.26
2	19.22	12.10	19.27	16.06	18.44	14.23	16.55	4.80	0.29	0.25	0.28	0.07	69.02
6	11.04	12.08	14.96	11.50	11.86	15.46	12.82	5.00	0.39	0.33	0.04	0.01	13.73
5	33.18	29.39	37.47	38.55	31.05	37.90	34.59	4.00	0.12	0.10	0.32	0.03	31.45

En la Tabla 21 se puede apreciar que, durante el mes de diciembre, se registró el caudal máximo del río Pucuhuayco en la sección de aforo 9, alcanzando los 144.9 lt/seg, mientras que el caudal mínimo se presentó en la sección 7 con un registro de 1.1 lt/seg. En cuanto al río Zhamzham, la sección de aforo 2 registró el caudal máximo de 69 lt/seg, mientras que en la sección 6 se presentó el caudal mínimo de 13.7 lt/seg.

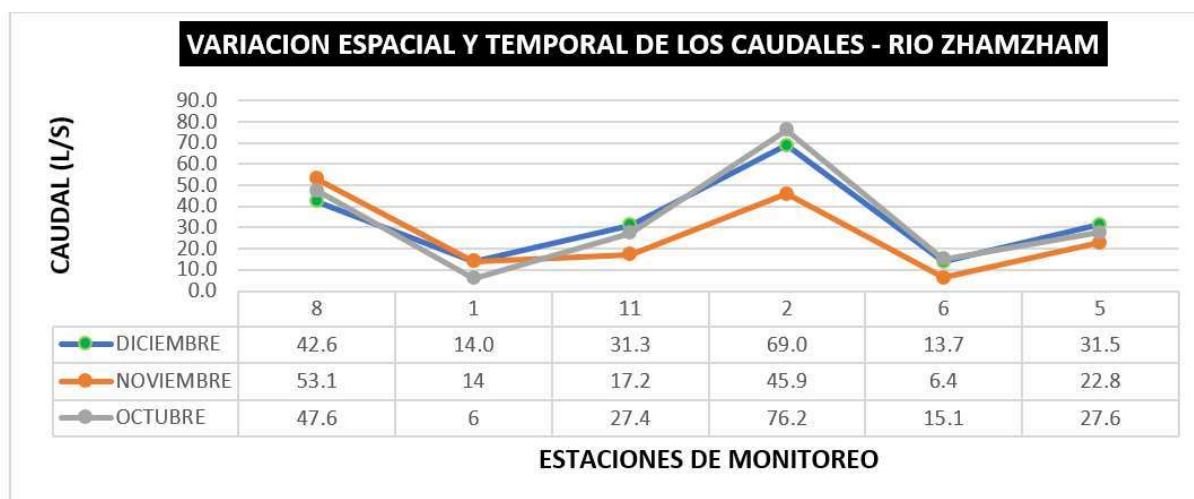
#### 4.3 Variación de los caudales – ríos Pucuhuayco y Zhamzham

A continuación, se muestra cómo varía el flujo de agua medido con el método del flotador en el espacio y el tiempo a lo largo de todo el estudio en estos dos ríos.



*Figura 32. Variación espacial y temporal de los caudales – Rio Pucuhuayco.  
Fuente: Elaboración propia.*

En la Figura 32 se puede observar la variación temporal y espacial de los caudales del río en diferentes estaciones de monitoreo a lo largo de su curso. En la sección de monitoreo 7 se registró el caudal mínimo durante los tres meses de estudio, mientras que en la sección 4 se registraron los valores máximos.



*Figura 33. Variación espacial y temporal de los caudales – Rio Zhamzham.  
Fuente: Elaboración propia.*

En la Figura 33 se puede observar que se registró el máximo caudal en la sección 2 de análisis, mientras que en la sección 1 se observó el caudal mínimo durante los tres meses de monitoreo.

#### 4.4 Resultados de derivación de caudales

En las Tablas 25 y 26, se presenta la derivación de caudales existentes en las secciones de monitoreo de la zona de estudio.

- **Río Pucuhuayco (Sección de aforo 7)**

*Tabla 22. Derivación de caudales en la sección 7  
Fuente: Elaboración propia*

	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>Caudal que se deriva para riego - Sector la posta (m3/seg)</b>	0.19	0.12	0.14
<b>% de derivación</b>	97.85	92.51	94.5

En la Tabla 22 se puede notar que hay un alto porcentaje de caudal derivado en esta sección de monitoreo, lo que ha dejado al río en un estado seco. Esto se debe a la extracción de agua para abrevadero de animales y riego agrícola en la zona.

- **Río Zhamzham (Sección de aforo 8)**

*Tabla 23. Derivación de caudales en el mes de octubre en la estación 8.  
Fuente: Elaboración propia*

	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Área del canal	0.015			m2
Velocidad	0.9	0.85	0.8	m/seg
Caudal (Q)	0.013	0.013	0.012	m3/seg
<b>% de derivación</b>	<b>28.36</b>	<b>24.01</b>	<b>28.2</b>	<b>%</b>



















En la Tabla 23 se puede apreciar que hay un porcentaje de derivación que oscila entre el 24.01% y el 28.36%. Esto se debe a que en esta sección de aforo existe un canal de hormigón, el mismo que es utilizado para el riego agrícola de la zona.




#### 4.5 Clasificación de caudales

##### 4.5.1 Río Pucuhuayco

Se categorizaron los flujos medidos en las 3 rondas de monitoreo en cada estación analizando los cuartiles. Esto permite distinguir los flujos altos (superiores al cuartil 75), los flujos medianos (entre los cuartiles 25 y 75) y los flujos bajos (inferiores al cuartil 25). La probabilidad de ocurrencia de los flujos de caudales en cada estación permite clasificar el monitoreo como alto, medio o bajo (Calle & Gómez, 2014b) como se muestra en las tablas 24 y 25.

*Tabla 24. Clasificación de los caudales – río Pucuhuayco  
Fuente: Elaboración propia*

Caudales (l/seg) - Río Pucuhuayco						
Estación	Octubre		Noviembre		Diciembre	
9		122.6		119.6		144.9
3		62.9		91.1		56.4
10		156.9		106.9		92.9
4		195.1		129.3		122.7
7		4.1		4.5		1.1
5		27.6		22.8		31.5

Caudal	Rango (l/seg)	Simbología
Alto	> 124	
Medio	23 < Qm < 124	
Bajo	<23	



















Se observa en la Tabla 24 que los caudales varían conforme van avanzando las estaciones; en el mes de octubre las estaciones 9 y 3 van de medio a alto con respecto a las estaciones 10 y 4. Sin embargo se puede notar que el caudal se reduce notoriamente en la estación 4, debido al % de




derivación del agua. Por otro lado, en el punto 5 el caudal aumenta debido a la confluencia que tiene con el río Zhamzham de los cuales forman el río Cañar.

Para los meses de noviembre y diciembre podemos notar la misma secuencia, los caudales van de medio a alto, pero en la estación 4 es claro la disminución que hay de 129.3 a 4.5 (l/seg) y 122.7 a 4.5 y 1.1 (l/seg). En las figuras 34 y 35 se puede observar cómo se encuentra el río en esas estaciones.

#### 4.5.2 Clasificación de caudales - Río Zhamzham

*Tabla 25. Clasificación de los caudales – río Zhamzham  
Fuente: Elaboración propia*

Caudales (l/seg) - Río Zhamzham						
Estación	Octubre		Noviembre		Diciembre	
8		47.6		53.1		42.6
1		6.0		14.0		14.0
11		27.4		17.2		31.3
2		76.2		45.9		69.0
6		15.0		6.4		13.7
5		27.6		22.8		31.5

Caudal	Rango (l/seg)	Simbología
Alto	> 46	
Medio	14 < Qm < 46	
Bajo	<15	

Se observa en la Tabla 25 que los caudales varían conforme van avanzando las estaciones, en los meses de octubre, noviembre y diciembre se puede notar la misma secuencia. En la estación 8 va de caudal alto y medio (47.6, 53.1, 42.6) l/seg a caudal bajo en la estación 1 (6, 14, 14) l/seg, debido al % de derivación que existe en esta zona al igual que el río Pucuhuayco para el uso agrícola y abrevadero de animales. En las estaciones 11 y 2 ya se puede notar un aumento del

caudal medio a alto en estos meses de (27.4, 17.2 ,31.3) l/seg y (76.2, 45.9, 69 ) l/seg debido a que ya pasa por la zona urbana de la ciudad, donde las descargas residuales son arrojadas directamente al rio y esto conforme sigue su curso hasta la estación 6 que nuevamente disminuye su caudal debido al % de derivación que existe en la zona (15, 6.4 , 13.7) l/seg para finalmente terminar en la estación 5 donde su caudal es medio (27.6, 22.8, 31.5) l/seg debido a la unión de estos dos ríos.

## **Construcción de ICA mediante las metodologías DELPHI y AHP**

### **4.6. Resultados de la metodología DELPHI**

#### **Selección de expertos**

Mediante la metodología DELPHI, se pudo obtener al grupo seleccionado de expertos que participaron en la creación de un Índice de calidad de Agua. Para medir la calidad del panel se estimó indicadores indirectos como la experiencia profesional enfocado en calidad del agua (ICA), producción académica, áreas de investigación y compromiso laboral y también se permitió al experto su autovaloración sobre el grado de conocimiento del objeto de investigación, todo esto mediante cuestionarios que se pueden ver en el anexo 1.

Para la elaboración de este proyecto se logró ponerse en contacto con 19 expertos capacitados en el tema, y se obtuvo apoyo positivo de 15. En la Tabla 26 se muestra la determinación del coeficiente de Argumentación (Ka), obtenido a través de la suma de los valores ponderados.

*Tabla 26. Determinación del coeficiente de argumentación.  
Fuente: (Elaboración propia)*

Codigo	Perfil Academico	Nacionalidad	Pais	Autovaloracion	Experiencia	Conocimiento	Intuicion	Estudios	Ka
E1	Academico Universidad Catolica de Cuenca	Ecuatoriano	Ecuador	0.9	0.5	0.2	0.05	0.1	0.85
E2	Academico Universidad Catolica de Cuenca	Ecuatoriano	Ecuador	0.8	0.5	0.3	0.1	0.1	1
E3	Academico Universidad Politecnica Salesiana	Ecuatoriana	Ecuador	0.8	0.4	0.2	0.1	0.1	0.8
E4	Academico Universidad de Cuenca	Ecuatoriano	Ecuador	0.8	0.5	0.2	0.05	0.05	0.8
E5	Academico Universidad de Cuenca	Ecuatoriano	Ecuador	0.9	0.5	0.2	0.1	0.1	0.9
E6	Academico Universidad de Cuenca	Ecuatoriano	Ecuador	0.8	0.5	0.2	0.05	0.05	0.8
E7	Academico Universidad Catolica de Cuenca	Ecuatoriano	Ecuador	0.7	0.5	0.3	0.05	0.1	0.95
E9	Academico Universidad del Azuay	Ecuatoriana	Ecuador	0.8	0.4	0.2	0.1	0.1	0.8
E10	Academico Universidad tecnica particular de Loja	Ecuatoriano	Ecuador	0.8	0.5	0.3	0.1	0.1	1
E11	Area Ambiental de Peru	Peruano	Peru	0.8	0.5	0.3	0.1	0.1	1
E12	Tecnico de laboratorio (HYDROLAB)	Ecuatoriana	Ecuador	1	0.5	0.2	0.05	0.1	0.85
E12	Administrador de Control de Operaciones de ETAPA y Docente Universitario	Ecuatoriana	Ecuador	0.8	0.5	0.2	0.05	0.1	0.85

En la Tabla 26, se detalla la participación de 12 especialistas en el tema. En ella se describe su perfil académico, nacionalidad y profesión, obtenidos mediante encuestas realizadas a los expertos. Asimismo, se muestra la autoevaluación de cada uno en una escala de 0 a 10, en relación al tema de estudio. La tabla también incluye los resultados de la ponderación de factores en función del grado de conocimiento, que abarca la experiencia, el conocimiento, la intuición y los estudios de los especialistas. Se puede observar los resultados del coeficiente de argumentación (ka), los cuales varían entre un rango de 0.55 a 1.

Adicionando los valores de los Coeficientes de Conocimiento y calculando a través de la expresión anteriormente citada, se obtuvo el Coeficiente de Competencia Experta K indicado en la tabla 27.

*Tabla 27. Obtención del Índice de Competencia Experta (K).  
Fuente: Elaboración propia*

Codigo	Autovaloracion	Kc	ka	k	Valoracion
E1	9	0.90	0.85	0.88	CUMPLE
E2	8	0.80	1.00	0.90	CUMPLE
E3	8	0.80	0.80	0.80	CUMPLE
E4	8	0.80	0.80	0.80	CUMPLE
E5	9	0.90	0.90	0.90	CUMPLE
E6	8	0.80	0.80	0.80	CUMPLE
E7	7	0.70	0.95	0.83	CUMPLE
E9	8	0.80	0.80	0.80	CUMPLE
E10	8	0.80	1.00	0.90	CUMPLE
E11	8	0.80	1.00	0.90	CUMPLE
E12	10	1.00	0.85	0.93	CUMPLE
E13	7	0.70	0.55	0.63	NO CUMPLE
E14	8	0.80	0.78	0.73	NO CUMPLE
E15	8	0.80	0.75	0.70	NO CUMPLE

No existe un conceso crítico exigible para la valoración de rangos, sin embargo, en el presente objeto de estudio se considerará a aquellos expertos que en el Coeficiente de Competencia Experta (K) alcanzaron un valor de 0.8.

La participación de 15 expertos se puede visualizar en la Tabla 27, de los cuales 12 han cumplido con los criterios necesarios para avanzar a la siguiente etapa. De los expertos seleccionados, 6 son académicos especializados en el campo de la Ingeniería Civil; 1 pertenece a la entidad gubernamental del servicio a la ciudadanía ETAPA y 5 se desempeñan en el área académica de las diferentes universidades de la ciudad de Cuenca y Azogues. En el ámbito de Ingeniería Ambiental se cuenta con 6 profesionales; 5 personas trabajan en el campo académico de diferentes universidades en la ciudad de Cuenca y Loja y 1 profesional académico residente en el exterior.

#### **4.7. Resultados del índice propio basado en un proceso de jerarquía analítica (AHP)**

En esta sección se muestran los resultados obtenidos para la creación del propio índice de los ríos Zhamzham y Pucuhuayco basado en el proceso de jerarquía analítica.

## Resultados de la estructuración de una jerarquía

La Figura 34 muestra el resultado de la organización de la jerarquía, teniendo en cuenta los parámetros elegidos previamente. En el gráfico se puede ver que el AHP tiene un solo nivel de jerarquía que representa el objetivo general y está compuesto por los 10 parámetros seleccionados. Como objetivo general y en el nivel superior de la jerarquía está la determinación de los pesos de los parámetros de calidad del agua para el índice de calidad de los ríos Zhamzham y Pucuhuayco, mientras que como objetivos específicos y en el nivel inferior se encuentran los parámetros elegidos.



Figura 34. Estructuración de la jerarquía para la determinación de los pesos del AHP.  
Fuente: Elaboración propia.

## Resultados de la obtención de los pesos mediante la matriz de comparación por pares de los encuestados

Se utilizó el software Expert Choice para calcular los pesos de cada parámetro comparado por pares y luego se sumaron los resultados para obtener el peso final de cada parámetro. Esto se logró aplicando el método de la media geométrica en el software Excel. La Tabla 28 presenta los pesos finales de cada parámetro seleccionado.

*Tabla 28. Obtención de los pesos por cada parámetro seleccionado.  
Fuente: Elaboración propia*

<b>Parametros</b>	<b>Pesos - Ponderaciones</b>
Coliformes fecales	0.1530
DQO	0.1330
DBO	0.1270
Oxígeno disuelto	0.1010
Nitratos	0.0960
pH	0.0940
Solidos suspendidos	0.0840
Fosfatos	0.0730
Turbidez	0.0730
Temperatura	0.0600

La Tabla 28 muestra que el parámetro con el mayor peso fue el coliforme fecal con (0.153), seguido por la Demanda Química de Oxígeno (0.133), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (0.127), el Oxígeno Disuelto (0.101), los Nitratos (0.096), el pH (0.094), los Sólidos Suspendidos (0.084), el Fosfato (0.073), la Turbidez (0.073), y el parámetro con el menor peso fue la Temperatura (0.060).

Es importante mencionar que estas ponderaciones están de acuerdo con los pesos individuales obtenidos de 12 encuestados. Se consideró estos 12 encuestados en vista que la relación de coherencia (C.R) fue menor a 0.10, estos resultados de los pesos individuales se presentan en la tabla 29.

## Pesos de los encuestados con relación de coherencia menor a 0.10

*Tabla 29. Resultados de los pesos individuales de los 12 encuestados que presentaron relación de coherencia menor a 0.10.*

*Fuente: Elaboración propia*

Parametro	Coliformes Fecales	DQO	DBO	Turbidez	Oxigeno disuelto	Solidos suspendidos	Nitratos	pH	Temperatura	Fosfatos	Indice de Inconsistencia (IC)	Relacion de coherencia (C.R)	Verificacion
<b>Experto</b>													
E1	0.17	0.18	0.11	0.08	0.04	0.08	0.16	0.04	0.04	0.11	0.090	0.060	CUMPLE
E2	0.13	0.17	0.20	0.04	0.14	0.03	0.11	0.05	0.03	0.11	0.110	0.074	CUMPLE
E3	0.14	0.14	0.14	0.08	0.14	0.08	0.14	0.04	0.04	0.04	0.002	0.001	CUMPLE
E4	0.19	0.10	0.14	0.05	0.17	0.06	0.11	0.09	0.04	0.04	0.105	0.071	CUMPLE
E5	0.16	0.15	0.13	0.08	0.12	0.06	0.05	0.11	0.12	0.03	0.140	0.094	CUMPLE
E6	0.21	0.06	0.07	0.03	0.08	0.17	0.12	0.12	0.05	0.09	0.110	0.074	CUMPLE
E7	0.17	0.20	0.14	0.09	0.06	0.09	0.11	0.04	0.04	0.07	0.070	0.047	CUMPLE
E8	0.13	0.14	0.14	0.07	0.13	0.06	0.09	0.07	0.04	0.13	0.130	0.087	CUMPLE
E9	0.12	0.10	0.10	0.06	0.17	0.09	0.03	0.22	0.08	0.02	0.050	0.034	CUMPLE
E10	0.06	0.14	0.11	0.14	0.05	0.12	0.09	0.08	0.10	0.12	0.140	0.094	CUMPLE
E11	0.21	0.13	0.13	0.05	0.04	0.04	0.07	0.21	0.05	0.08	0.013	0.009	CUMPLE
E12	0.16	0.09	0.11	0.12	0.06	0.14	0.08	0.07	0.10	0.06	0.009	0.006	CUMPLE

Como se observa en la tabla 29 y de acuerdo con 12 encuestados los coliformes fecales tienen la mayor ponderación, a este le siguen la DQO y la DBO, se observa que los pesos varían de acuerdo con los encuestados; sin embargo, la temperatura sigue siendo el parámetro que menor peso o importancia le asignan. Los resultados de los pesos de las 12 personas que llenaron la encuesta se pueden ver en el anexo 2. El AHP toma en cuenta la evaluación de la coherencia, en vista de que en la práctica es difícil alcanzar un juicio 100 % coherente, con esto se garantiza que las comparaciones por pares estén dentro de un rango de coherencia aceptable.

### 4.8. Calidad del agua del río Pucuhuayco aplicando el índice propio

Una vez obtenido los pesos de los parámetros de todos los encuestados y el valor del sub índice, se calculó el índice de calidad del agua de este río como se muestra en la tabla 34 para las estaciones seleccionadas y en los 3 meses de análisis. Y en la tabla 30 se presenta el grado o estado de contaminación de las diferentes estaciones de monitoreo con sus respectivos colores.

*Tabla 30. Resultados de la calidad del agua del río Pucuhuayco con el índice propio – todos los meses.  
Fuente: Elaboración propia*

ICA PROPIO - RIO PUCUHUAYCO			
ESTACION	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
M9	47	51	53
M3	44	50	52
M10	50	55	63
M4	41	43	55
M7	42	54	54
M5	49	47	45

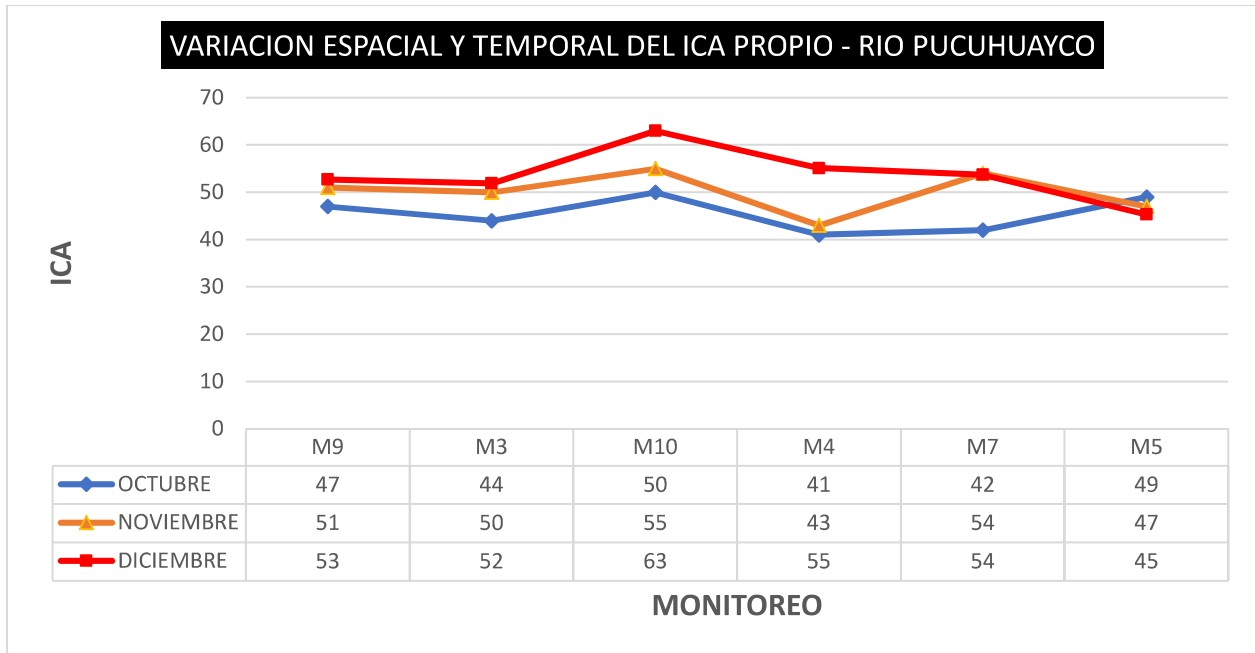
*Tabla 31. Rangos y descripción del estado de contaminación del ICA.  
Fuente: Elaboración propia*

RANGO	COLOR	DESCRIPCION
51 -70		Medio
26- 50		Mala

Se evidencia que el estado en el que se encuentra las estaciones según el índice propio es “Mala” para el mes de octubre ( 47, 44, 50, 41, 42 y 49). En el mes de noviembre y diciembre la calidad varía entre “Medio” y “Mala” (51, 50, 55, 43, 54, y 47) y (53, 52, 63, 55, 54 y 45).

#### **4.8.1 Variación del índice ICA – Río Pucuhuayco**

En la Figura 35 se presenta el comportamiento del ICA que describe el cuerpo de agua, en cada una de las estaciones en los 3 monitoreo realizados.



*Figura 35. Variación espacial y temporal del río Pucuhuayco.  
Fuente: Elaboración propia.*

En la Figura 35 se refleja la variabilidad espacial a la que está sometido el ICA, reflejando una tendencia constante a creciente en las estaciones 9 y 3. Sin embargo, decrece en la estación 10 para todos los meses, debido a una baja calidad de agua a la que se encuentra sometida esta zona de estudio. En la estación 7 la tendencia crece para los meses de octubre y noviembre, y en diciembre decrece debido a varios factores ya sean sociales, culturales, entre otros. Finalmente, depositan sus aguas en la estación 5, y su tendencia varía debido a la confluencia que tiene con el río Zhamzham en ese punto.

#### **4.8.2 Relación del caudal y el ICA**

En las Figuras 36, 37 y 38 se representa la tendencia de cambio del ICA con respecto a los caudales medidos en los 6 puntos.

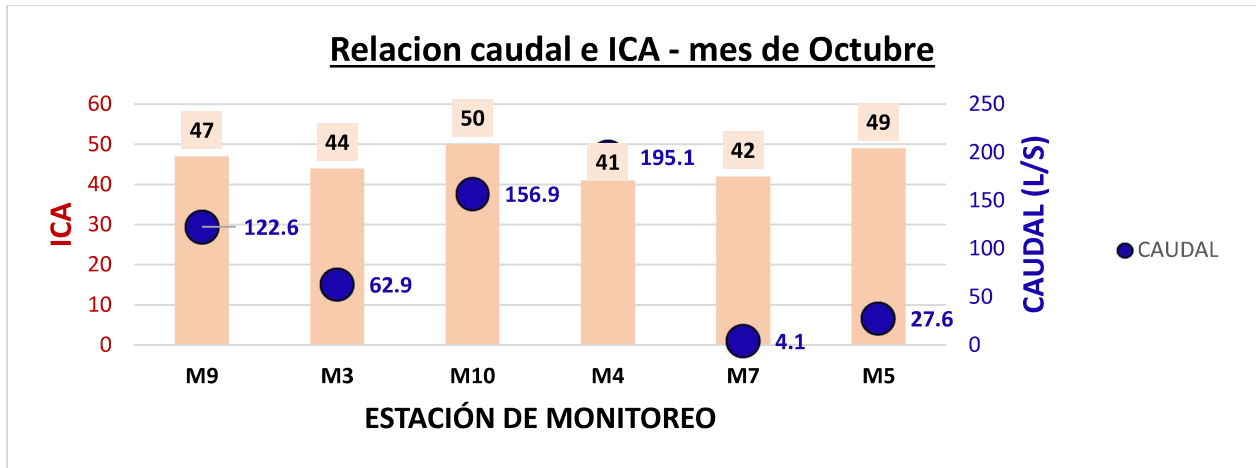


Figura 36. Relación de caudal e ICA – río Pucuhuayco.  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 36 se puede observar la relación que tiene el caudal con el ICA. Se evidencia que en todas las estaciones la calidad del agua es “mala” con valores de 41 a 50, siendo el caudal mínimo 4.1 y el máximo 195.1 lts/seg.

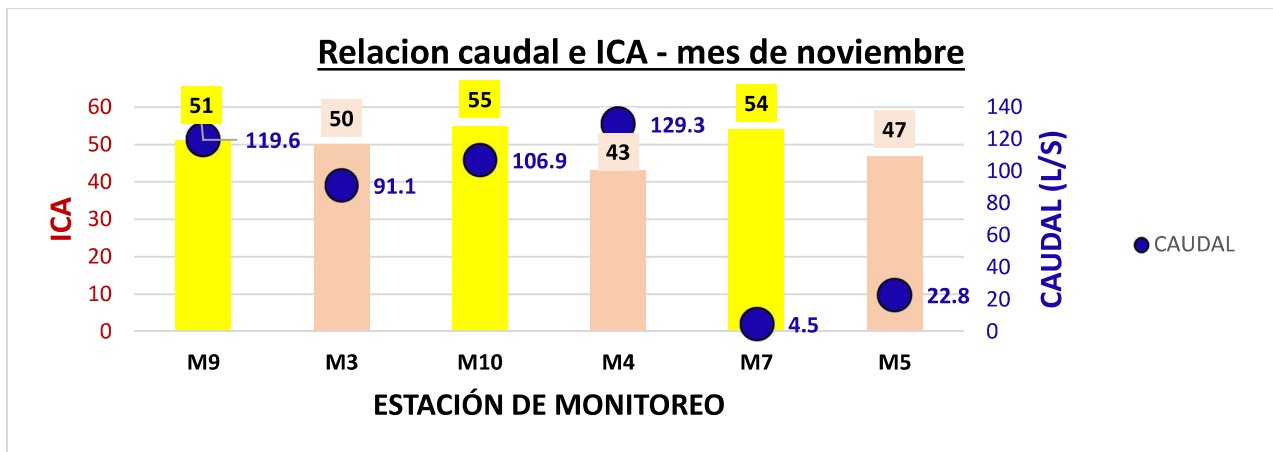


Figura 37. Relación de caudal e ICA – río Pucuhuayco.  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 37 se puede observar que la calidad varía entre “mala” y “regular” con valores que van desde 43 a 55, siendo el caudal mínimo 4.5 y el máximo 129.3 lts/seg.

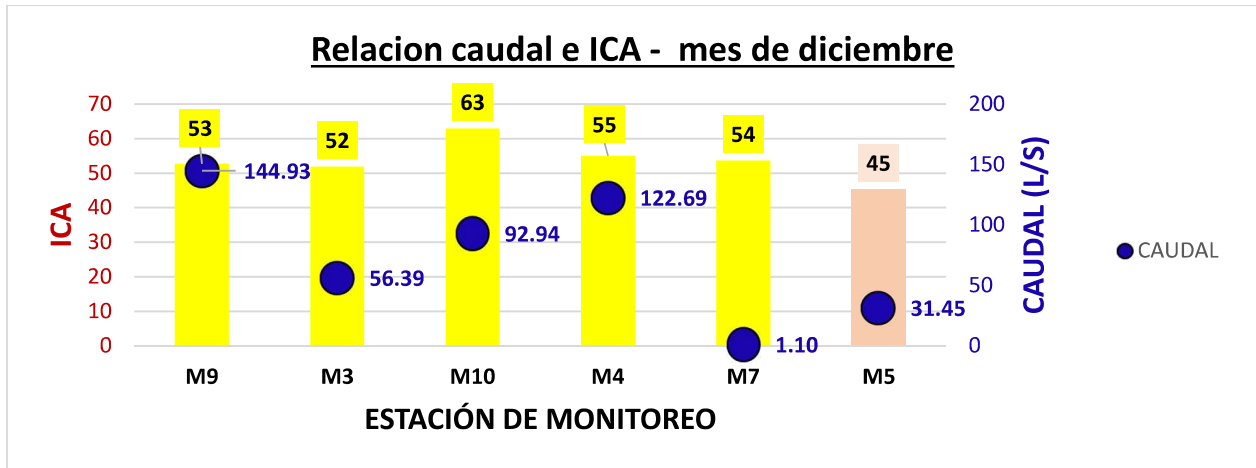


Figura 38. Relación de caudal e ICA – río Pucuhuayco.  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 38 se puede observar que la calidad varía entre “regular” a “mala” con valores que van desde 43 a 55, siendo el caudal mínimo 1.1 y el máximo 144.9 lts/seg.

#### 4.8.3 Resultados de la comparación de los muestreos realizados con la legislación ecuatoriana vigente

De acuerdo a la legislación ecuatoriana vigente se realiza una comparación de acuerdo a los criterios que establece el “ACUERDO MINISTERIAL 097-A”. Donde se hace una verificación con respecto a los “Criterios de Calidad Admisibles para la Preservación de la Vida Acuática y Silvestre en Aguas Dulces” y en la tabla 32 se presenta el resumen del cumplimiento de estos parámetros.

*Tabla 32. Resultados de la comparación con la normativa actual vigente – río Pucuhuayco.  
Fuente: Elaboración propia*

CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA EN AGUAS DULCES - RIO PUCUHUYCO												
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) - (mg/l)			Demanda Química de Oxígeno (DQO) - (mg/l)			Nitratos - (mg/l)			Oxígeno disuelto (%)		
Valor máximo permisible	20			40			13			>80		
ESTACION	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
9	70	41.85	13.7	242	140.5	39	1.7	2.3	7.2	33.0	11.7	10.0
3	22.2	33.9	45.6	49	48.5	48	1.4	4.5	5.3	16.7	7.1	1.8
10	9.2	7	4.8	32	20	8	2.3	9.5	5.2	22.1	4.5	0.8
4	38.2	20.5	2.8	61	78	95	7.8	7.8	8.1	0.0	0.0	0.0
7	60	46	32	207	124	41	14.4	4.6	1.1	187.6	32.4	33.1
5	51.7	35	18.3	103	76.5	50	13	6	12.0	249.8	28.5	9.2

Amarillo	Supera el límite máximo permisible
----------	------------------------------------

Se puede observar que en el mes de octubre en las estaciones 9, 3, 4 los parámetros de DBO5, DQO y oxígeno disuelto, sobrepasan los valores máximos permisibles. En las estaciones 7 y 5 en este mismo mes se puede evidenciar que la DBO y DQO están en altos niveles a excepción del oxígeno disuelto. Además, se puede observar que los nitratos permanecen dentro del rango para todos los meses.

#### 4.8.4 Usos del recurso según el ICA general

El uso del recurso según el Índice de Calidad de Agua (ICA) se describirá en esta sección como se observa en la tabla 33.

*Tabla 33. Estado de clasificación del ICA en base a los usos que se le asigna al recurso.  
Fuente: Elaboración propia*

ESCALA DE CLASIFICACION DEL ICA EN BASE A LOS USOS QUE SE PUEDE DAR AL RECURSO - RIO PUCUHUYACO							
ESTACION	MESES	ICA PROPIO	CRITERIO GENERAL	ABASTECIMIENTO O PUBLICO	RECREACION	PESCA Y VIDA ACUATICA	INDUSTRIA AGRICOLA
M9	Octubre	47	Poco contaminada	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable no recomendable	Dudoso para especies sensibles	Utilizable en la mayoría de los cultivos
	Noviembre	51					
	Diciembre	53					
M3	Octubre	44	Contaminada	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo organismos muy resistentes	Tratamiento requerido para la mayoría de cultivos
	Noviembre	50					
	Diciembre	52					
M10	Octubre	50	Poco contaminada	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable no recomendable	Dudoso para especies sensibles	Utilizable en la mayoría de los cultivos
	Noviembre	55					
	Diciembre	63					
M4	Octubre	41	Contaminada	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo organismos muy resistentes	Tratamiento requerido para la mayoría de cultivos
	Noviembre	43					
	Diciembre	55					
M7	Octubre	42	Poco contaminada	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable no recomendable	Dudoso para especies sensibles	Utilizable en la mayoría de los cultivos
	Noviembre	54					
	Diciembre	54					
M5	Octubre	49	Contaminada	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo organismos muy resistentes	Tratamiento requerido para la mayoría de cultivos
	Noviembre	47					
	Diciembre	45					

Como se muestra en la tabla 33 para el río Pucuhuayco en las estaciones de monitoreo 9, 10 y 7 se requiere una mayor necesidad de tratamiento para el abastecimiento público, para la recreación no es aceptable, para la pesca y vida acuática es dudoso para especies sensibles y para el riego agrícola es utilizable en la mayoría de cultivos. Mientras que para las estaciones 3, 4 y 5 el agua se encuentra en un estado contaminado, lo que no es aceptable para ningún tipo de recurso.

#### **4.9. Calidad del agua del río Zhamzham aplicando el índice propio**

En la Tabla 34 se muestra el valor del ICA propio para el río Zhamzham para los meses de octubre, noviembre y diciembre y a su vez en la tabla 41 el grado o estado de contaminación en las estaciones de monitoreo.

*Tabla 34. Resultados de la calidad del agua del río Zhamzham con el índice propio – todos los meses.  
Fuente: Elaboración propia*

ICA PROPIO - RIO ZHAMZHAM			
ESTACION	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
M8	57	57	56.7
M1	46	54	62.4
M11	40	35	33.7
M2	48	36	35.9
M6	47	50	45.4
M5	49	47	45.3

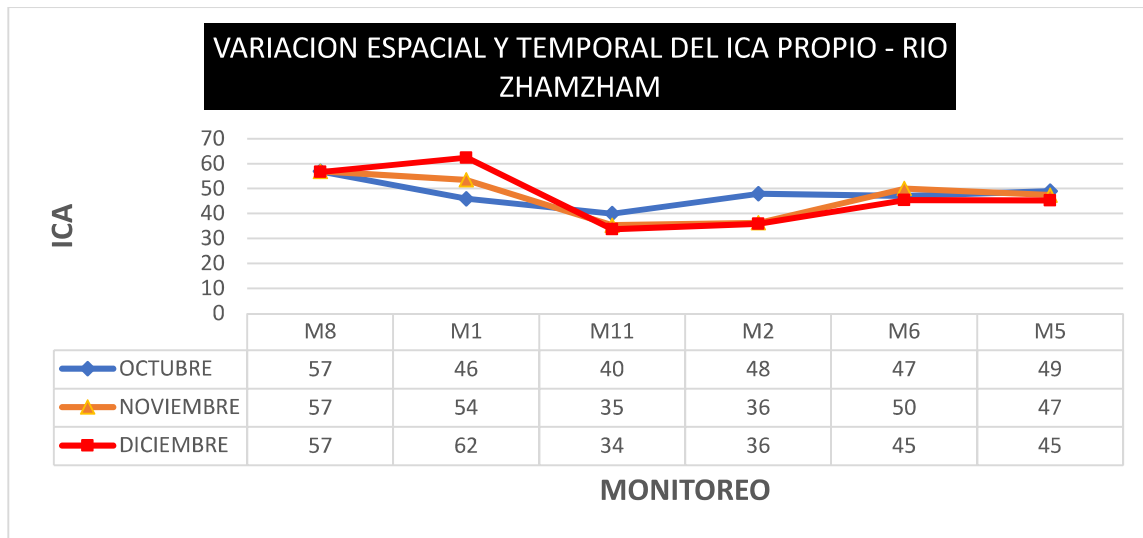
*Tabla 35. Rangos y descripción del estado de contaminación del ICA.  
Fuente: Elaboración propia*

RANGO	COLOR	DESCRIPCION
51 -70		Medio
26- 50		Mala

En la Tabla 34 se evidencia que el estado en el que se encuentra las estaciones según el índice propio es “Medio” a “Mala” para el mes de octubre ( 57, 44, 50, 41, 42 y 49) conforme van recorriendo sus estaciones. En el mes de noviembre y diciembre la calidad varia entre “Medio” y “Mala” para las estaciones 8 y 1 (57 y 55) , (57 y 62). Sin embargo en el resto de estaciones la calidad se mantiene mala (35, 36, 50, 47 ) y ( 34, 36, 45 y 45 ).

#### **4.9.1 Variación del índice ICA – Río Zhamzham**

En la figura 39 se presenta el comportamiento del ICA que describe el cuerpo de agua, en cada una de las estaciones en los 3 monitoreo realizados.



*Figura 39. Variación espacial y temporal del río Zhamzham  
Fuente: Elaboración propia*

En la figura 39 también se puede observar como el ICA varía espacialmente, con una tendencia decreciente en la estación 11 y constante en la 2 debido a que las aguas de este río ya entran en la zona urbana de la ciudad, afectando la calidad debido al gran número de descargas que son depositadas en el mismo. Y en las estaciones 5 y 6 se mantiene una tendencia constante a lo largo de estos meses.

#### **4.9.2 Relación del caudal y el ICA**

En las Figuras 40, 41 y 42 se observa el comportamiento que presenta este índice con respecto a los caudales.

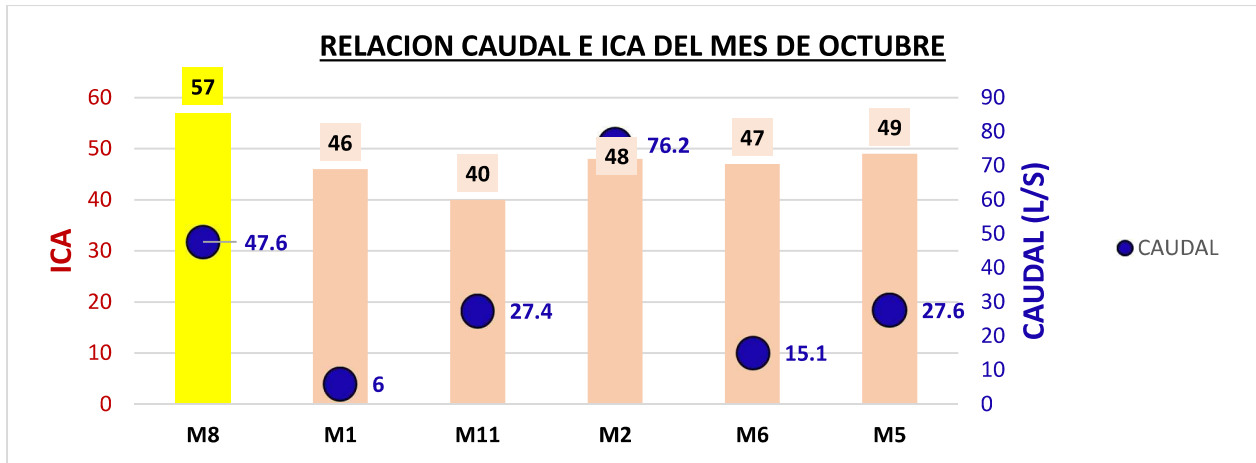


Figura 40. Relación de caudal e ICA – río Zhamzham.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 40 se puede observar la relación que tiene el caudal con el ICA. Se evidencia que en todas las estaciones la calidad del agua varía entre “regular” a “mala” con valores de 40 a 57, siendo el caudal mínimo 6 y el máximo 76.2 lts/seg.

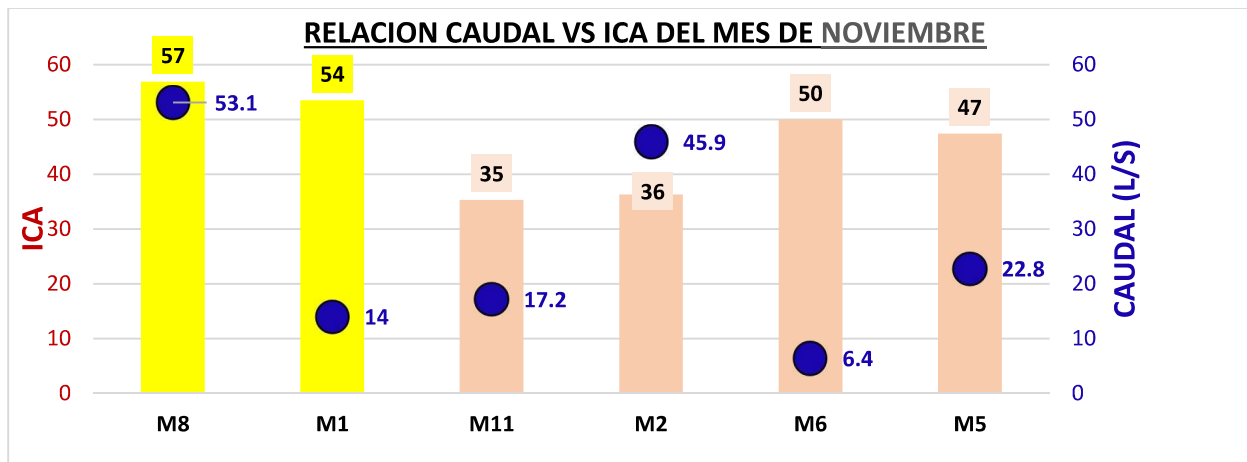


Figura 41. Relación de caudal e ICA – río Zhamzham.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 41 se puede observar la relación que tiene el caudal con el ICA. Se evidencia que en todas las estaciones la calidad del agua varía entre “regular” a “mala” con valores de 35 a 54, siendo el caudal mínimo 6.4 y el máximo 53.1 lts/seg.

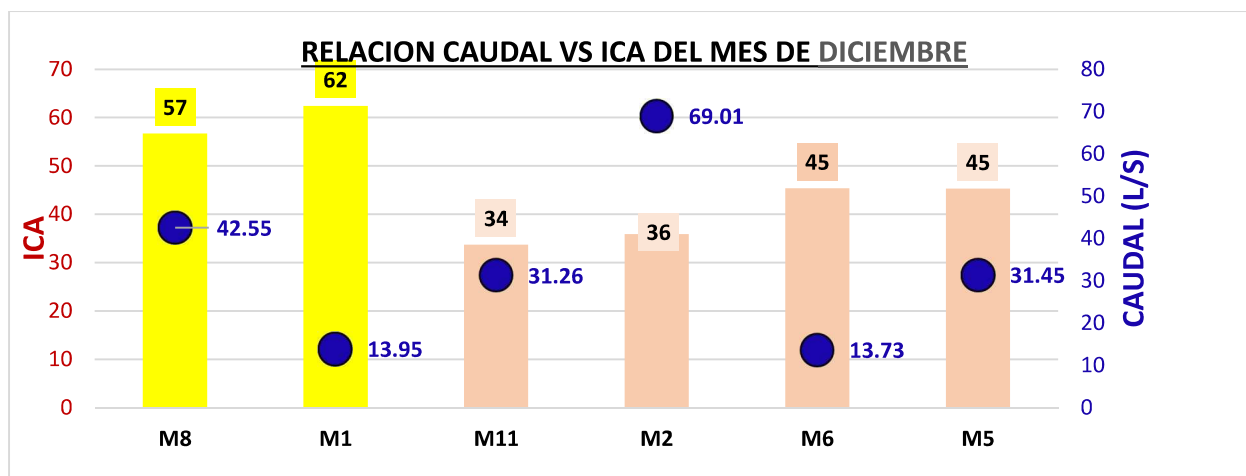


Figura 42. Relación de caudal e ICA – río Zhamzham.  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 42 se puede observar la relación que tiene el caudal con el ICA. Se evidencia que en todas las estaciones la calidad del agua varía entre “regular” a “mala” con valores de 34 a 62, siendo el caudal mínimo 13.73 y el máximo 62 lts/seg.

En el anexo 6, se puede observar los mapas de los dos ríos con el nivel de contaminación en cada punto.

#### 4.10. Resultados de la comparación de los muestreos realizados con la legislación ecuatoriana vigente

De acuerdo a la legislación ecuatoriana vigente se realiza una comparación de acuerdo a los criterios que establece el “ACUERDO MINISTERIAL 097-A”. Donde se hace una verificación con respecto a los “Criterios de Calidad Admisibles para la Preservación de la Vida Acuática y Silvestre en Aguas Dulces” y en la tabla 36 se presenta el resumen del cumplimiento de estos parámetros.

*Tabla 36. Criterios de calidad admisible de la vida acuática – río Zhamzham*  
*Fuente: Elaboración propia*

CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA EN AGUAS DULCES - RIO ZHAMZHAM												
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) - (mg/l)			Demanda Química de Oxígeno (DQO) - (mg/l)			Nitratos - (mg/l)			Oxígeno disuelto (%)		
Valor máximo permisible	20			40			13			>80		
ESTACION	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
8	7.6	11.9	16.2	27	27	27	0.3	4.9	2.7	12.8	0	8.0
1	13.5	9	4.5	47	34.5	22	4	15.2	4.8	0.9	0	9.8
11	31	81.9	76.5	107	132	222	10.4	22.4	23.0	0	25.7	6.7
2	76.8	59	51	153	142	216	14.3	22.2	18.5	98.5	32.6	9.0
6	63	47.5	32	231	142	53	15.2	2.4	11.1	133.7	10.7	9.1
5	51.7	35	18.3	103	76.5	50	13	6	12.0	249.8	28.5	9.2

Amarillo	Supera el límite máximo permisible
----------	------------------------------------

Se puede notar que en las estaciones 8 y 1, el oxígeno disuelto supera los valores permitidos en todos los meses. Además, en las estaciones 11, 2, 6 y 5 se puede ver que la DBO5 y DQO no cumplen con los estándares establecidos por la normativa. Finalmente, se puede apreciar que el oxígeno disuelto y nitratos en las estaciones 11 y 2 no cumplen los requisitos excepto en el mes de octubre.

#### 4.10.1 Usos del recurso según el ICA general

A continuación, se muestra en la tabla 37 los usos que se le puede asignar al recurso en el río Zhamzham.

*Tabla 37. Estado de clasificación del ICA en base a los usos que se le asigna al recurso.  
Fuente: Elaboración propia*

ESCALA DE CLASIFICACION DEL ICA EN BASE A LOS USOS QUE SE PUEDE DAR AL RECURSO - RIO ZHAMZHAM							
ESTACION	MESES	ICA PROPIO	CRITERIO GENERAL	ABASTECIMIENTO PUBLICO	RECREACION	PESCA Y VIDA ACUATICA	INDUSTRIA AGRICOLA
M8	Octubre	57	Poco contaminada	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable no recomendable	Dudoso para especies sensibles	Utilizable en la mayoría de los cultivos
	Noviembre	57					
	Diciembre	57					
M1	Octubre	46	Poco contaminada	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable no recomendable	Dudoso para especies sensibles	Utilizable en la mayoría de los cultivos
	Noviembre	54					
	Diciembre	62.4					
M11	Octubre	40	Contaminada	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo organismos muy resistentes	Tratamiento requerido para la mayoría de cultivos
	Noviembre	35					
	Diciembre	34					
M2	Octubre	48	Contaminada	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo organismos muy resistentes	Tratamiento requerido para la mayoría de cultivos
	Noviembre	36					
	Diciembre	36					
M6	Octubre	47	Contaminada	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo organismos muy resistentes	Tratamiento requerido para la mayoría de cultivos
	Noviembre	50					
	Diciembre	45.4					
M5	Octubre	49	Contaminada	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo organismos muy resistentes	Tratamiento requerido para la mayoría de cultivos
	Noviembre	47					
	Diciembre	45					

Como se muestra en la tabla 37 para el río Zhamzham en las estaciones de monitoreo 8 y 1 se requiere una mayor necesidad de tratamiento para el abastecimiento público, para la recreación no es aceptable, para la pesca y vida acuática es dudoso para especies sensibles y para el riego agrícola es utilizable en la mayoría de cultivos. Mientras que para las estaciones 11, 2, 6 y 5 el agua se encuentra en un estado contaminado, lo que no es aceptable para ningún tipo de recurso.

#### **4.11. Comparación del índice propio con el NSF**

Se determinó la calidad del agua de los ríos Pucuhuayco y Zhamzham a través del índice NSF, y los resultados para cada estación de monitoreo y en los meses correspondientes se presentan en las tablas 38 y 39.

*Tabla 38. Relación de caudal e ICA – río Zhamzham.  
Fuente: Elaboración propia*

ICA NSF - RIO PUCUHUAYCO			
ESTACION	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
M9	56	58	57
M3	51	55	57
M10	55	58	60
M4	41	48	56
M7	47	59	60
M5	54	53	50

En la tabla 38 se puede observar los datos de calidad del agua del índice NSF, donde se evidencia que en las estaciones 9, 3 y 10 la calidad del agua es regular y en las estaciones 4, 7 y 5 la calidad es mala.

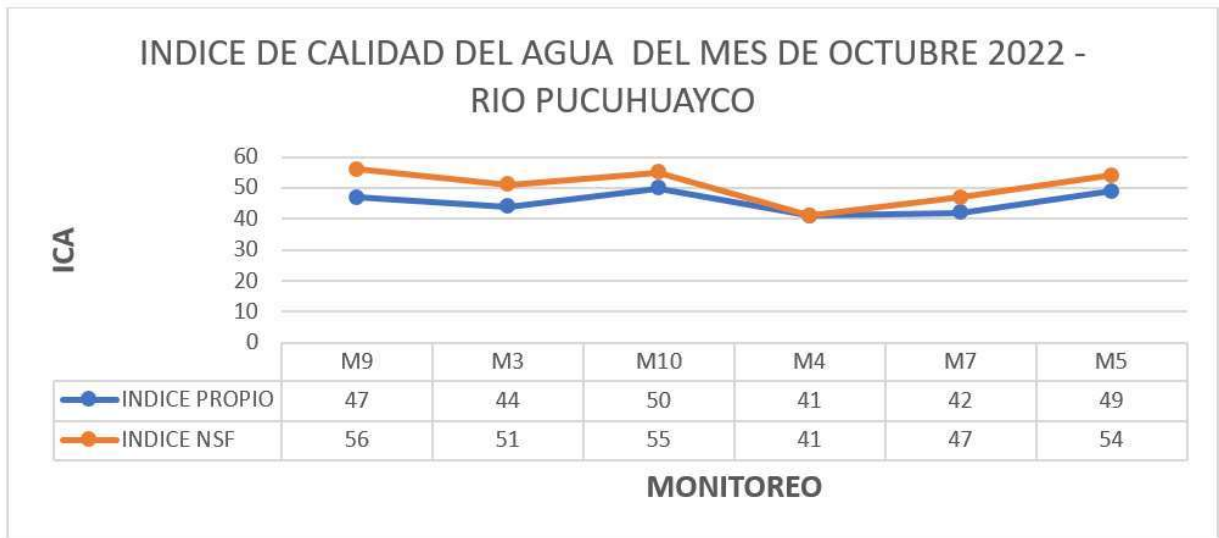
*Tabla 39. Relación de caudal e ICA – río Zhamzham.  
Fuente: Elaboración propia*

ICA NSF - RIO ZHAMZHAM			
ESTACION	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
M8	60	58	59
M1	49	56	62
M11	44	41	37
M2	55	41	40
M6	57	57	50
M5	54	53	50

En la tabla 39 se puede observar los datos de calidad del agua del índice NSF, donde se evidencia que en la estación 8 la calidad del agua es regular y en las estaciones 1, 11, 2, 6 y 5 la calidad es mala.

### **Río Pucuhuayco**

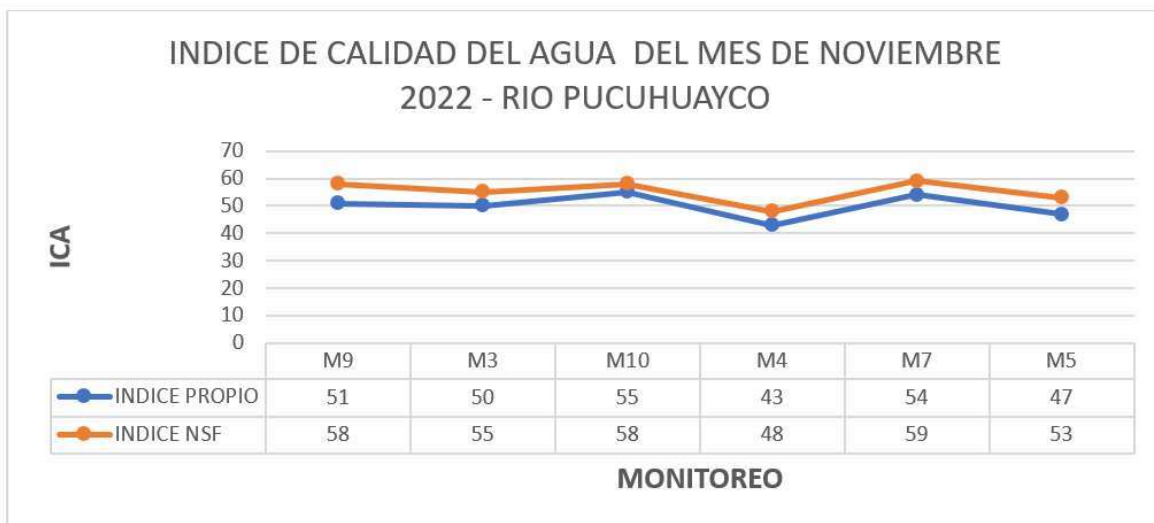
En las Figuras 43, 44 y 45 se presenta la comparación del índice propio con el NSF en los diferentes meses de monitoreo.



*Figura 43. Relación de caudal e ICA – rio Pucuhuayco.*

*Fuente: Elaboración propia*

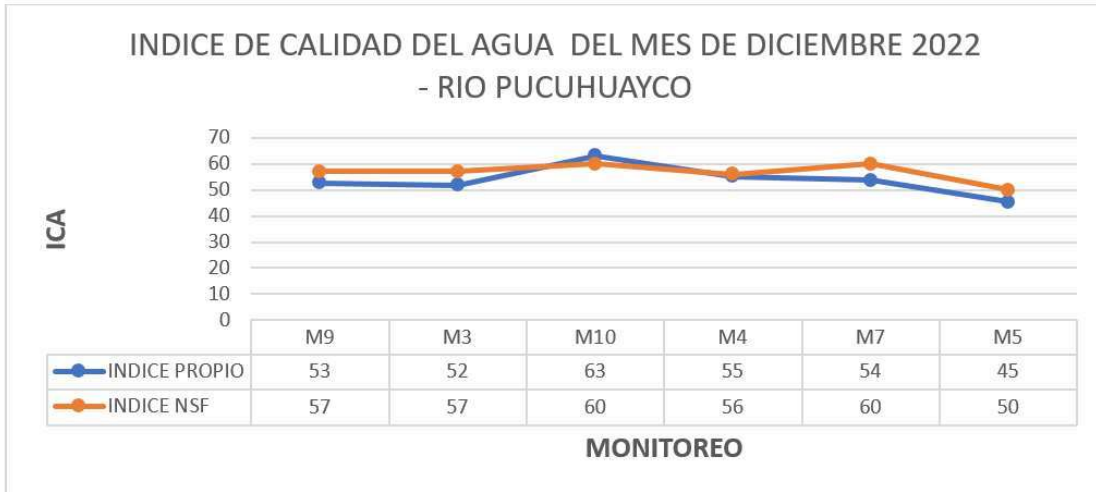
En la figura 43 se puede observar la relación estrecha que tienen estos dos índices, coincidiendo exactamente en la estación 4. También se muestra una diferencia máxima de 9 puntos en la estación 9, lo que conlleva de una calidad mala a regular.



*Figura 44. Relación de caudal e ICA – rio Pucuhuayco.*

*Fuente: Elaboración propia*

En la figura 44 se puede observar una diferencia máxima de 7 puntos en la estación 9. Sin embargo, en los 2 índices la calidad varía de mala a regular para todas las estaciones.

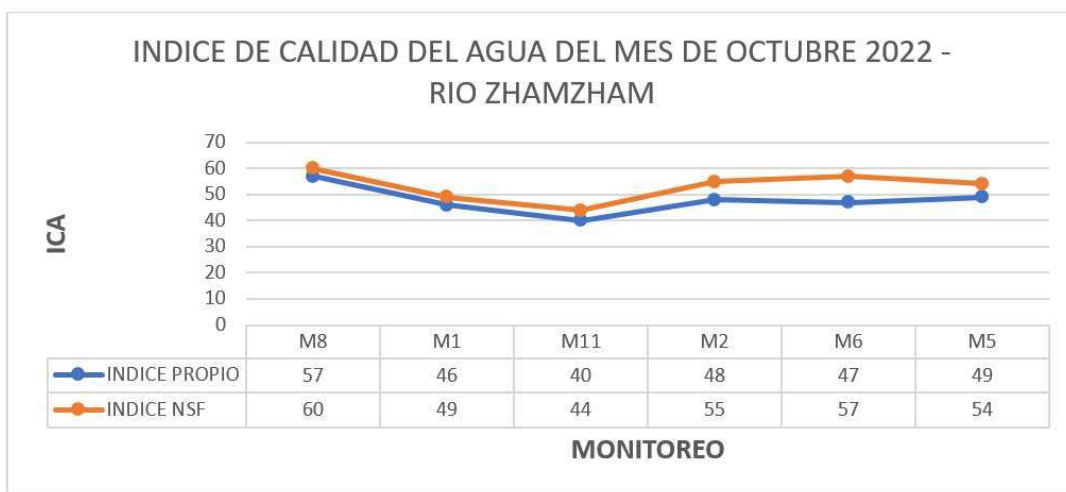


*Figura 45. Relación de caudal e ICA – rio Pucuhuayco.  
Fuente: Elaboración propia*

En la figura 45 se puede observar una diferencia máxima de 5 puntos en la estación 5. Sin embargo, en los 2 índices la calidad varía de mala a regular para todas las estaciones.

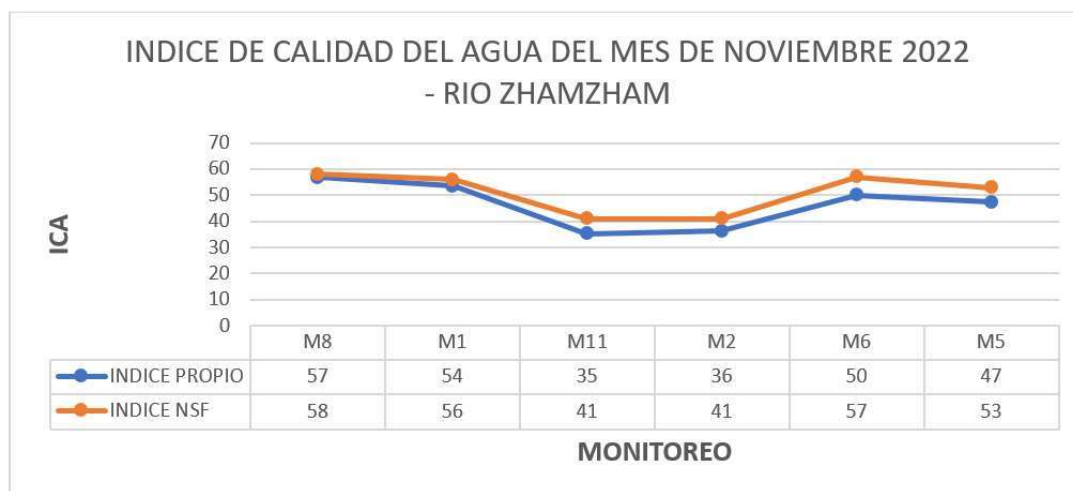
### **Rio Zhamzham.**

En las Figuras 46, 47 y 48 se presenta la comparación del índice propio con el NSF en los diferentes meses de monitoreo.



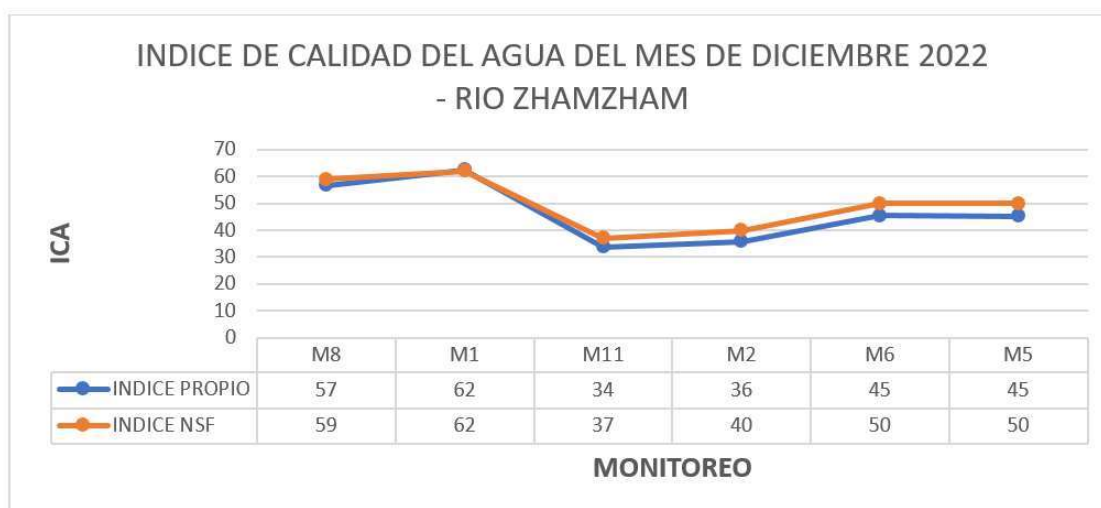
*Figura 46. Relación de caudal e ICA – rio Zhamzham.  
Fuente: Elaboración propia*

En la figura 46 se puede observar una diferencia máxima de 10 puntos en la estación 6. Sin embargo, en los 2 índices la calidad varía de regular a mala para todas las estaciones.



*Figura 47. Relación de caudal e ICA – rio Zhamzham.  
Fuente: Elaboración propia*

En la figura 47 se puede observar una diferencia máxima de 6 puntos en la estación 11. Sin embargo, en los 2 índices la calidad varía de regular a mala para todas las estaciones.



*Figura 48. Relación de caudal e ICA – rio Zhamzham.  
Fuente: Elaboración propia.*

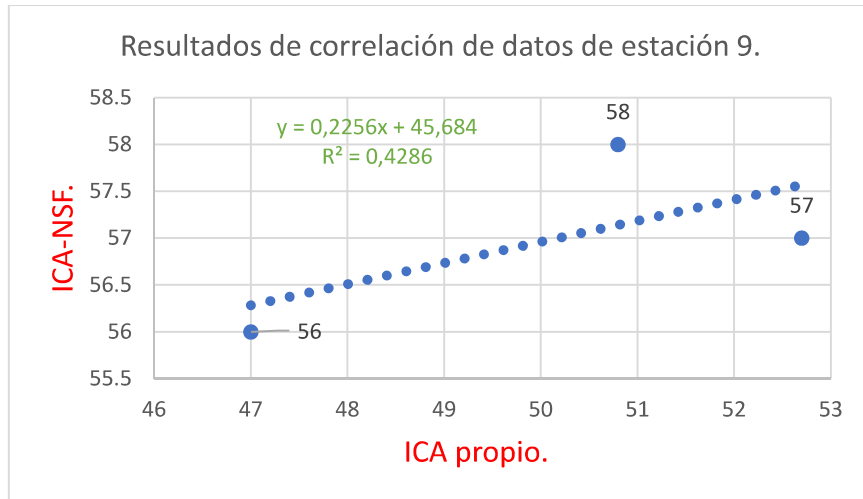
Como se puede observar en las figuras 48, 49 y 50 el índice propio y el índice NSF siguen una tendencia constante en todas las estaciones lo que demuestra que existe una concordancia directa

entre los resultados. La diferencia entre puntos de cada uno hace que el índice NSF, este por encima del valor del ICA propio, como mínimo 1 punto y máximo hasta 10. Sin embargo, en el rango de clasificación estos dos índices guardan una gran relación debido a que la calidad del agua sigue siendo “Mala” y “Media” para estos puntos.

#### **4.12. Correlación de datos del índice propio y NSF**

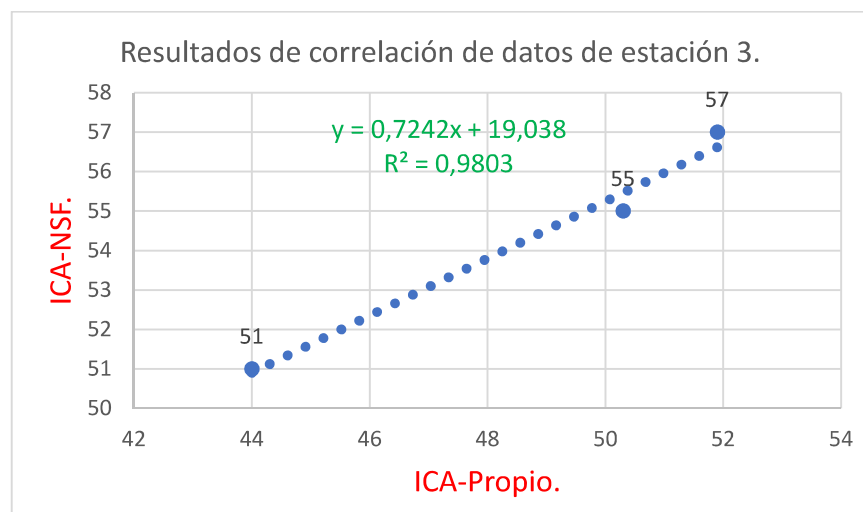
Ya que se toma una base de sustentación del índice de calidad de agua formulado por (NSF) se procede a analizar la correlación de datos por el factor de correlación ( $R^2$ ), para estimar la cercanía de los datos en base a la varianza, en el tiempo que se realizaron los estudios, se debe tener una correlación de al menos el 70 %.

Debido a que se están comparando la calidad del agua mediante dos metodologías diferentes, en el presente trabajo se comparará el ICA formulado con el ICA propuesto por el NSF. Además, se tendrá en cuenta que el ICA formulado tiene una relación con el del NSF. Se pretende correlacionar los datos de ambos índices utilizando el coeficiente de comparación  $R^2$ , ya que es el método más conocido para analizar la correlación de dos conjuntos de datos. Para ello, se realizará una gráfica que relacione y describa los dos ICA y la magnitud de su relación en cada estación de monitoreo en los 3 meses de análisis.



**Figura 49.** Correlación de datos – estación 9  
Fuente: Elaboración propia

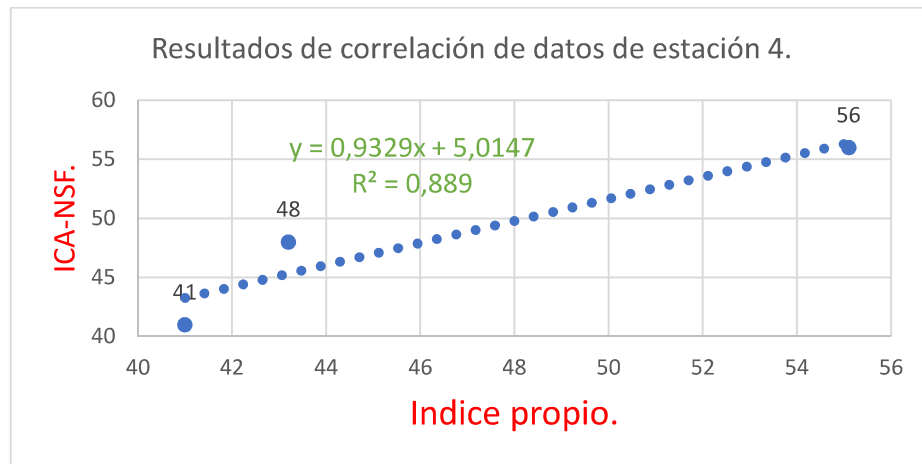
En la Figura 49, se observa la corrección lineal entre el índice NSF y el índice propio. En el eje “X” se ubican el ICA propio y el eje “Y” se representa el índice NSF. Además, se presenta la línea de tendencia, la cual es la recta que relaciona los puntos del gráfico con su respectiva ecuación. Para la estación de monitoreo 9, se tiene un coeficiente de correlación  $R^2$  de 0,4286, el cual indica una correlación baja.



**Figura 50.** Correlación de datos – estación 3  
Fuente: Elaboración propia

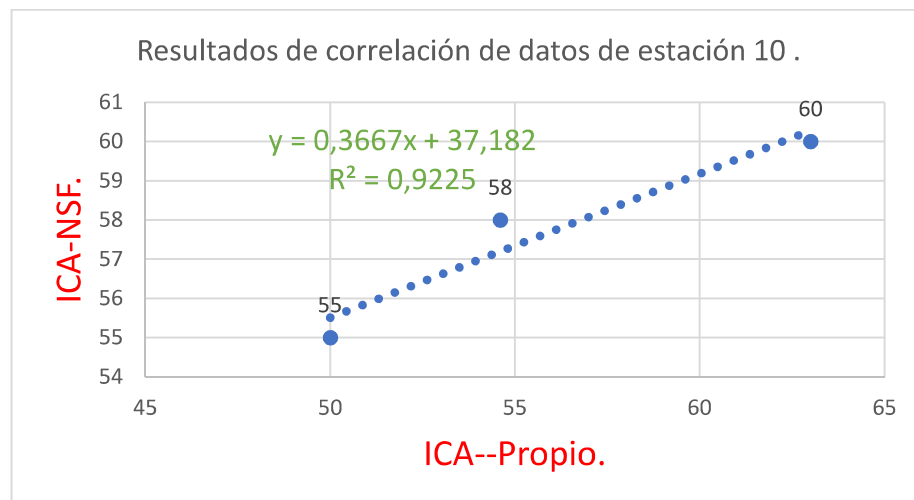
En la Figura 50 se presenta el gráfico que muestra el valor del ICA propio en relación al ICA NSF, donde se obtuvo un coeficiente de correlación  $R^2$  de 0.9806. Este valor indica que los valores del

ICA propio y del NSF son muy cercanos entre sí a lo largo del periodo de análisis. Además, se incluye la línea de tendencia, que es la recta que relaciona los puntos del gráfico y su respectiva ecuación.



*Figura 51. Correlación de datos – estación 4*  
*Fuente: Elaboración propia*

La Figura 51 presenta el gráfico que muestra la correlación lineal en la estación de monitoreo número 4. Se obtuvo un coeficiente de correlación R2 de 0.889, lo cual indica que los valores están fuertemente alineados.



*Figura 52. Correlación de datos – estación 10*  
*Fuente: Elaboración propia*

En la Figura 52 se muestra la correlación existente entre los ICA a lo largo del periodo de análisis. Se obtuvo un coeficiente de correlación R2 de 0.9225, el cual indica que los valores de estos índices están fuertemente alineados en la estación 10 durante el periodo de análisis.

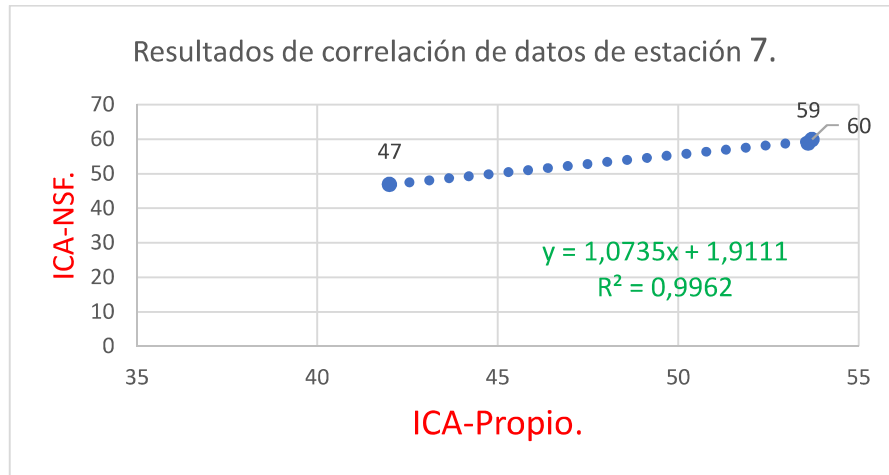


Figura 53. Correlación de datos – estación 7  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 53 se presentan los valores del ICA propio en relación al ICA-NSF, los cuales muestran una correlación lineal con un coeficiente de correlación R2 de 0.9962. Este valor es muy alto y sugiere que los datos recopilados a lo largo de los tres meses están muy fuertemente alineados, ya que el coeficiente de correlación R2 es cercano a 1.

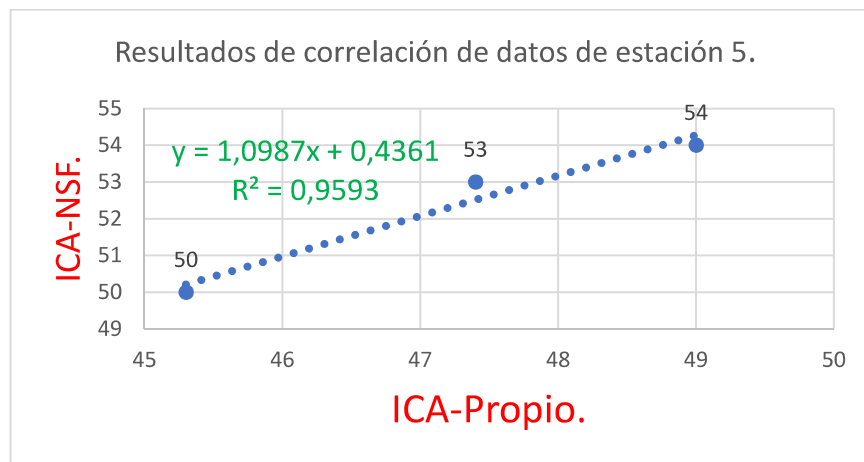


Figura 54. Correlación de datos – estación 5  
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 54 se puede observar una correlación fuerte con un coeficiente  $R^2$  de 0,9962 que indica una relación de valores fuerte, con una línea de tendencia que está muy cercana a los puntos.

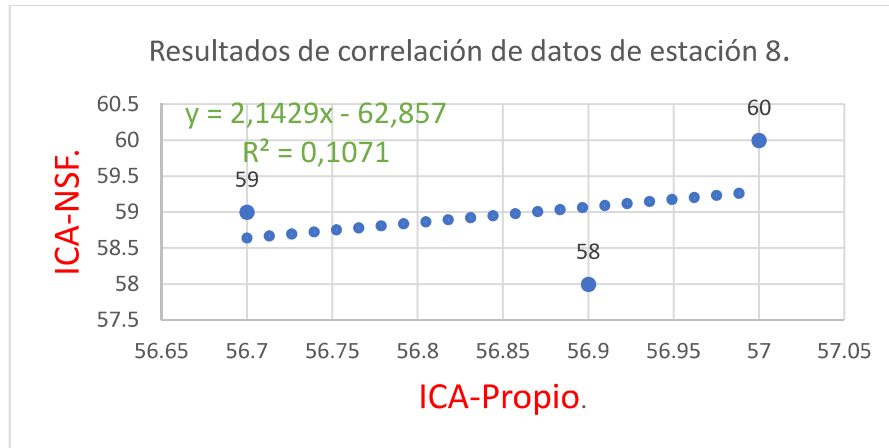


Figura 55. Correlación de datos – estación 8  
Fuente: Elaboración propia

La Figura 55 presenta la correlación lineal, así como la línea de tendencia de los puntos con su respectiva ecuación. En esta estación, se obtuvo una correlación lineal baja con un coeficiente de correlación  $R^2$  de 0.1071, lo que sugiere que la proximidad de los valores es baja.

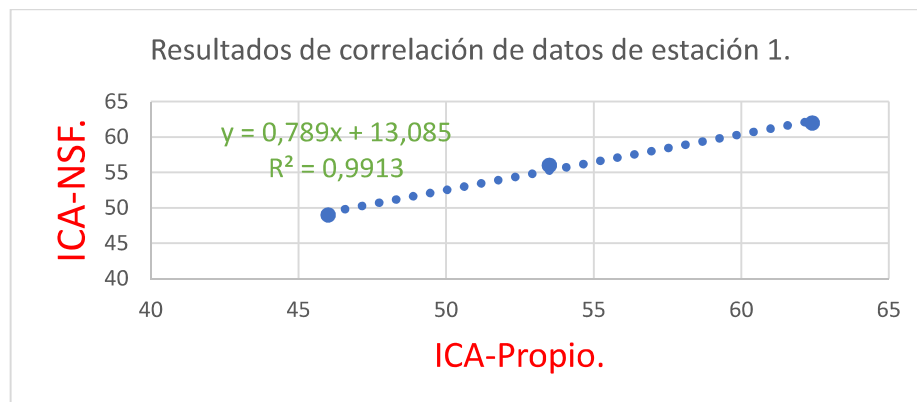
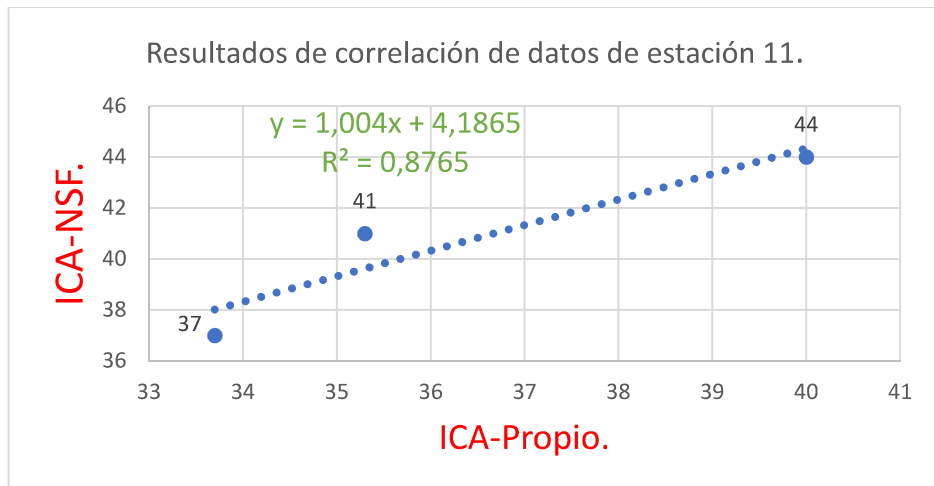


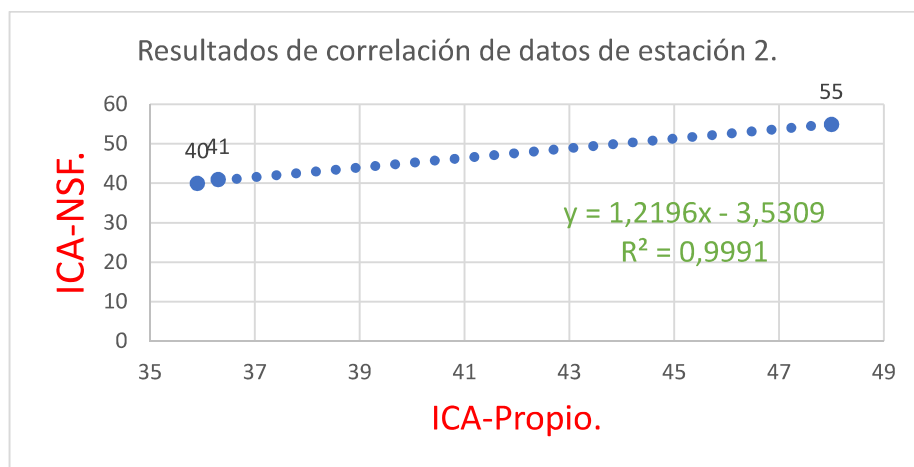
Figura 56. Correlación de datos – estación 1  
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 56 se indica la relación entre los valores de los ICA y se muestra la línea de tendencia con su ecuación de la recta, además del índice de correlación  $R^2$  de 0.9919. Este valor indica que los valores están fuertemente correlacionados.



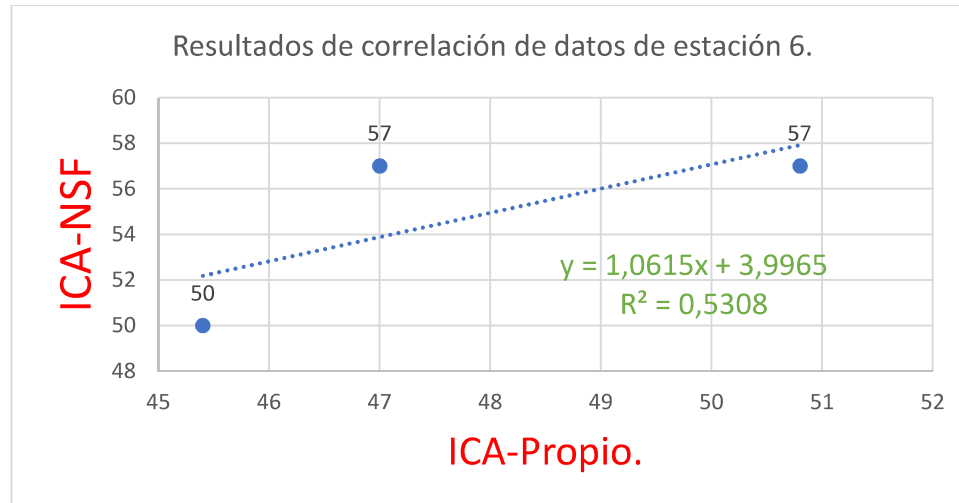
*Figura 57. Correlación de datos – estación 11*  
*Fuente: Elaboración propia*

La Figura 57 muestra los valores de los índices de calidad del aire (ICA) registrados en la estación número 11 durante los meses de análisis. También incluye la línea de tendencia y la ecuación de la recta correspondiente, así como el factor de correlación R2, que es de 0,8765 y representa una correlación fuerte.



*Figura 58. Correlación de datos – estación 2*  
*Fuente: Elaboración propia.*

En la Figura 58 se muestra que para la estación 2, tenemos un factor de correlación similar a 1 y muestra una fuerte correlación entre los valores de los ICA's.



*Figura 59. Correlación de datos – estación 6*  
*Fuente: Elaboración propia.*

En la Figura 59, el factor de correlación R2 es de 0,5308, lo que indica una correlación moderada. Esto sugiere que los puntos no están altamente alineados entre sí.

#### 4.13. Discusiones

- Caudales

##### Río Pucuhuayco.

Se nota que no hay una correlación evidente entre el caudal y la ubicación de las estaciones de monitoreo, ya que el flujo del agua no se comporta de manera uniforme a medida que se desplaza a través de cada una de las estaciones de monitoreo. Claro es el ejemplo de la estación 7, en donde varía de caudales altos – medios (195.1, 129.3 y 122.7) l/seg a caudales bajos (4.1, 4.5, 1.1) l/seg. Esto debido a que el caudal es derivado en un 94% por los habitantes del sector la Posta para riego agrícola y abrevadero de animales.

Se encontró que todas las estaciones monitoreadas presentan un comportamiento similar en cuanto a su evolución en el tiempo; comenzando con caudales medios – altos en las estaciones M9, M3,

M10 y M4 a bajos en la estación M7 para luego incrementar en la estación M5, debido a que es la unión de los 2 ríos, formando el río Cañar.

### **Río Zhamzham**

De igual manera se puede observar en la tabla 25, que para la estación 1 los caudales van de alto (47.6, 53.1, 42.6) l/seg a bajo (6, 14, 14) l/seg en los diferentes monitoreos, debido a que existe una derivación del 26% en esta zona.

Así mismo, los comportamientos en función del tiempo en todos los meses son similares; comenzando con caudal alto en la estación M8 a bajo en la estación M1, para luego ir incrementando en medida que avanza hacia el resto de estaciones, esto debido a que el río ya ingresa en la parte urbana de la ciudad y las descargas van directo al mismo, como es el caso de las estaciones M11, M2. Para finalmente depositar sus aguas en el río Cañar.

- **Índice de calidad del agua (ICA)**

### **Variabilidad temporal de la calidad del agua**

#### **Río Pucuhuayco**

En las estaciones M9, M10 y M7, se observa una escasa variabilidad en la calidad del agua con el tiempo, con un rango de variación del Índice de Calidad de Agua desde 47 a 53, 50 a 63 y 42 a 54; catalogando estas estaciones como “Regular”. Se observa que hay un exceso de DBO5 y DQO, lo cual es causado por diversas actividades humanas como la agricultura, la industria y la eliminación inadecuada de desechos orgánicos. Generando una sobrecarga de materia orgánica en el agua, lo que puede agotar los niveles de oxígeno en el agua y dificultar la vida de los organismos acuáticos. Además, también puede aumentar la proliferación de bacterias y algas.

Las estaciones M3, M4 y M5, tienen una variación temporal del ICA de 44 a 52, 41 a 55, y 45 a 49; catalogando estas estaciones como “Malas”. Así mismo, los valores de DBO5, DQO y oxígeno disuelto exceden los límites máximos permisibles de criterios de calidad para la preservación de la vida acuática en aguas dulces.

### **Rio Zhamzham**

En las estaciones M8 la variación temporal es pequeña debido a que el ICA es 57 en todos los meses y en la estación M1 su variación va desde (46, 54, 62) lo cual cataloga a estas dos estaciones como “Regular”, teniendo valores bajos dentro de los límites permisibles para la DBO Y DQO debido a que son zonas con baja población. Así mismo los valores de DBO 5 y DQO son bajos.

Para la estación M11, el ICA es de 34, 35 y 40, catalogada como “MALA”, debido a que desde esta estación el río ya ingresa a la parte urbana de la ciudad donde no se cuenta con un sistema de tratamiento de las aguas residuales y todas las descargas van directas al río. Esto en medida que avanza, sigue empeorando la calidad para las estaciones M2, M6 y M5 donde su variabilidad temporal es de (48,36,36), (47,50,45) y (49,47,45) lo cual también son catalogadas como “MALA”; conteniendo un elevado valor en todos los parámetros analizados.

La evaluación de la fluctuación en el tiempo es crucial para determinar qué usos pueden ser dados al agua en cada estación. Por ejemplo, si la intención es utilizar el agua para abastecimiento público y se encuentra en mal estado, es necesario extremar las medidas de seguridad en su tratamiento, incluyendo una dosis adecuada de coagulantes y desinfectantes

## **Variabilidad espacial de la calidad**

. La calidad del agua sufre cambios a medida que se mueve de una estación a otra, y este fenómeno se conoce como variabilidad espacial. Se observa en la mayoría de los monitoreos que el índice ICA disminuye cuando el caudal del agua aumenta, esto se debe a la presencia de contaminación puntual en toda el área de los ríos y al aporte de domiciliarias que adicionan carga contaminante (contaminación difusa). En el anexo 4 se pueden observar el mapa de descargas domiciliarias de estos ríos.

## **CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

- La metodología DELPHI resulto ser una técnica valiosa para la selección de expertos, ya que ayudo a la presente investigación obtener información precisa y objetiva del tema.
- Luego de examinar la metodología de análisis AHP, se puede concluir que esta resulta beneficiosa para adaptar los índices de calidad del agua a las necesidades particulares de un entorno, dado que se toman en consideración los criterios de diversos expertos. Así, se posibilita un análisis multicriterio, que otorga una perspectiva más completa y objetiva acerca de la calidad del agua.
- La comparación del ICA propuesto con otros índices, como el ICA de NSF, muestra que existen similitudes entre ellos con valores mínimos de puntuación 1 y máximo de 7, sin embargo, mantienen concordancia en todos los puntos en la clasificación, manteniéndose de “mala” y “media” lo que indica la relevancia y aplicabilidad del índice propuesto.
- De acuerdo con el estudio los ríos Pucuhuayco y Zhamzham están catalogados como contaminados, variando entre calidad “Media” y “Mala” con valores de ICA de 41 a 63 y 34 a 62; esto significa que existe una variación significativa de la calidad a lo largo de su recorrido. La contaminación puntual y difusa que recibe, aporta carga contaminante significativa. La calidad del agua varía tanto en el espacio como en el tiempo. Es importante monitorear la calidad del agua en diferentes puntos y en diferentes estaciones para tener una visión completa de la situación.
- También se observó que en el rio Zhamzham existe además de las descargas del sistema de alcantarillado municipal, 70 domicilios donde se arroja las aguas negras directamente al rio. Sobre este rio está el punto más contaminado siendo la estación 11 el cual presenta

aguas sumamente turbias donde se vio que es imposible que exista cualquier tipo de vida acuática y no sea aprovechable para ningún uso, esto se puede ver en el anexo 4.

- Las estaciones 11, 2, 6 y 5 del río Zhamzham, así como las estaciones 3 y 4 del río Pucuhuayco, no son aptas para ningún tipo de uso público, como el abastecimiento de agua, actividades recreativas, pesca, vida acuática o agricultura, debido a su alto grado de contaminación. Por otro lado, las estaciones 8 y 1 del río Zhamzham y las estaciones 9, 10 y 7 del río Pucuhuayco sí son adecuadas para el riego de cultivos.
- En la sección de aforo 7 del río Pucuhuayco, se evidenció un promedio de 94.95% de derivación de caudal, los cuales utilizan para cultivos y abrevadero de animales en las comunidades las Posta y Nar, mientras que en el río Zhamzham un 16.85% de derivación. Lo que reduce el caudal del río y afecta los procesos de erosión y sedimentación, afectando así la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos.
- En el río Pucuhuayco se pudo observar que en el mes de octubre en las estaciones 9, 3, 4 los parámetros de DBO5, DQO y oxígeno disuelto, sobrepasan los valores máximos permisibles de acuerdo a la normativa actual vigente. En las estaciones 7 y 5 en este mismo mes se puede evidenciar que la DBO y DQO están en altos niveles a excepción del oxígeno disuelto. Además, se puede observar que los nitratos permanecen dentro del rango para todos los meses.
- Al realizar la comparativa en el río Pucuhuayco se pudo observar que en el mes de octubre en las estaciones 9, 3, 4 los parámetros de DBO5, DQO y oxígeno disuelto, sobrepasan los valores máximos permisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces de acuerdo a la normativa actual vigente. En las estaciones 7 y 5 en este mismo mes

se puede evidenciar que la DBO y DQO están en altos niveles a excepción del oxígeno disuelto. Además, se puede observar que los nitratos permanecen dentro del rango para todos los meses. Mientras que en el río Zhamzham se puede notar que en las estaciones 8 y 1, el oxígeno disuelto supera los valores permitidos en todos los meses. Además, en las estaciones 11, 2, 6 y 5 se puede ver que la DBO5 y DQO no cumplen con los estándares establecidos por la normativa. Finalmente, se puede apreciar que el oxígeno disuelto y nitratos en las estaciones 11 y 2 no cumplen los requisitos excepto en el mes de octubre.

## Recomendaciones

- En relación a la calidad del agua de los ríos Pucuhuayco y Zhazham, futuras investigaciones deben evaluar la calidad de estos cuerpos de agua para tomar medidas adecuadas para preservarlos, teniendo en cuenta la variación de la calidad del agua a lo largo del tiempo. Este estudio puede ser complementado con otras metodologías, como la lógica difusa, el análisis de componentes principales y el método de peso dinámico objetivo, que, al igual que el AHP, son métodos estadísticos que eliminan la subjetividad (Sutadian et al., 2017).
- Es necesario tomar medidas para mitigar la contaminación y proteger la calidad de estos dos ríos. Esto puede incluir la implementación de medidas de tratamiento, la educación de la población acerca de la importancia de proteger el agua y la implementación de leyes y regulaciones para limitar la contaminación.
- Es recomendable realizar una planificación cuidadosa de la infraestructura necesaria para la derivación de caudales, incluyendo sistemas de captación, canales, embalses y sistemas de riego eficientes, y considerar el impacto ambiental de la derivación de agua en los ecosistemas acuáticos y la biodiversidad local. Siendo importante que la gestión de la derivación de caudales para el abrevadero de animales y riego agrícola se realice de manera sostenible y responsable para garantizar la disponibilidad de agua a largo plazo y evitar impactos negativos en los ecosistemas locales.
- Se recomienda que los datos recopilados durante el proceso de investigación se compartan con el gobierno municipal de la ciudad de Cañar. Compartir estos datos puede ser beneficioso para el desarrollo de políticas públicas y programas que busquen mejorar la

calidad de vida de la de los habitantes de la ciudad ya que la tesis de “ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS ZHAMZHAM Y PUCUHUAYCO DE LA CIUDAD DE CAÑAR MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)” tiene el potencial de tener un impacto positivo en la toma de decisiones del gobierno local y regional, y el compartir los datos ayudará a maximizar su impacto.

## BIBLIOGRAFIA

(Acuerdo Ministerial No. 097-A. (2015). *Criterios de Calidad para Aguas de Consumo Humano y Uso Doméstico*.

Almenara, J. C., & Moro, A. I. (2014). Empleo del método Delphi y su empleo en la investigación en comunicación y educación. *Edutec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 48, Art. 48. <https://doi.org/10.21556/edutec.2014.48.187>

Altamirano Mateus, M. G. (2013). *Estudio hidroquímico y de calidad del agua superficial en la cuenca del río Mira*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1711>

APHA-AWWA-WPCF. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=307542>

Calle, G. P., & Gómez, J. C. (2014a). *Índices de calidad del agua de fuentes superficiales y aspectos toxicológicos, evaluación del Río Burgay*.

Calle, G. P., & Gómez, J. C. (2014b). Índices de calidad del agua de fuentes superficiales y aspectos toxicológicos, evaluación del Río Burgay. *Maskana*, 5, 165–176.

Canadian Council of Ministers of the Environment. (2001). *Canadian environmental quality guidelines*. CCME. <https://ccme.ca/en/current-activities/canadian-environmental-quality-guidelines>

Delgado, A. (2015). *Selección de un método para la evaluación del impacto social usando AHP* *Selection of a method for social impact assessment using AHP*.

Dinius, S. H. (1987). Design of an Index of Water Quality<sup>1</sup>. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 23(5), 833–843. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1987.tb02959.x>

Espejo Ruiz, J. C., & Tenelanda Patiño, P. A. (2018). *Estudio de la calidad del agua: Caso de estudio del río Déleg - provincia del Cañar* [BachelorThesis]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30336>

Fernandez Parada, N. J., & Solano Ortega, F. (2007). Capítulo III ÍNDICES DE CALIDAD ( ICAs ) Y DE CONTAMINACIÓN ( ICOs ) DEL AGUA DE IMPORTANCIA MUNDIAL. *Índices de Calidad y de contaminación del Agua*, 43–116.

Fernández-Santisteban, M. T. (2017). *Determinación de coliformes totales y fecales en aguas de uso tecnológico para las centrífugas*.

Flores Rengifo, L. A. (2022). *Evaluación de la calidad del agua del río Tomebamba basado en un análisis jerárquico para identificar los pesos de los parámetros de un índice propio de calidad del agua* [BachelorThesis, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/39607>

Flores Ureba, S., Mora Agudo, L., Rivero Menéndez, J. Á., Flores Ureba, S., Mora Agudo, L., & Rivero Menéndez, J. Á. (2019). El método Delphi aplicado al diseño de un modelo de financiación de transporte urbano. *Economía, sociedad y territorio*, 19(61), 575–600. <https://doi.org/10.22136/est20191364>

García Valdés, M., & Suárez Marín, M. (2013). El método Delphi para la consulta a expertos en la investigación científica. *Revista Cubana de Salud Pública*, 39, 253–267.

García-González, J., Osorio-Ortega, M. A., Saquicela-Rojas, R. A., & Cadme, M. L. (2021). Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Ingeniería del Agua*, 25(2), Art. 2. <https://doi.org/10.4995/ia.2021.13921>

García-Ruiz, M. E., & Lena-Acebo, F. J. (2018). Aplicación del metodo delphi en el diseño de una investigación cuantitativa sobre el fenómeno FABLAB. *Empiria. Revista de metodología de ciencias sociales*, 40, Art. 40. <https://doi.org/10.5944/empiria.40.2018.22014>

Limon, P. J., & Webb, R. H. (1964). A Magnetic Resonance Experiment for the Undergraduate Laboratory. *American Journal of Physics*, 32(5), 361–364. <https://doi.org/10.1119/1.1970348>

López-Gómez, E. (2018). EL MÉTODO DELPHI EN LA INVESTIGACIÓN ACTUAL EN EDUCACIÓN: UNA REVISIÓN TEÓRICA Y METODOLÓGICA. *Educación XXI*, 21(1), Art. 1. <https://doi.org/10.5944/educxx1.20169>

Mancera Quevedo, P. (2017). *Obtención de un índice de calidad de agua (ICA) para las ciénagas que forman parte de la zona inundable del río Magdalena en el departamento del Atlántico—Colombia, a través de la aplicación del Método Delphi* [MasterThesis, Universidad Internacional de Andalucía]. <https://dspace.unia.es/handle/10334/3782>

Mite, R. B., Ochoa, L. S., Osorio, B. G., Suatunce, P., Ocampo, E. D., & Arevalo, L. C. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador / Quality of water intended for human consumption in a canton of Ecuador. *CIENCIA UNEMI*, 9(20), Art. 20. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss20.2016pp109-117p>

ONU. (2016). *Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

PDOT. (2021). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del canton Cañar*.

Pérez, J. I., Nardini, A. G., Galindo, A. A., Pérez, J. I., Nardini, A. G., & Galindo, A. A. (2018). Análisis Comparativo de Índices de Calidad del Agua Aplicados al Río Ranchería, La Guajira-Colombia. *Información tecnológica*, 29(3), 47–58. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000300047>

Pesántez Quintuña, M. K., & Roldán Arias, A. P. (2021). *Relación de la calidad del agua de la quebrada El Salado con el uso de suelo urbano y periurbano de la parroquia Baños* [BachelorThesis, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/36142>

Quiroz Fernández, L. S., Izquierdo Kulich, E., & Menéndez Gutiérrez, C. (2017). Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(3), 41–51.

Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—What it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)

Sierra Ramirez, Carlos Alberto. (2011). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico*. [https://www.academia.edu/9511155/Calidad\\_del\\_agua\\_evaluaci%C3%B3n\\_y\\_diagn%C3%B3stico](https://www.academia.edu/9511155/Calidad_del_agua_evaluaci%C3%B3n_y_diagn%C3%B3stico)

Singh, P. K., & Saxena, S. (2018). Towards developing a river health index. *Ecological Indicators*, 85, 999–1011. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.059>

Sutadian, A. D., Muttil, N., Yilmaz, A. G., & Perera, B. J. C. (2017). Using the Analytic Hierarchy Process to identify parameter weights for developing a water quality index. *Ecological Indicators*, 75, 220–233. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.043>

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1.**

**Formato de encuestas realizados a los expertos para la metodología DELPHI y AHP**

CONSULTA NO. 1

**SELECCIÓN Y CONFORMACION DEL PANEL DE EXPERTOS**

La selección y conformación del grupo de expertos es un punto clave en la metodología Delphi, es por ello que mediante este cuestionario se pretende conocer la formación, investigación y experiencia profesional del experto asegurando la calidad del panel.

**1. Datos personales**

Nombre y Apellido:

Profesión:

Nacionalidad:

Puesto de trabajo actual:

Calificación profesional:

Titulado/a Universitario de Grado Superior

Master

Doctor/a

Experiencia laboral enfocada en la calidad del agua (ICA):

Categoría laboral:

Catedrático/a de universidad

Titular de universidad

Contratado/a doctor/a

Empresa Pública Municipal (ETAPA)

Empresa Pública Municipal (EMAPAL)

Ministerio del Ambiente

GAD cantonal

Otros

Años de experiencia en la profesión: \_\_\_\_\_



2. Marque con una cruz (x), en la casilla que le corresponda al grado de conocimiento que usted posee acerca del tema de investigación que se ha desarrollado, valorando en una escala de 0 – 10 (considerando como 10 un pleno conocimiento de la problemática, mientras que 0 indicaría no tener absolutamente ningún conocimiento).

<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>

3. Autovalore el grado de influencia de cada uno de los ítems presentados a continuación, en base a su conocimiento y criterio sobre la presente investigación.

		<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>
<b>Experiencia</b>	Experiencia obtenida a través de su actividad y práctica.			
<b>Conocimiento</b>	Conocimiento sobre el tema tratado a nivel nacional e internacional.			
<b>Intuición</b>	Intuición sobre el tema abordado y conocimiento sobre nuevos métodos.			
<b>Estudios</b>	Estudio de trabajos y publicaciones sobre el tema.			

Encuesta para la elaboración de un Índice de Calidad de Agua (ICA) propios de la zona para 2 ríos de Cañar, basado en un proceso de jerarquía analítica (AHP), para la respectiva obtención de pesos por cada parámetro seleccionado.

Cada experto deberá llenar la matriz de comparaciones por pares de acuerdo a sus criterios y conocimiento, en la que dará una valoración en base a la escala de 1 a 9 puntos utilizadas para las comparaciones por pares (únicamente se valorará con la escala de la tabla 1, y de la columna 1), es importante resaltar que deberán llenar el triángulo superior de la matriz (color amarillo), como se muestra a continuación.

**NOTA IMPORTANTE**

Los parámetros A, se evalúan respecto a B. Es decir, para mi punto de vista en la construcción del ICA, la DQO es debilmente importante respecto a los coliformes fecales. Entonces voy a la tabla de puntuaciones y busco el nivel de importancia que se le va asignar. Ahora el valor que en este caso sea 1/5 y así sucesivamente. (RECORDAR QUE EL ENCUESTADOR SOLO LLENARÁ LA PARTE AMARILLA DE LA MATRIZ).

Tabla 1: Escala de 1 a 9 puntos utilizada para las comparaciones por pares

Importancia relativa (+)	Escala (column 1)	Importancia relativa (-)	Escala (column 2)
Igualmente importante	1	Igualmente importante	1
Moderadamente importante	3	Moderadamente menos importante	1/3
Fuertemente importante	5	Debilmente importante	1/5
Muy importante	7	Muy debilmente importante	1/7
Extremadamente importante	9	Extremadamente débil	1/9
Valores intermedios	2, 4, 6, 8	Valores reciprocos intermedio	1/2, 1/4, 1/6, 1/8

**Ejemplo de aplicación para interpretar la matriz:**

Como se muestra en la siguiente matriz los parámetros (A) que se encuentran en las columnas de la N a la X, serán evaluados respecto a los parámetros (B) que se encuentran en las filas 19 - 29. Por ejemplo, para mi consideración el DQO son muy importantes respecto a los coliformes fecales, en ese marco reviso la tabla 1 y le asigno el valor respectivo en la casilla amarilla que en este caso sea 7.

Parámetros	Coliformes Fecales	DQO
Coliformes Fecales	1	7

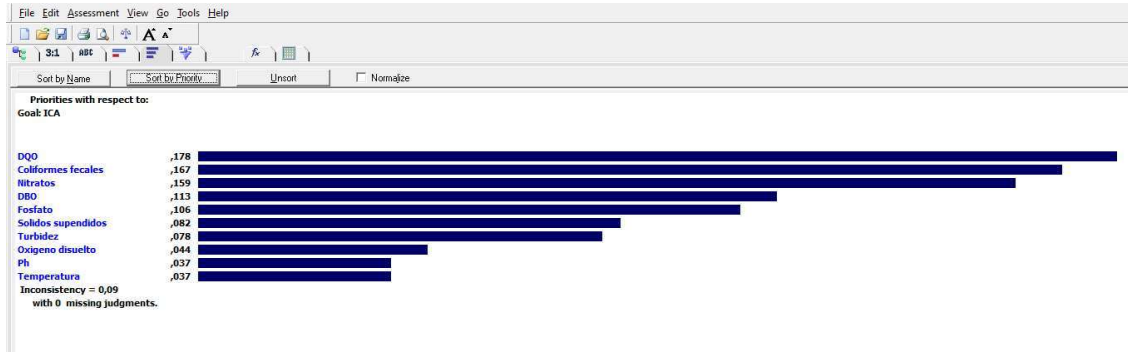
Matriz para la comparación por pares (deben llenar únicamente la parte superior color amarillo)

Parámetros	A										
	Coliformes Fecales	DQO	DBO5	Turbidez	Oxígeno disuelto	Sólidos Suspendedos	Nitratos	pH	Temperatura	Fosfatos	
Coliformes Fecales	1										
DQO		1									
DBO5			1								
Turbidez				1							
Oxígeno disuelto					1						
Sólidos Suspendedos						1					
Nitratos							1				
pH								1			
Temperatura									1		
Fosfatos										1	

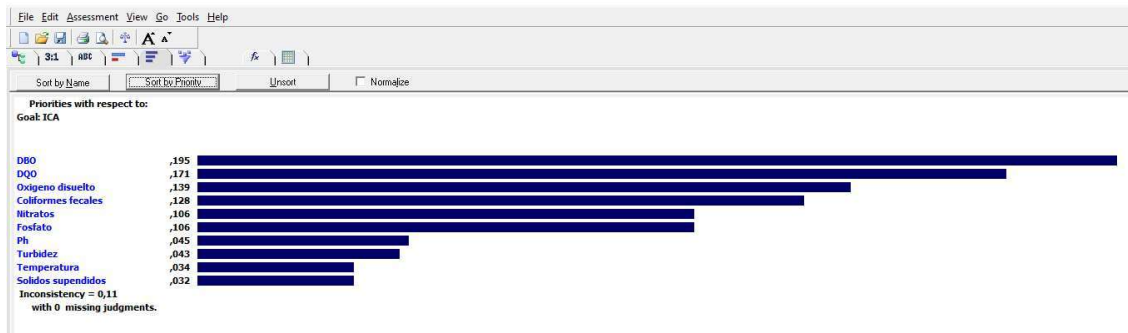
## ANEXO 2.

### Resultados de los pesos obtenidos a través del software Expert Choice.

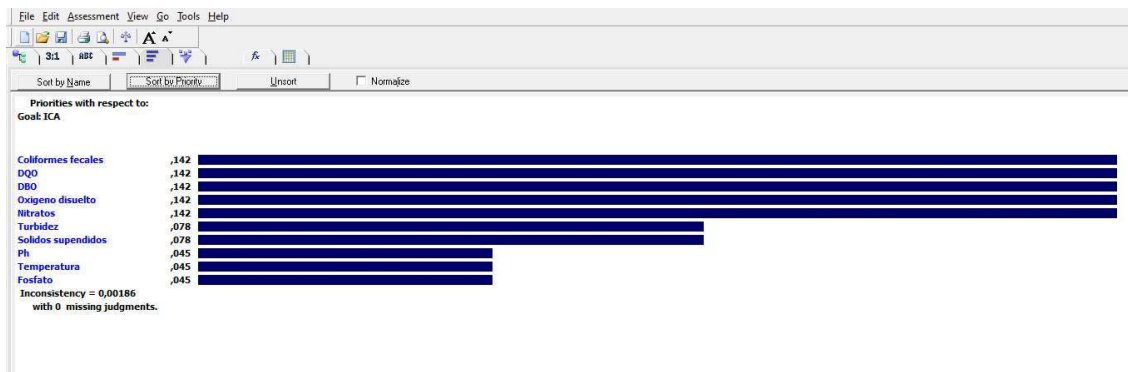
#### E1



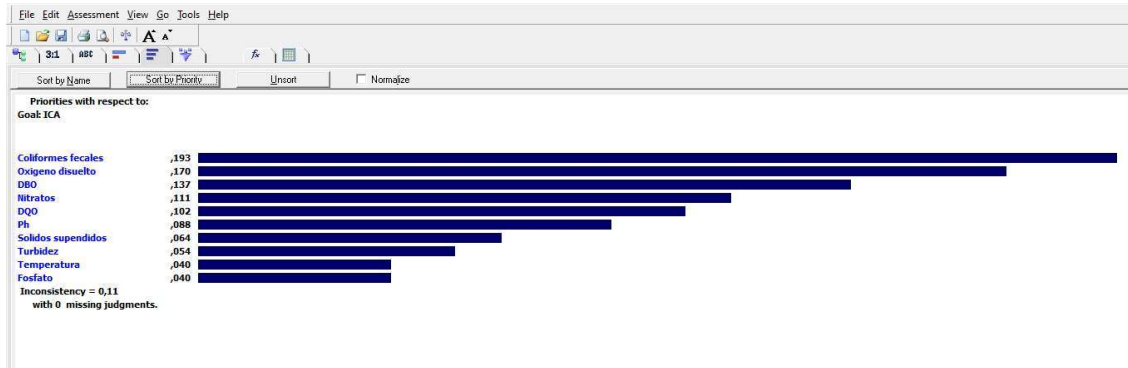
#### E2



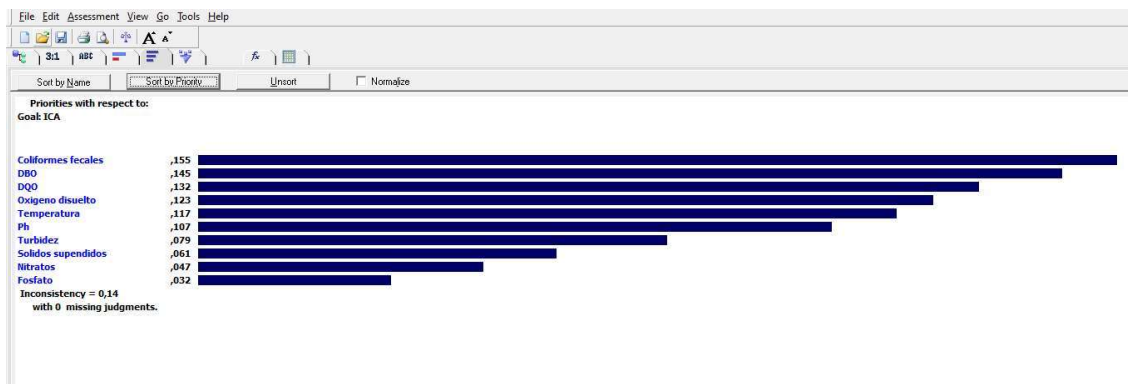
#### E3



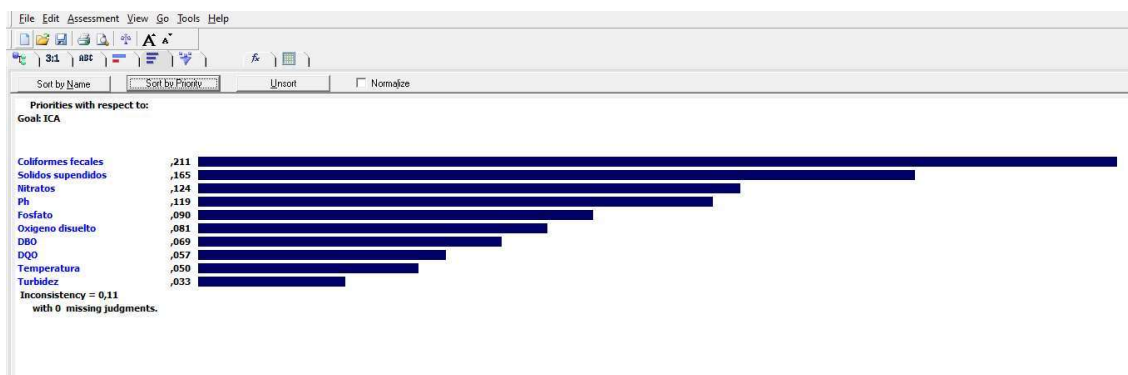
## E4



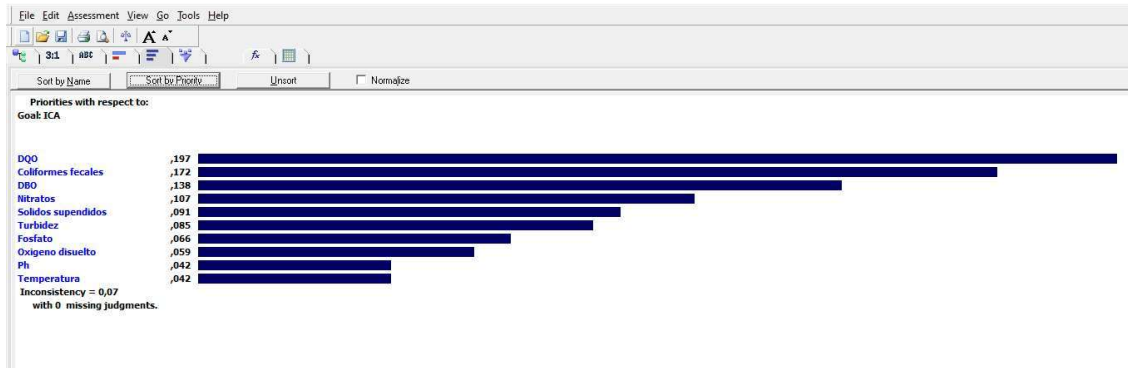
## E5



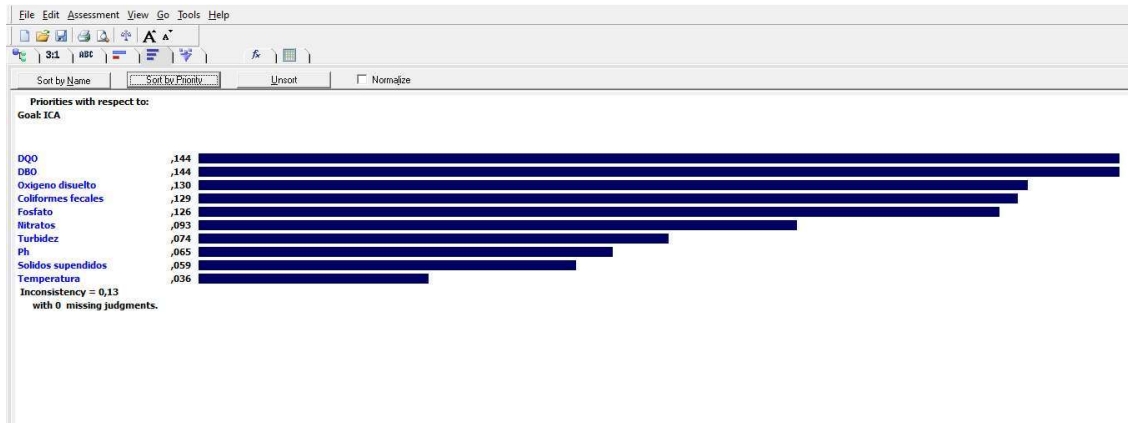
## E6



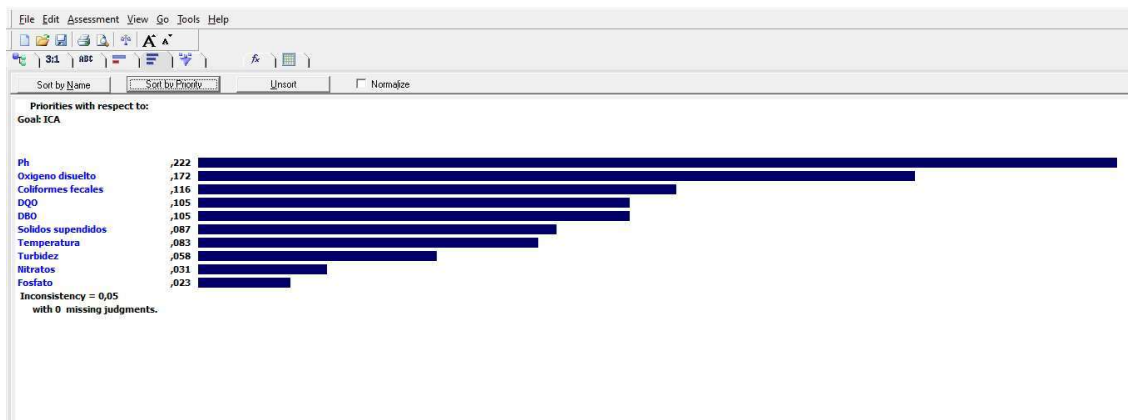
## E7



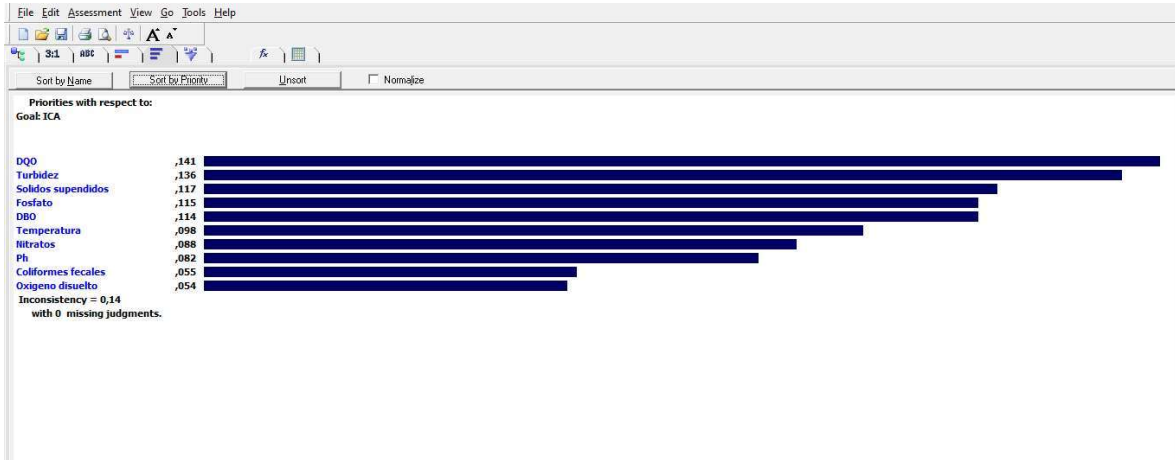
## E8



## E9



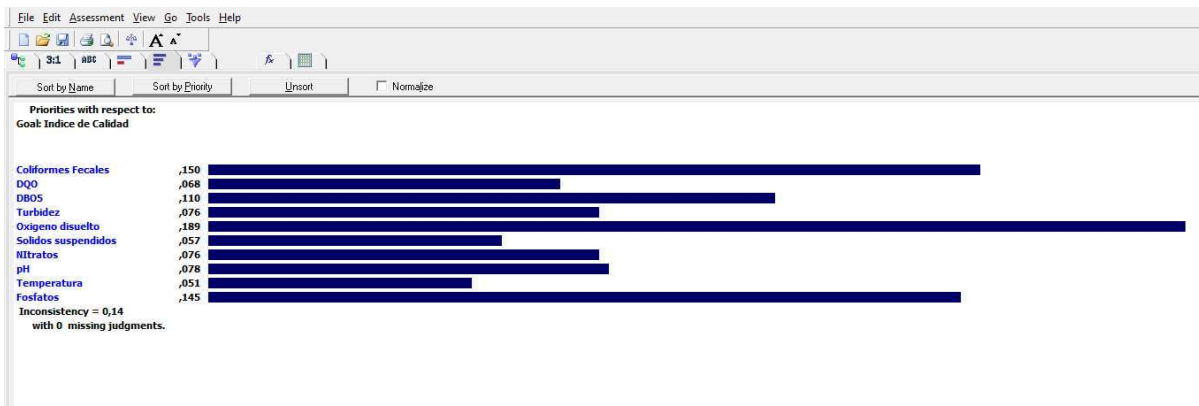
## E10



## E11



## E12



**ANEXO 3.**

**Secciones de las estaciones de monitoreo de los ríos Pucuhuayco y Zhamzham**

### ESTACIÓN DE AFORO - Rio Pucuhayco estación (9)

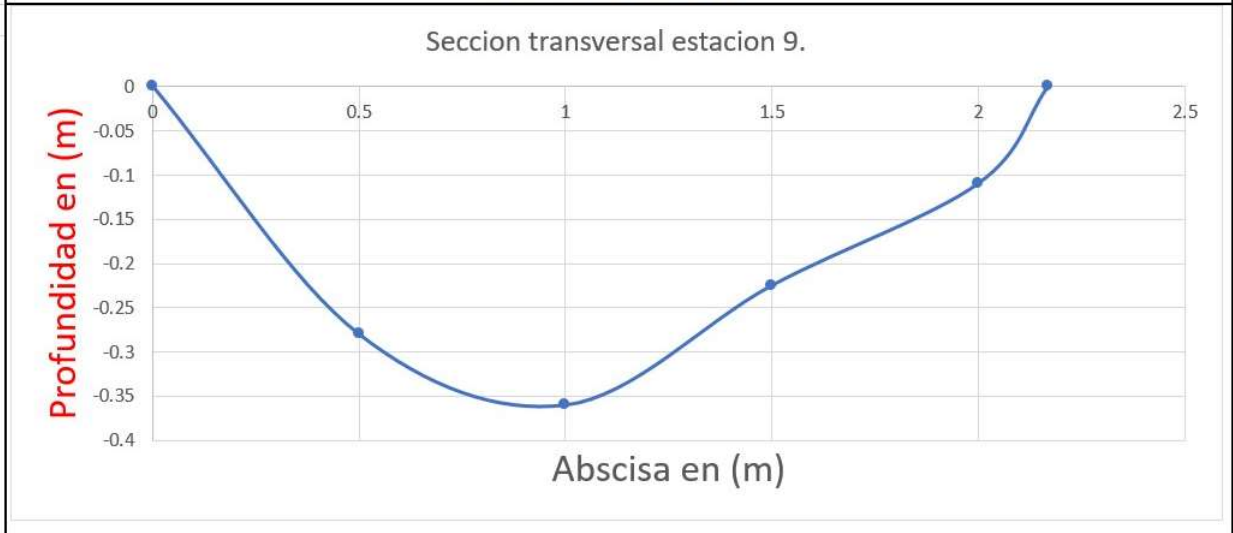
COORDENADAS	
X	Y
-2.560178	-78.942717
<b>PARROQUIA</b>	Cañar
<b>CANTÓN</b>	Cañar
<b>PROVINCIA</b>	Cañar
<b>ALTITUD, msnm</b>	3119




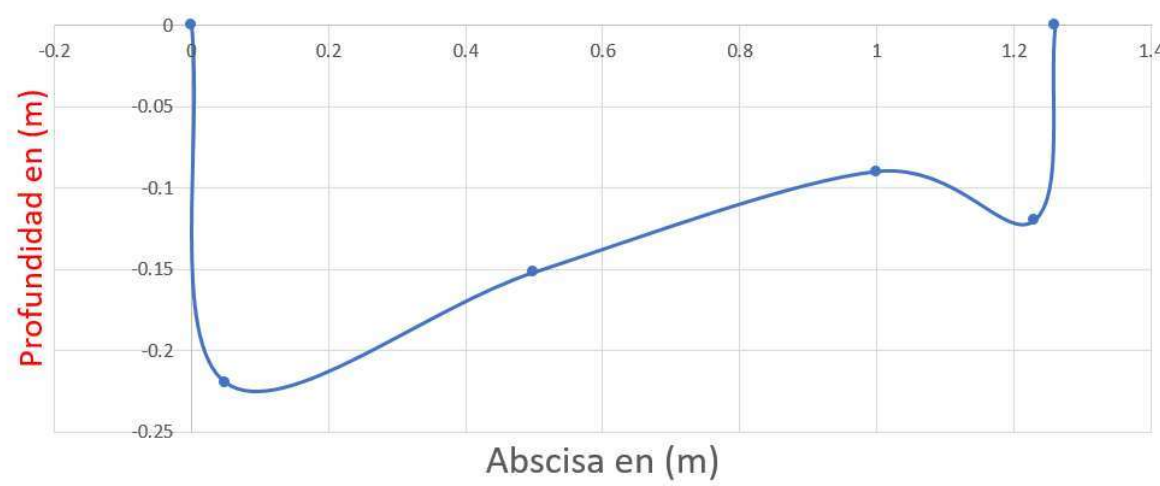
#### PARÁMETROS HIDRÁULICOS Y GEOMÉTRICOS

Area (m2)	Velocidad (m/seg)	Caudal (m3/seg)	Profundidad (m)	Ancho (m)
0.4694	0.261	0.1226	0.1625	2.17

#### SECCIÓN DE AFORO



### ESTACIÓN DE AFORO - Rio Pucuhayco estación (3)

COORDENADAS				
X	Y			
-2.568254	-78.933276			
<b>PARROQUIA</b>	Cañar			
<b>CANTÓN</b>	Cañar			
<b>PROVINCIA</b>	Cañar			
<b>ALTITUD, msnm</b>	3176			
<b>PARÁMETROS HIDRÁULICOS Y GEOMÉTRICOS</b>				
Area (m <sup>2</sup> )	Velocidad (m/seg)	Caudal (m <sup>3</sup> /seg)	Profundidad (m)	Ancho (m)
0.1808	0.347	0.062	0.1455	1.26
<b>SECCIÓN DE AFORO</b>				
<p style="text-align: center;">Seccion transversal de la estacion 3.</p> 				

### ESTACIÓN DE AFORO - Rio Pucuhayco estación (10)

COORDENADAS	
X	Y
-2.561347	-78.931891
<b>PARROQUIA</b>	Cañar
<b>CANTÓN</b>	Cañar
<b>PROVINCIA</b>	Cañar
<b>ALTITUD, msnm</b>	3141



**PARA**

Area (m2)	Velocidad (m/seg)	Caudal (m3/seg)	Profundidad (m)	Ancho (m)
0.6074	0.258	0.1569	0.2069	2.38

#### SECCIÓN DE AFORO

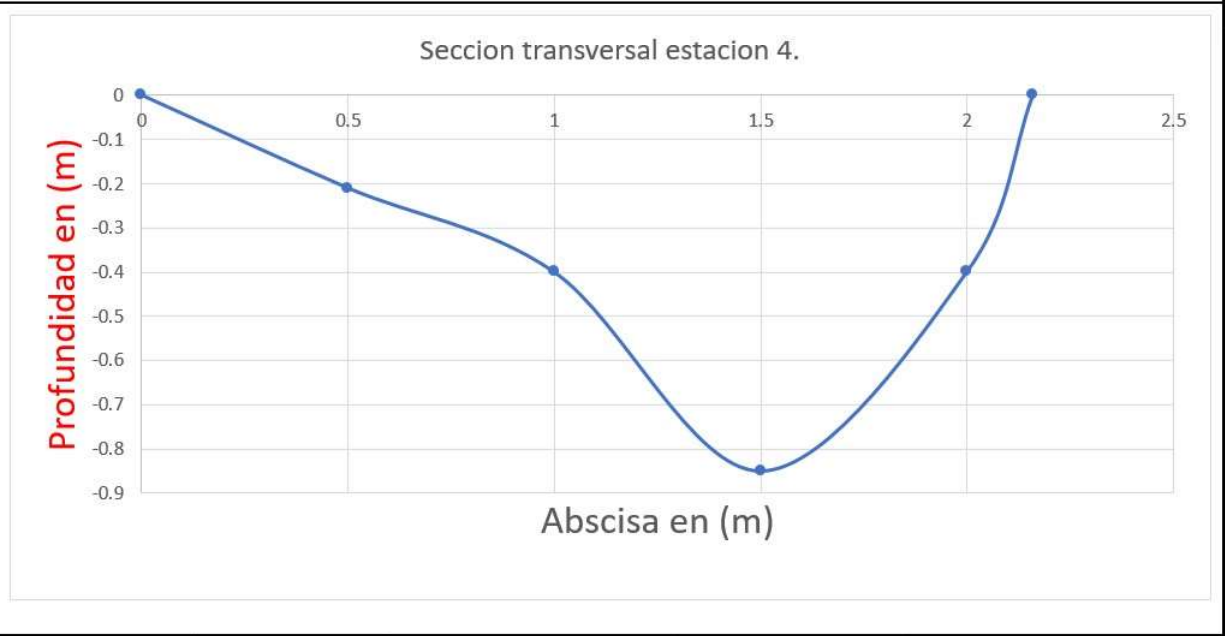


### ESTACIÓN DE AFORO - Rio Pucuhayco estación (4)

COORDENADAS		X	Y	
X	Y			-2.555104
<b>PARROQUIA</b>	Cañar			
<b>CANTÓN</b>	Cañar			
<b>PROVINCIA</b>	Cañar			
<b>ALTITUD, msnm</b>	3075			
<b>PARA</b>				
Area (m2)	Velocidad (m/seg)	Caudal (m3/seg)	Profundidad (m)	Ancho (m)
0.8225	0.237	0.195	0.378	2.16



#### SECCIÓN DE AFORO



### ESTACIÓN DE AFORO - Rio Pucuhayco estación (7)

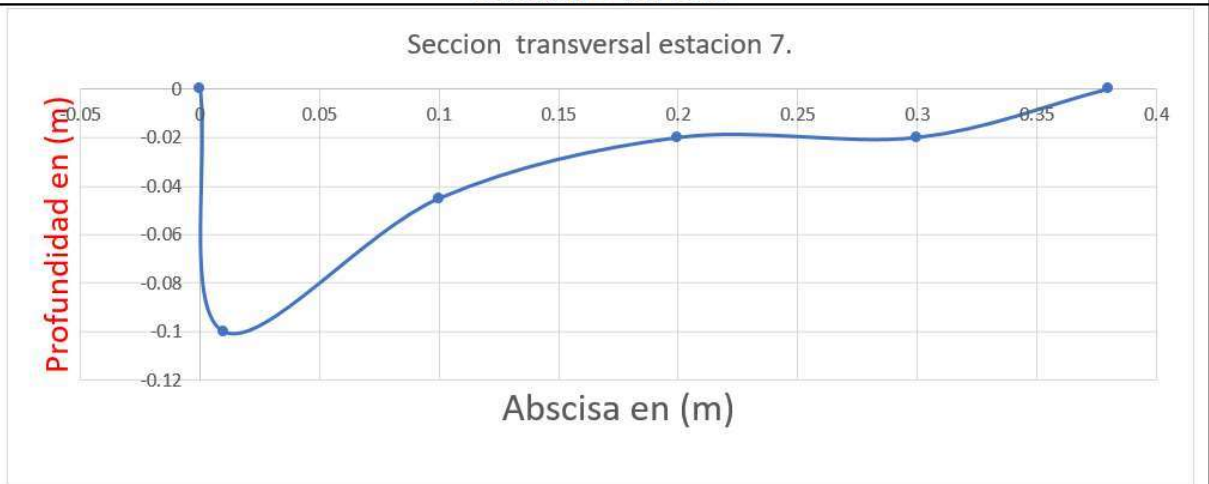
COORDENADAS	
X	Y
-2.543709	-78.933548
PARROQUIA	Cañar
CANTÓN	Cañar
PROVINCIA	Cañar
ALTITUD, msnm	3141



#### PARÁMETROS HIDRÁULICOS Y GEOMÉTRICOS

Area (m2)	Velocidad (m/seg)	Caudal (m3/seg)	Profundidad (m)	Ancho (m)
0.0141	0.29	0.041	0.041	0.38

#### SECCIÓN DE AFORO



### ESTACIÓN DE AFORO - Rio Zhamzham estación (8)

COORDENADAS	
X	Y
-2.560906	-78.944828
<b>PARROQUIA</b>	Cañar
<b>CANTÓN</b>	Cañar
<b>PROVINCIA</b>	Cañar
<b>ALTITUD, msnm</b>	3150

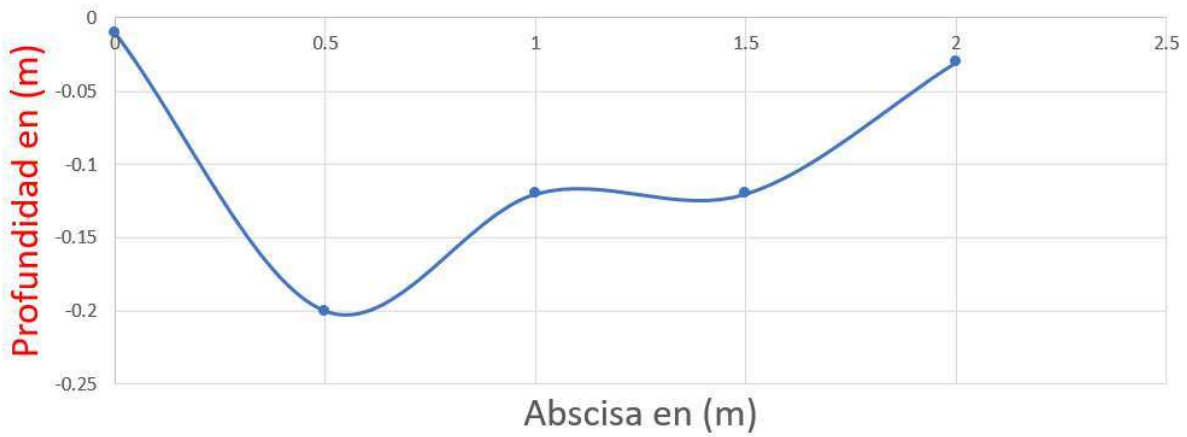


#### PARÁMETROS HIDRÁULICOS Y GEOMÉTRICOS

Area (m2)	Velocidad (m/seg)	Caudal (m3/seg)	Profundidad (m)	Ancho (m)
0.2525	0.181	0.0476	0.114	2

#### SECCIÓN DE AFORO

Sección transversal estación 8.



**ESTACIÓN DE AFORO - Rio Zhamzham estación (1)**

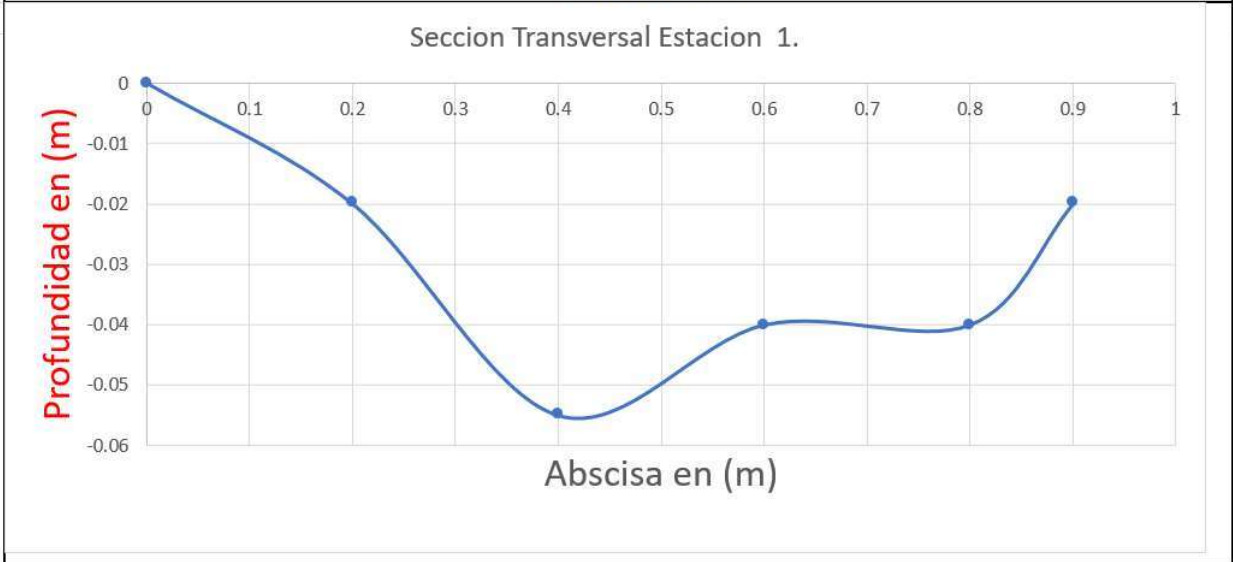
COORDENADAS	
X	Y
-2.560178	-78.942717
<b>PARROQUIA</b>	Cañar
<b>CANTÓN</b>	Cañar
<b>PROVINCIA</b>	Cañar
<b>ALTITUD, msnm</b>	3119



**PARÁMETROS HIDRÁULICOS Y GEOMÉTRICOS**

Area (m2)	Velocidad (m/seg)	Caudal (m3/seg)	Profundidad (m)	Ancho (m)
0.03	0.199	0.006	0.029	2

**SECCIÓN DE AFORO**



### ESTACIÓN DE AFORO - Rio Zhamzham estación (11)

COORDENADAS	
X	Y
-2.552497	-78.938977
<b>PARROQUIA</b>	Cañar
<b>CANTÓN</b>	Cañar
<b>PROVINCIA</b>	Cañar
<b>ALTITUD, msnm</b>	3104

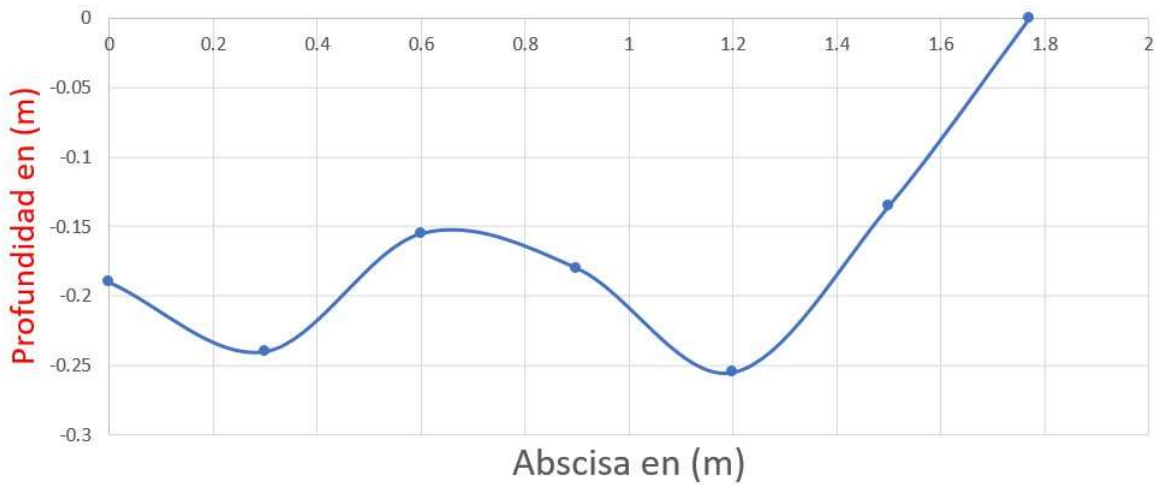


#### PARÁMETROS HIDRÁULICOS Y GEOMÉTRICOS

Area (m2)	Velocidad (m/seg)	Caudal (m3/seg)	Profundidad (m)	Ancho (m)
0.316	0.086	0.026	0.0165	1.77

#### SECCIÓN DE AFORO

Grafico de la seccion 11.



### ESTACIÓN DE AFORO - Rio Zhamzham estación (2)

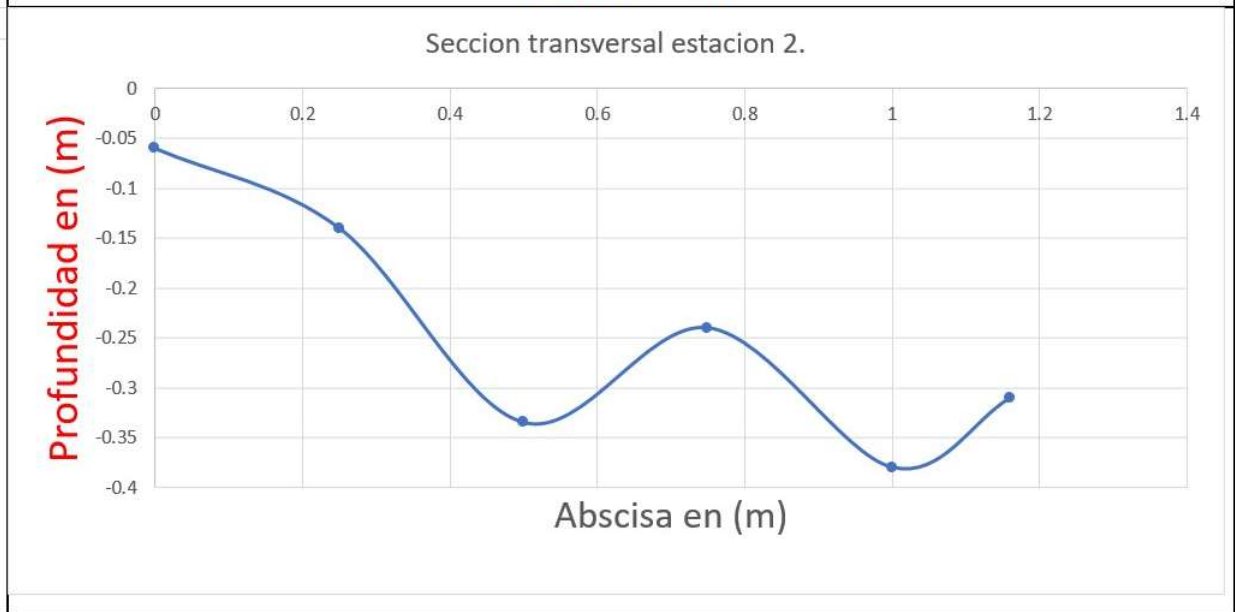
COORDENADAS	
X	Y
-2.559307	-78.941278
<b>PARROQUIA</b>	Cañar
<b>CANTÓN</b>	Cañar
<b>PROVINCIA</b>	Cañar
<b>ALTITUD, msnm</b>	3068



### PARÁMETROS HIDRÁULICOS Y GEOMÉTRICOS

Area (m <sup>2</sup> )	Velocidad (m/seg)	Caudal (m <sup>3</sup> /seg)	Profundidad (m)	Ancho (m)
0.288	0.263	0.076	0.24	1.16

### SECCIÓN DE AFORO



### ESTACIÓN DE AFORO - Rio Zhamzham estación (5)

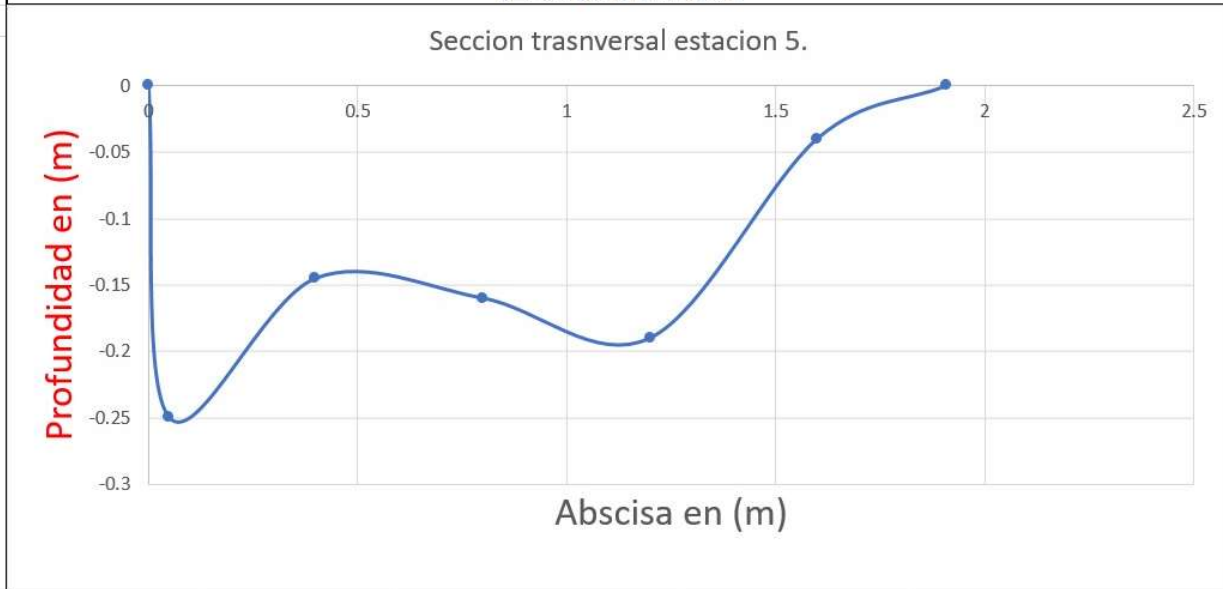
COORDENADAS	
X	Y
-2.538723	-78.936951
<b>PARROQUIA</b>	Cañar
<b>CANTÓN</b>	Cañar
<b>PROVINCIA</b>	Cañar
<b>ALTITUD, msnm</b>	2938



#### PARÁMETROS HIDRÁULICOS Y GEOMÉTRICOS

Area (m2)	Velocidad (m/seg)	Caudal (m3/seg)	Profundidad (m)	Ancho (m)
0.262	0.105	0.027	0.1308	1.91

#### SECCIÓN DE AFORO



**ANEXO 4.**  
**Resultados de análisis en laboratorio.**



Universidad  
Católica  
de Cuenca

## CIITT- LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA- HYDROLAB

### HACIENDA MIRACIELOS-RICAURTE

<b>CODIGO:</b> UCC-LCAR-F06	<b>ELABORADO:</b> Ing. Maria Eugenia Quinteros Msc.	<b>ELABORADO Y REVISADO:</b> Ing. Carlos Matovelle B. Msc.	<b>Nº INFORME:</b> IN-CAR-064
<b>CODIGO MUESTRA:</b>	CAR001-CAR011	<b>FECHA DE EMISION DEL INFORME:</b>	
<b>PROYECTO:</b>	“Estudio de la calidad del agua de los ríos Zhamzham y Pucuhuayco de la provincia del Cañar mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA)”	<b>SOLICITANTE:</b>	Nathaly Ojeda/ Juan Pablo Pacheco
<b>UNIDAD ACADEMICA SOLICITANTE:</b>		<b>RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:</b>	
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Agua Residual	<b>MODO DE CONSERVACIÓN:</b>	
<b>FECHA DE RECOLECCION DE MUESTRAS:</b>	3/10/2022	<b>HORA DE RECOLECCION:</b>	8:15
<b>FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS:</b>	3/10/2022	<b>HORA DE RECEPCION:</b>	8:30
<b>FECHA DE INICIO DE ENSAYOS</b>	4/10/2022	<b>FECHA DE FIN DE ENSAYOS:</b>	9/10/2022

Análisis	Método de Referencia / Método Interno	Unidad	MUESTRA			
			Día	Resultados 21-050	Valores máximos permisibles	Límite de cuantificación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Método 5210-Literal D. Técnica: Respirométrica	mg/L	M1	13,5	20 mg/L	0-700 mg/L
		mg/L	M2	76,8		
		mg/L	M3	22,2		
		mg/L	M4	38,2		
		mg/L	M5	51,7		
		mg/L	M6	63,0		
		mg/L	M7	60,0		
		mg/L	M8	7,6		
		mg/L	M9	70,0		
		mg/L	M10	9,2		
		mg/L	M11	31,0		
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Método 5220-Literal D. Técnica: Espectrofotometría	mg/L	M1	47	40 mg/L	20-1500 mg/L
		mg/L	M2	153		
		mg/L	M3	49		
		mg/L	M4	61		
		mg/L	M5	103		
		mg/L	M6	231		
		mg/L	M7	207		
		mg/L	M8	27		
		mg/L	M9	242		
		mg/L	M10	32		
		mg/L	M11	107		
	Método 4500-NO3 Literal: F	mg/L	M1	4		
		mg/L	M2	14,3		
		mg/L	M3	1,4		
		mg/L	M4	7,8		
		mg/L	M5	13,1		

Nitratos	Literal: E. Técnica: Espectrofotometría	mg/L	M6	15,2	13 mg/L	0,3-30 mg/L
		mg/L	M7	14,4		
		mg/L	M8	0,3		
		mg/L	M9	1,7		
		mg/L	M10	2,3		
		mg/L	M11	10,4		
Fosfatos	Método 4500-P Literal:E Técnica: Espectrofotometría	mg/L	M1	3,41	No aplica	0,02-2,5 mg/L
		mg/L	M2	4,35		
		mg/L	M3	1,34		
		mg/L	M4	3,39		
		mg/L	M5	4,62		
		mg/L	M6	5,36		
		mg/L	M7	4,16		
		mg/L	M8	0,94		
		mg/L	M9	0,55		
		mg/L	M10	1,26		
Sólidos Suspendidos	Técnica:Gravimetría	mg/L	M1	10	No aplica	No aplica
		mg/L	M2	20		
		mg/L	M3	5		
		mg/L	M4	75		
		mg/L	M5	5		
		mg/L	M6	35		
		mg/L	M7	245		
		mg/L	M8	5		
		mg/L	M9	15		
		mg/L	M10	15		
Turbidez	Método 2130- Literal: B	NTU	M1	18,2	No aplica	No aplica
		NTU	M2	34,9		
		NTU	M3	32,2		
		NTU	M4	19,1		
		NTU	M5	15,5		
		NTU	M6	21,4		
		NTU	M7	91,6		
		NTU	M8	5,13		
		NTU	M9	16,8		
		NTU	M10	11,8		
Coliformes Fecales	Método 9223 Literal:B Técnica: Tubos múltiples	NMP/100 ml	M1	19	No aplica	0 - >1600 NMP/100 ml
		NMP/100 ml	M2	22		
		NMP/100 ml	M3	24		
		NMP/100 ml	M4	17		
		NMP/100 ml	M5	20		
		NMP/100 ml	M6	26		
		NMP/100 ml	M7	29		
		NMP/100 ml	M8	32		
		NMP/100 ml	M9	41		
		NMP/100 ml	M10	69		
NMP/100 ml	M11	17				

**NOTAS:**

Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.

1: LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO, SON COMPARADOS CON LIBRO VI ANEXO 1: TABLA 2: CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y DE ESTUARIOS

**Observaciones:**

\_\_\_\_\_  
**Coordinador de Laboratorio**

\_\_\_\_\_  
**Técnico Responsable**



Universidad  
Católica  
de Cuenca

## CIITT- LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA- HYDROLAB

### HACIENDA MIRACIELOS-RICAURTE

<b>CODIGO:</b> UCC-LCAR-F06	<b>ELABORADO:</b> Ing. Maria Eugenia Quinteros Msc.	<b>ELABORADO Y REVISADO:</b> Ing. Carlos Matovelle B. Msc.	<b>Nº INFORME:</b> IN-CAR-073
<b>CODIGO MUESTRA:</b>	CAR001-CAR011	<b>FECHA DE EMISION DEL INFORME:</b>	
<b>PROYECTO:</b>	"Estudio de la calidad del agua de los ríos Zhamzham y Pucuhuayco de la provincia del Cañar mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA)"	<b>SOLICITANTE:</b>	Nathaly Ojeda Juan Pablo Pacheco
<b>UNIDAD ACADEMICA SOLICITANTE:</b>		<b>RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:</b>	
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Agua Residual	<b>MODO DE CONSERVACIÓN:</b>	
<b>FECHA DE RECOLECCION DE MUESTRAS:</b>	15/11/2022	<b>HORA DE RECOLECCION:</b>	8:15
<b>FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS:</b>	16/11/2022	<b>HORA DE RECEPCION:</b>	8:30
<b>FECHA DE INICIO DE ENSAYOS</b>	16/11/2022	<b>FECHA DE FIN DE ENSAYOS:</b>	21/11/2022

Análisis	Método de Referencia / Método Interno	Unidad	MUESTRA			
			Día	Resultados 21-050	Valores máximos permisibles	Límite de cuantificación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Método 5210-Literal D. Técnica: Respirométrica	mg/L	M1	9,0	20 mg/L	0-700 mg/L
		mg/L	M2	59,0		
		mg/L	M3	33,9		
		mg/L	M4	20,5		
		mg/L	M5	35,0		
		mg/L	M6	47,5		
		mg/L	M7	46,0		
		mg/L	M8	11,9		
		mg/L	M9	41,9		
		mg/L	M10	7,0		
		mg/L	M11	81,9		
		mg/L	M12	10,8		
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Método 5220-Literal D. Técnica: Espectrofotometría	mg/L	M1	34,5	40 mg/L	20-1500 mg/L
		mg/L	M2	142		
		mg/L	M3	48,5		
		mg/L	M4	78		
		mg/L	M5	76,5		
		mg/L	M6	142		
		mg/L	M7	124		
		mg/L	M8	27		
		mg/L	M9	140,5		
		mg/L	M10	20		
		mg/L	M11	132		
		mg/L	M12	18		
		mg/L	M1	15,2		
		mg/L	M2	22,2		
		mg/L	M3	4,5		

Nitratos	Método 4500-NO3 Literal: E. Técnica: Espectrofotometría	mg/L	M4	7,8	13 mg/L	0,3-30 mg/L
		mg/L	M5	6		
		mg/L	M6	2,4		
		mg/L	M7	4,6		
		mg/L	M8	4,9		
		mg/L	M9	2,3		
		mg/L	M10	9,5		
		mg/L	M11	22,4		
		mg/L	M12	75,4		
		Fosfatos	Método 4500-P Literal:E Técnica: Espectrofotometría	mg/L		
mg/L	M2			5,18		
mg/L	M3			1,08		
mg/L	M4			2,14		
mg/L	M5			5,15		
mg/L	M6			5,21		
mg/L	M7			1,97		
mg/L	M8			0,73		
mg/L	M9			0,9		
mg/L	M10			1,16		
mg/L	M11			4,95		
mg/L	M12			9,18		
Sólidos Suspendidos	Técnica:Gravimetría	mg/L	M1	140	No aplica	No aplica
		mg/L	M2	70		
		mg/L	M3	15		
		mg/L	M4	15		
		mg/L	M5	25		
		mg/L	M6	155		
		mg/L	M7	55		
		mg/L	M8	140		
		mg/L	M9	30		
		mg/L	M10	95		
		mg/L	M11	380		
		mg/L	M12	260		
Turbidez	Método 2130-Literal: B	NTU	M1	5,15	No aplica	No aplica
		NTU	M2	50,7		
		NTU	M3	15,6		
		NTU	M4	22,7		
		NTU	M5	8,07		
		NTU	M6	6,05		
		NTU	M7	7,08		
		NTU	M8	2,15		
		NTU	M9	10,2		
		NTU	M10	10,8		
		NTU	M11	90		
		NTU	M12	337		
	Método 9223	NMP/100 ml	M1	< 1.1		
		NMP/100 ml	M2	130		
		NMP/100 ml	M3	1,8		
		NMP/100 ml	M4	7,2		
		NMP/100 ml	M5	9		

Coliformes Fecales	Literal: B Técnica: Tubos múltiples	NMP/100 ml	M6	3,6	No aplica	0 - >1600 NMP/100 ml
		NMP/100 ml	M7	< 1.1		
		NMP/100 ml	M8	< 1.1		
		NMP/100 ml	M9	7,3		
		NMP/100 ml	M10	9,1		
		NMP/100 ml	M11	79		
		NMP/100 ml	M12	95		

<b>NOTAS:</b>	1: LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO, SON COMPARADOS CON LIBRO VI ANEXO 1: TABLA 2: CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y DE ESTUARIOS
Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.	

**Observaciones:**

	
_____ <b>Coordinador de Laboratorio</b>	_____ <b>Técnico Responsable</b>



Universidad  
Católica  
de Cuenca

## CIITT- LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA- HYDROLAB

### HACIENDA MIRACIELOS-RICAURTE

<b>CODIGO:</b> UCC-LCAR-F06	<b>ELABORADO:</b> Ing. Maria Eugenia Quinteros Msc.	<b>ELABORADO Y REVISADO:</b> Ing. Carlos Matovelle B. Msc.	<b>Nº INFORME:</b> IN-CAR-077
<b>CODIGO MUESTRA:</b>	CAR001-CAR011	<b>FECHA DE EMISION DEL INFORME:</b>	3/1/2023
<b>PROYECTO:</b>	"Estudio de la calidad del agua de los ríos Zhamzham y Pucuhuayco de la provincia del Cañar mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA)"	<b>SOLICITANTE:</b>	Nathaly Ojeda Juan Pablo Pacheco
<b>UNIDAD ACADEMICA SOLICITANTE:</b>		<b>RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:</b>	
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Agua Residual	<b>MODO DE CONSERVACIÓN:</b>	
<b>FECHA DE RECOLECCION DE MUESTRAS:</b>	7/12/2022	<b>HORA DE RECOLECCION:</b>	8:15
<b>FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS:</b>	7/12/2022	<b>HORA DE RECEPCION:</b>	8:30
<b>FECHA DE INICIO DE ENSAYOS</b>	8/12/2022	<b>FECHA DE FIN DE ENSAYOS:</b>	13/12/2022

Análisis	Método de Referencia / Método Interno	Unidad	MUESTRA			
			Día	Resultados 21-050	Valores máximos permisibles	Límite de cuantificación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Método 5210-Literal D. Técnica: Respirométrica	mg/L	M1	4,5	20 mg/L	0-700 mg/L
		mg/L	M2	51,0		
		mg/L	M3	45,6		
		mg/L	M4	2,8		
		mg/L	M5	18,3		
		mg/L	M6	32,0		
		mg/L	M7	32,0		
		mg/L	M8	0,0		
		mg/L	M9	13,7		
		mg/L	M10	0,0		
		mg/L	M11	76,5		
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Método 5220-Literal D. Técnica: Espectrofotometría	mg/L	M1	22	40 mg/L	20-1500 mg/L
		mg/L	M2	216		
		mg/L	M3	48		
		mg/L	M4	95		
		mg/L	M5	50		
		mg/L	M6	53		
		mg/L	M7	41		
		mg/L	M8	27		
		mg/L	M9	39		
		mg/L	M10	8		
		mg/L	M11	222		
	Método 4500-NO3 Literal: F	mg/L	M1	4,8		
		mg/L	M2	18,5		
		mg/L	M3	5,3		
		mg/L	M4	8,1		
		mg/L	M5	12		

Nitratos	Literal: E. Técnica: Espectrofotometría	mg/L	M6	11,1	13 mg/L	0,3-30 mg/L
		mg/L	M7	1,1		
		mg/L	M8	2,7		
		mg/L	M9	7,2		
		mg/L	M10	5,2		
		mg/L	M11	23		
Fosfatos	Método 4500-P Literal:E Técnica: Espectrofotometría	mg/L	M1	2,27	No aplica	0,02-2,5 mg/L
		mg/L	M2	4,89		
		mg/L	M3	1,28		
		mg/L	M4	2,67		
		mg/L	M5	4,16		
		mg/L	M6	5,24		
		mg/L	M7	3,38		
		mg/L	M8	0,55		
		mg/L	M9	0,92		
		mg/L	M10	1,23		
		mg/L	M11	4,46		
Sólidos Suspendidos	Técnica:Gravimetría	mg/L	M1	415	No aplica	No aplica
		mg/L	M2	150		
		mg/L	M3	220		
		mg/L	M4	35		
		mg/L	M5	20		
		mg/L	M6	25		
		mg/L	M7	20		
		mg/L	M8	20		
		mg/L	M9	5		
		mg/L	M10	15		
		mg/L	M11	140		
Turbidez	Método 2130-Literal: B	NTU	M1	5,21	No aplica	No aplica
		NTU	M2	50,8		
		NTU	M3	11		
		NTU	M4	22,4		
		NTU	M5	4,42		
		NTU	M6	6,37		
		NTU	M7	19,1		
		NTU	M8	7,25		
		NTU	M9	7,02		
		NTU	M10	7,03		
		NTU	M11	107		
Coliformes Fecales	Método 9223 Literal:B Técnica: Tubos múltiples	NMP/100 ml	M1	<1,1	No aplica	0 - >1600 NMP/100 ml
		NMP/100 ml	M2	79		
		NMP/100 ml	M3	<1,1		
		NMP/100 ml	M4	7,4		
		NMP/100 ml	M5	7,5		
		NMP/100 ml	M6	4,4		
		NMP/100 ml	M7	<1,1		
		NMP/100 ml	M8	<1,1		
		NMP/100 ml	M9	5,6		
		NMP/100 ml	M10	7,3		
		NMP/100 ml	M11	95		

<b>NOTAS:</b>	<b>1: LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO, SON COMPARADOS CON LIBRO VI ANEXO 1: TABLA 2: CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y DE ESTUARIOS</b>
Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.	

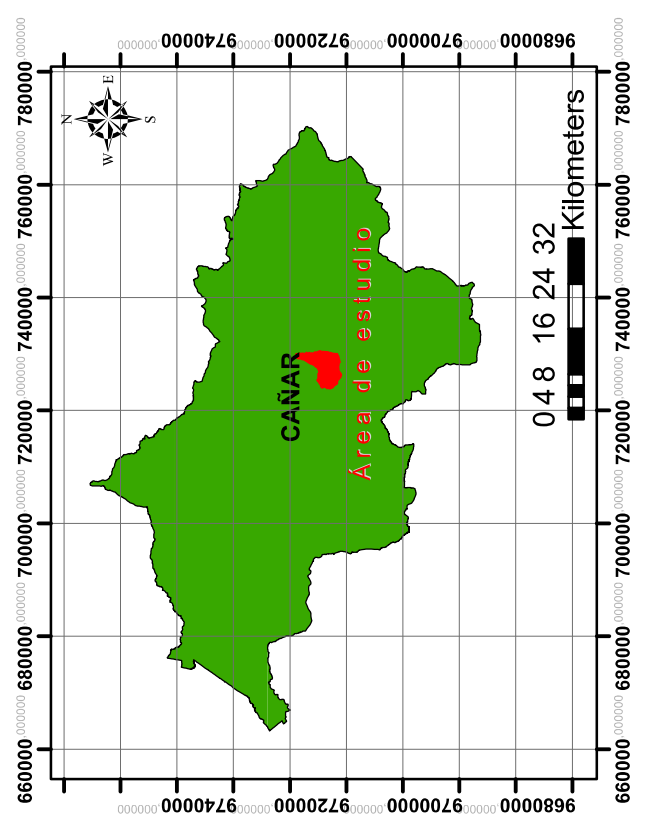
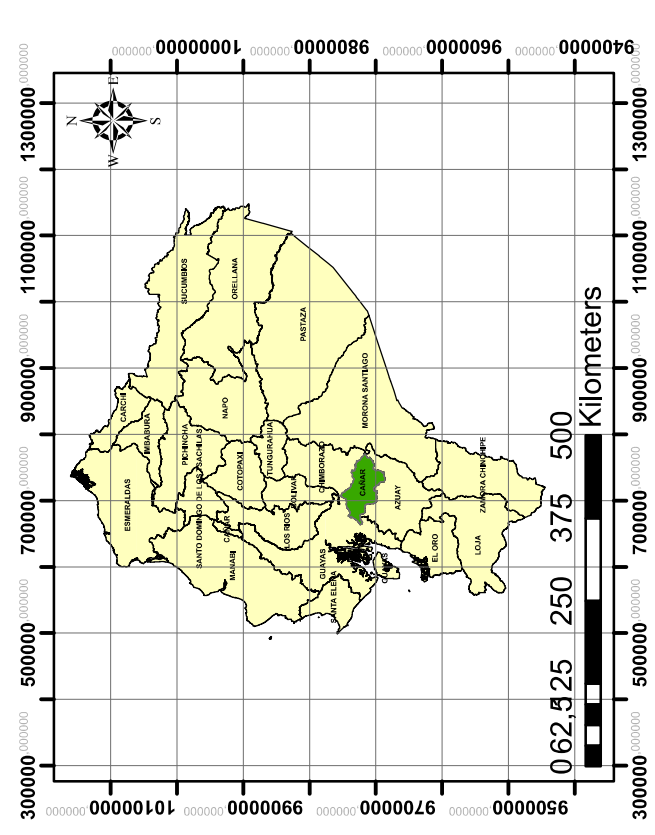
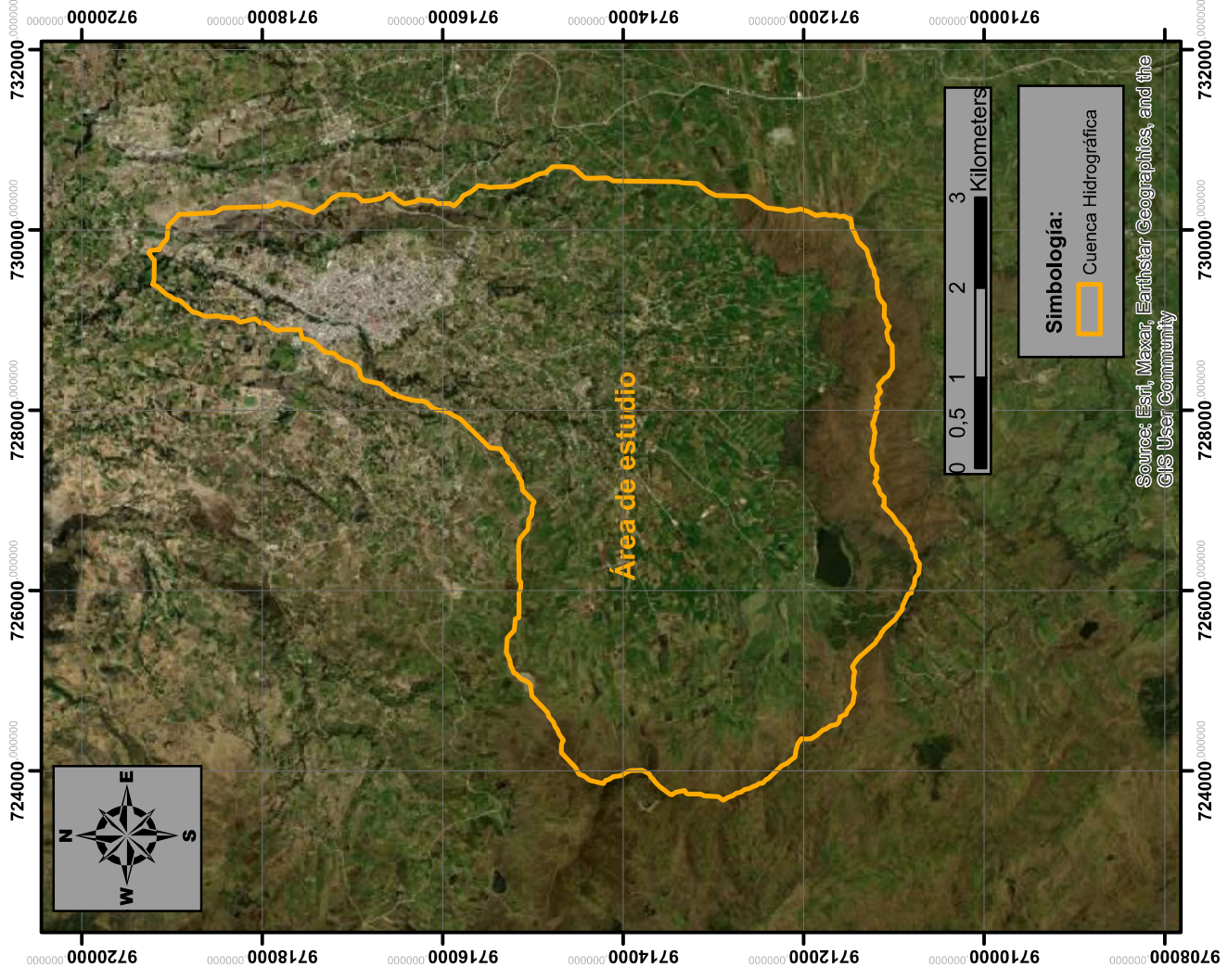
**Observaciones:**

 	
<b>Coordinador de Laboratorio</b>	<b>Técnico Responsable</b>

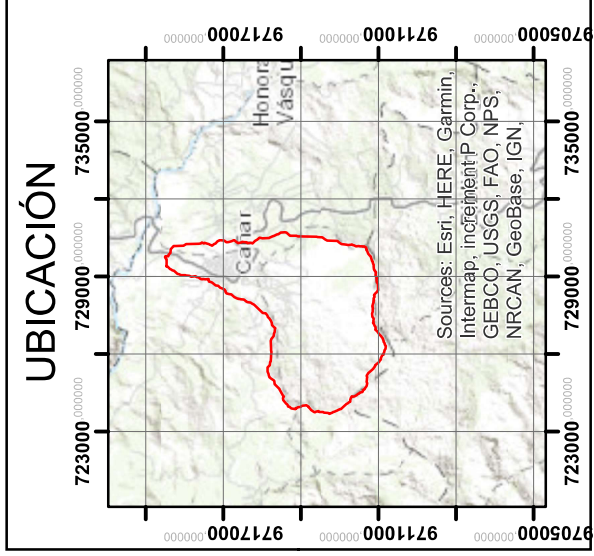
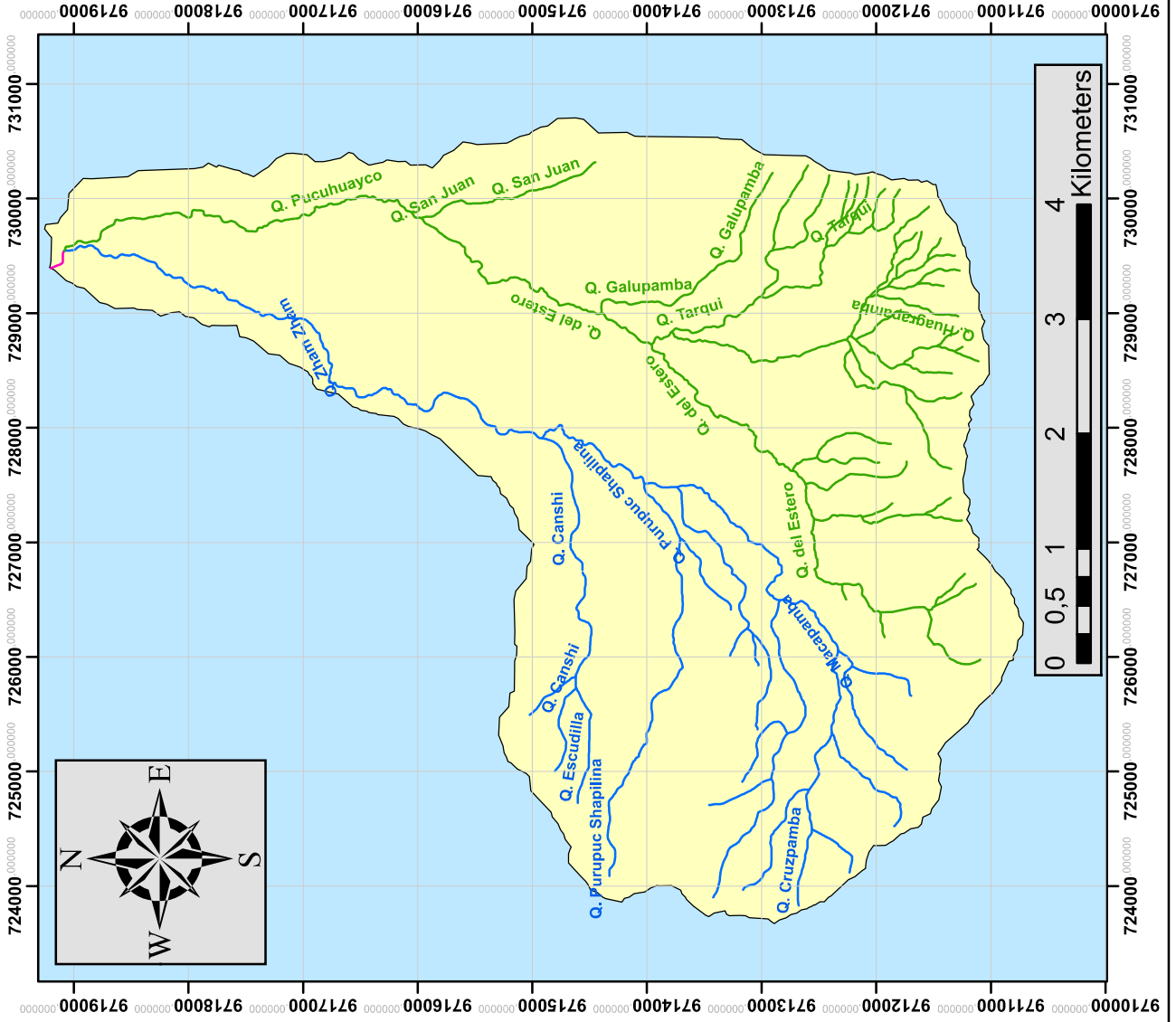
## **ANEXO 5.**

**Mapas de la zona de estudio, cuenca hidrográfica, cobertura del suelo, puntos de monitoreo y descargas de los ríos Pucuhuayco y Zhamzham.**

# MAPA DE UBICACIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO DE CAÑAR



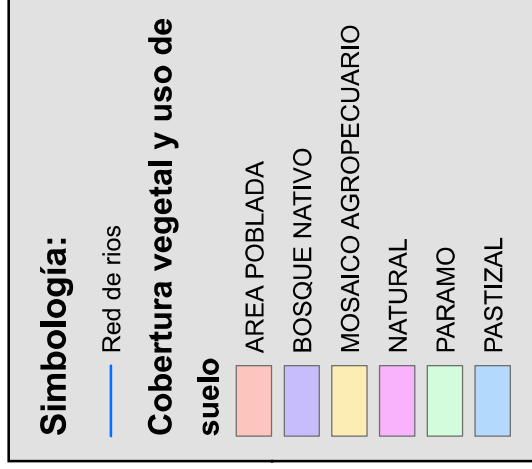
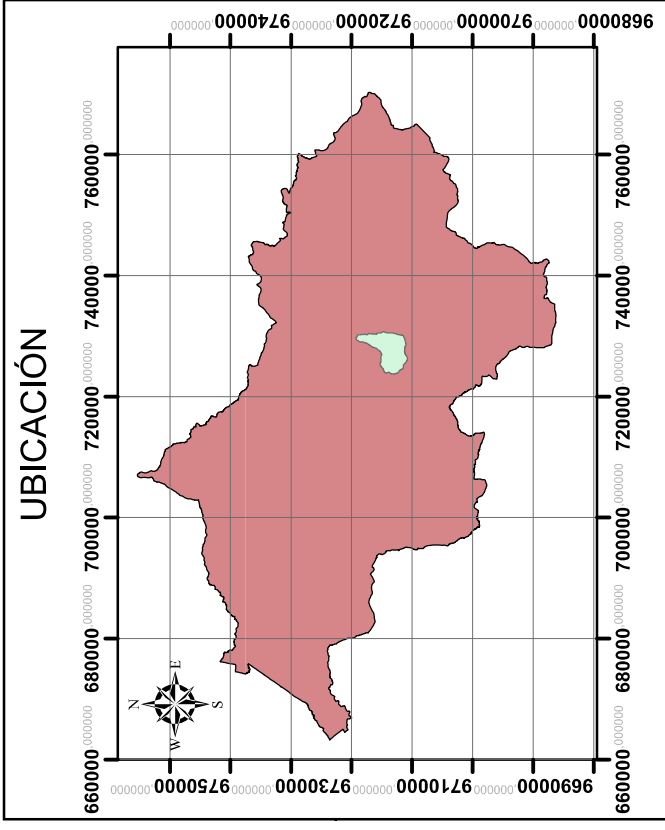
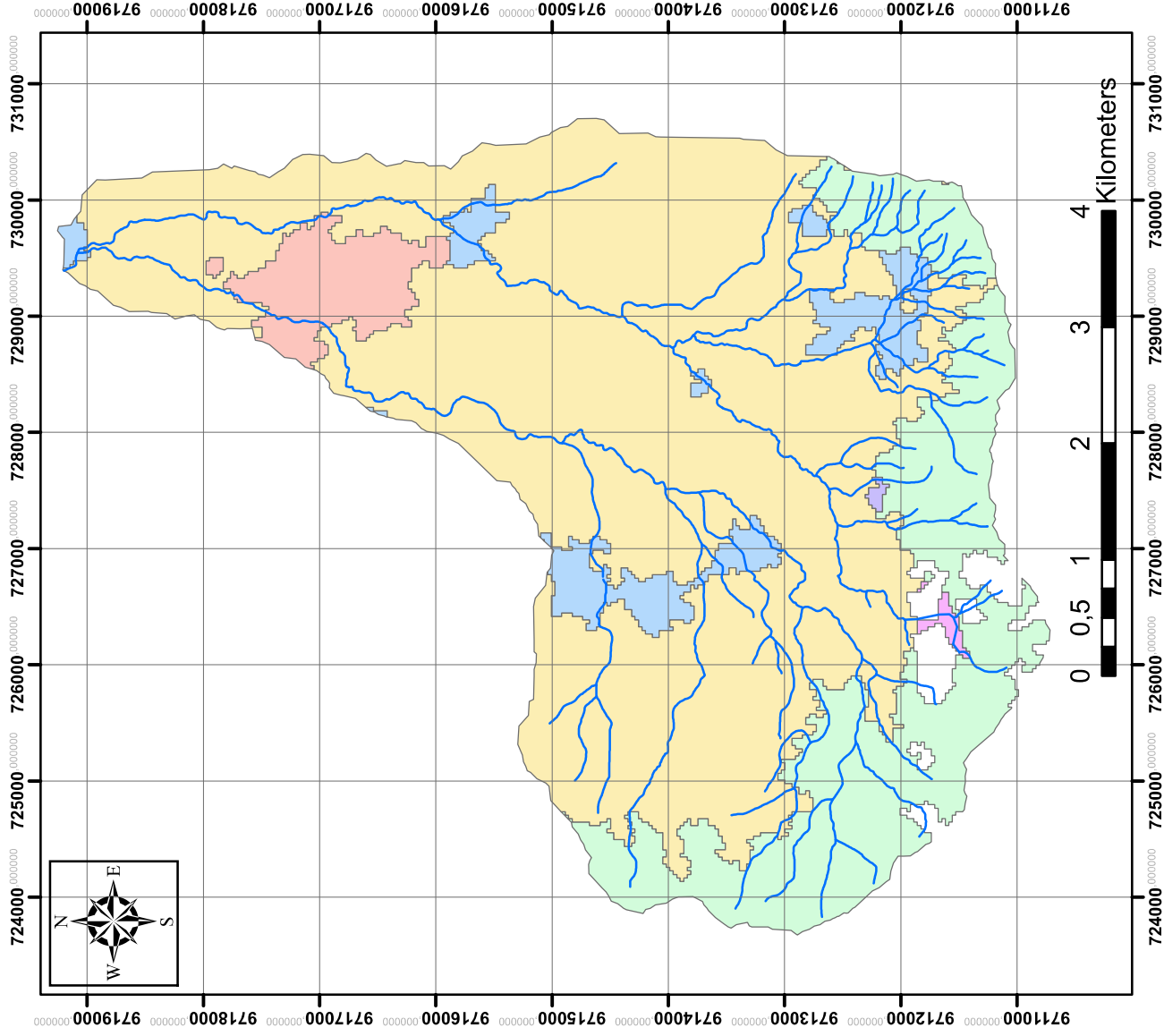
# MAPA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA Y RED DE RIOS



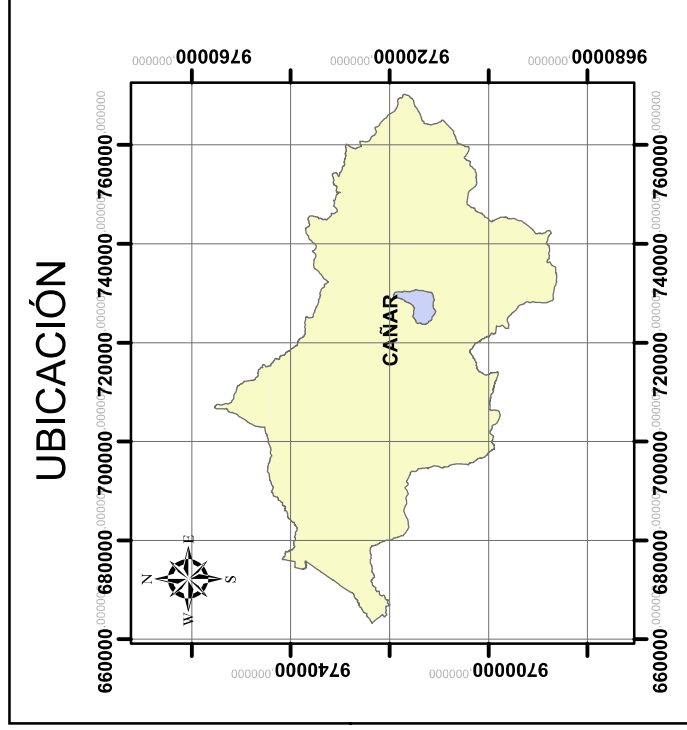
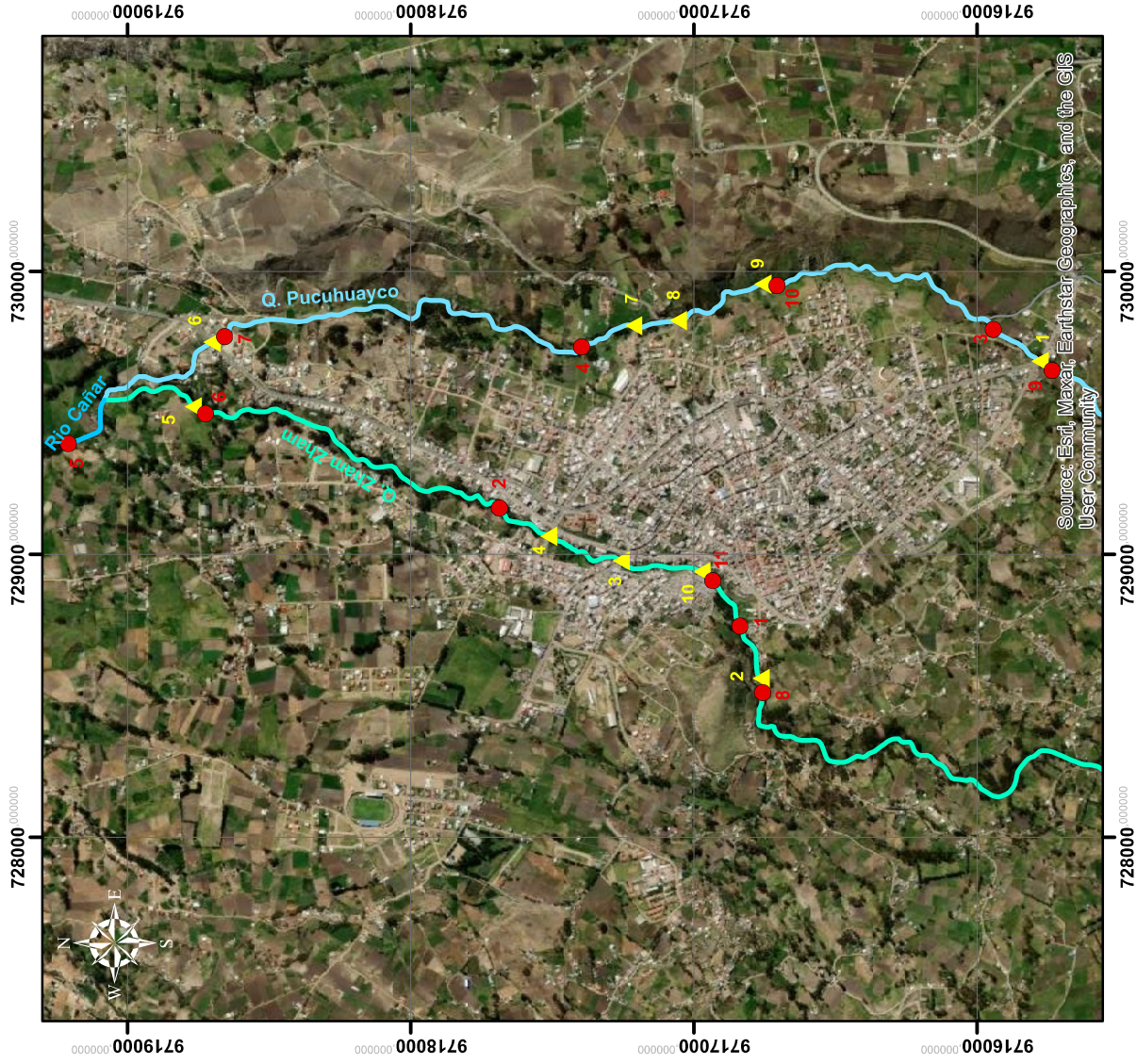
## Simbología:

- Q. Pucuhuayco
- Q. Zham Zham
- Rio Cañar
- Cuenca Hidrografica
- Cañar

# COBERTURA VEGETAL Y USO DE SUELO



# MAPA DE ESTACIONES DE DESCARGA Y MUESTREO



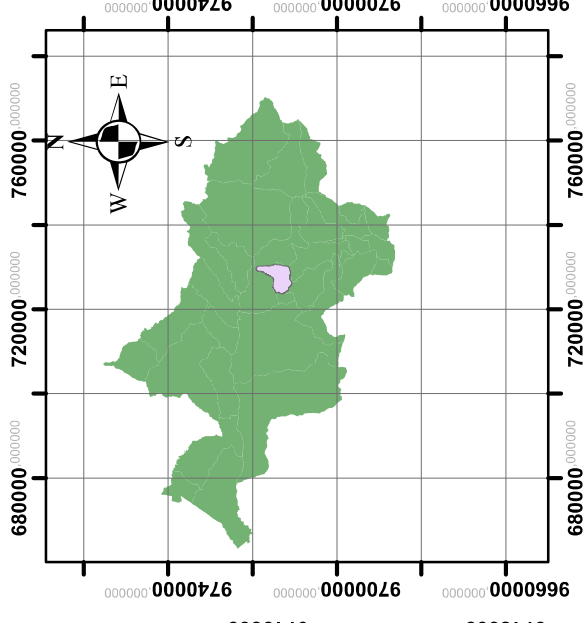
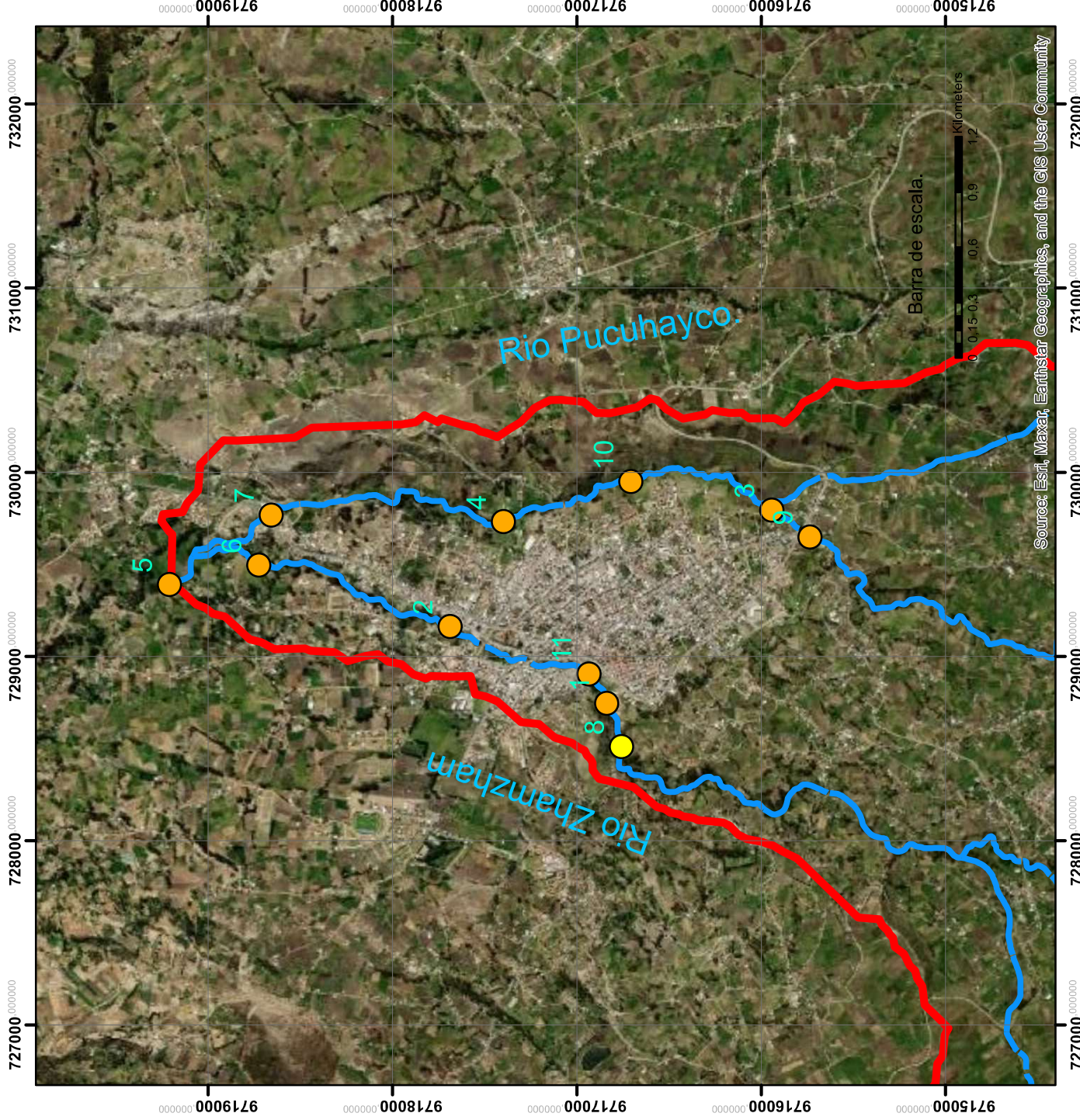
## Simbología:

- Puntos de monitoreo
- ▲ Puntos descarga
- Rio Cañar
- Q. Zham Zham
- Q. Pucuhuayco
- Quebradas

## **ANEXO 6.**

**Mapas de ubicación de domiciliarias y el estado de cómo se encuentra la calidad del agua en cada estación para los ríos Pucuhuayco y Zhamzham.**

# MAPA DE CALIDAD DE AGUA EN CADA PUNTO DE MUESTREO (OCTUBRE).



## Simbología.



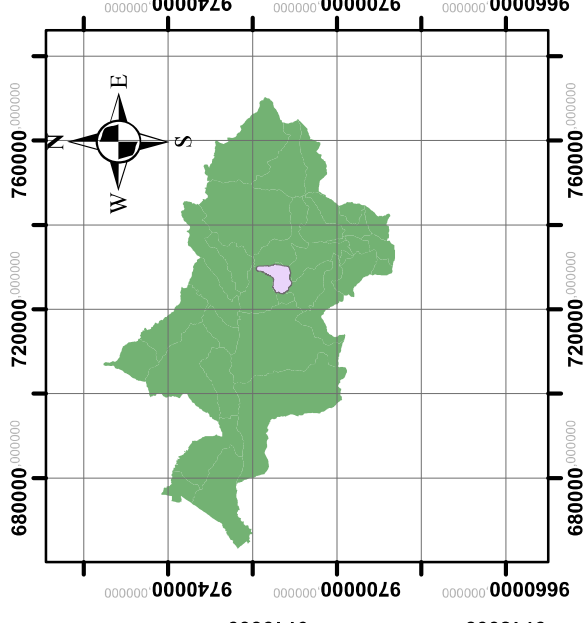
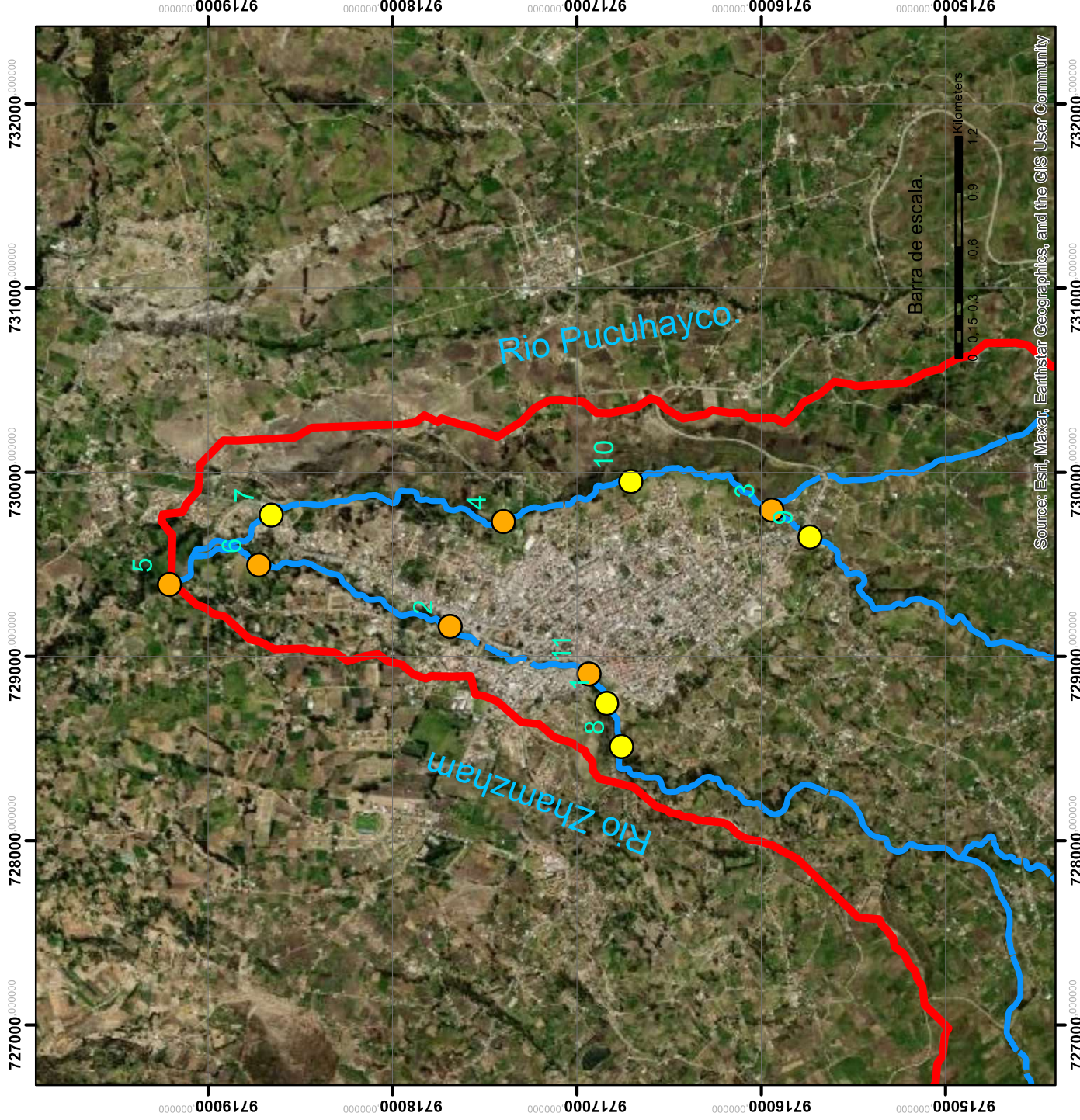
Hydrografia



Cuenca hidrográfica

Calidad de agua	Rango
Exelente	91-100
Buena	71-90
Regular	51-70
Mala	26-50
Pesima	0-25

# MAPA DE CALIDAD DE AGUA EN CADA PUNTO DE MUESTREO (NOVIEMBRE).



## Simbología.



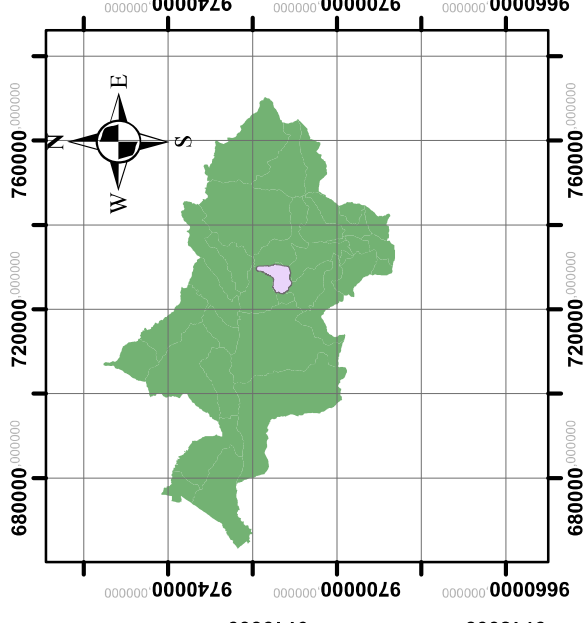
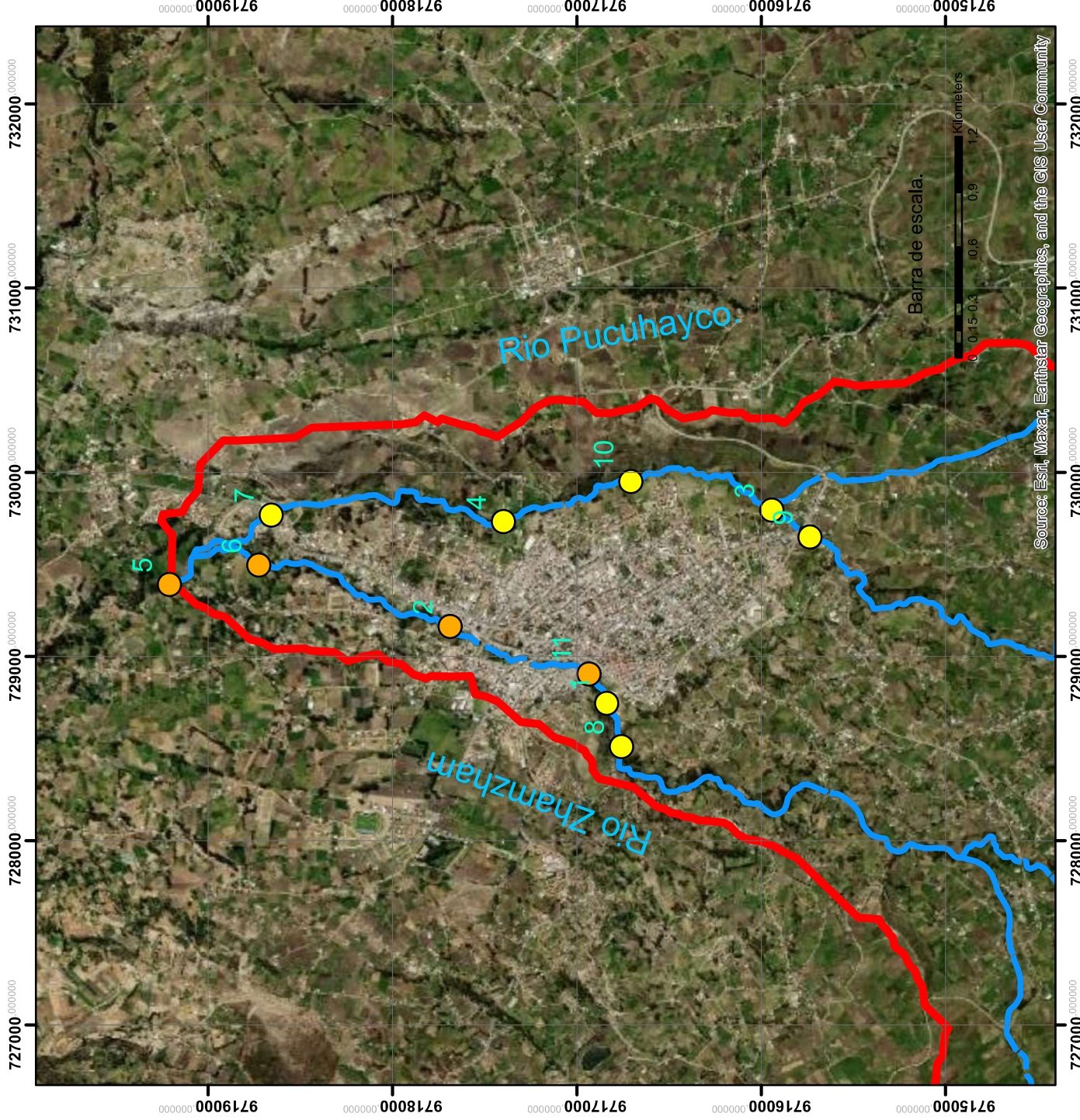
Hydrografia



Cuenca hidrográfica

Calidad de agua	Rango
Exelente	91-100
Buena	71-90
Regular	51-70
Mala	26-50
Pesima	0-25

# MAPA DE CALIDAD DE AGUA EN CADA PUNTO DE MUESTREO (DICIEMBRE).



## Simbología.



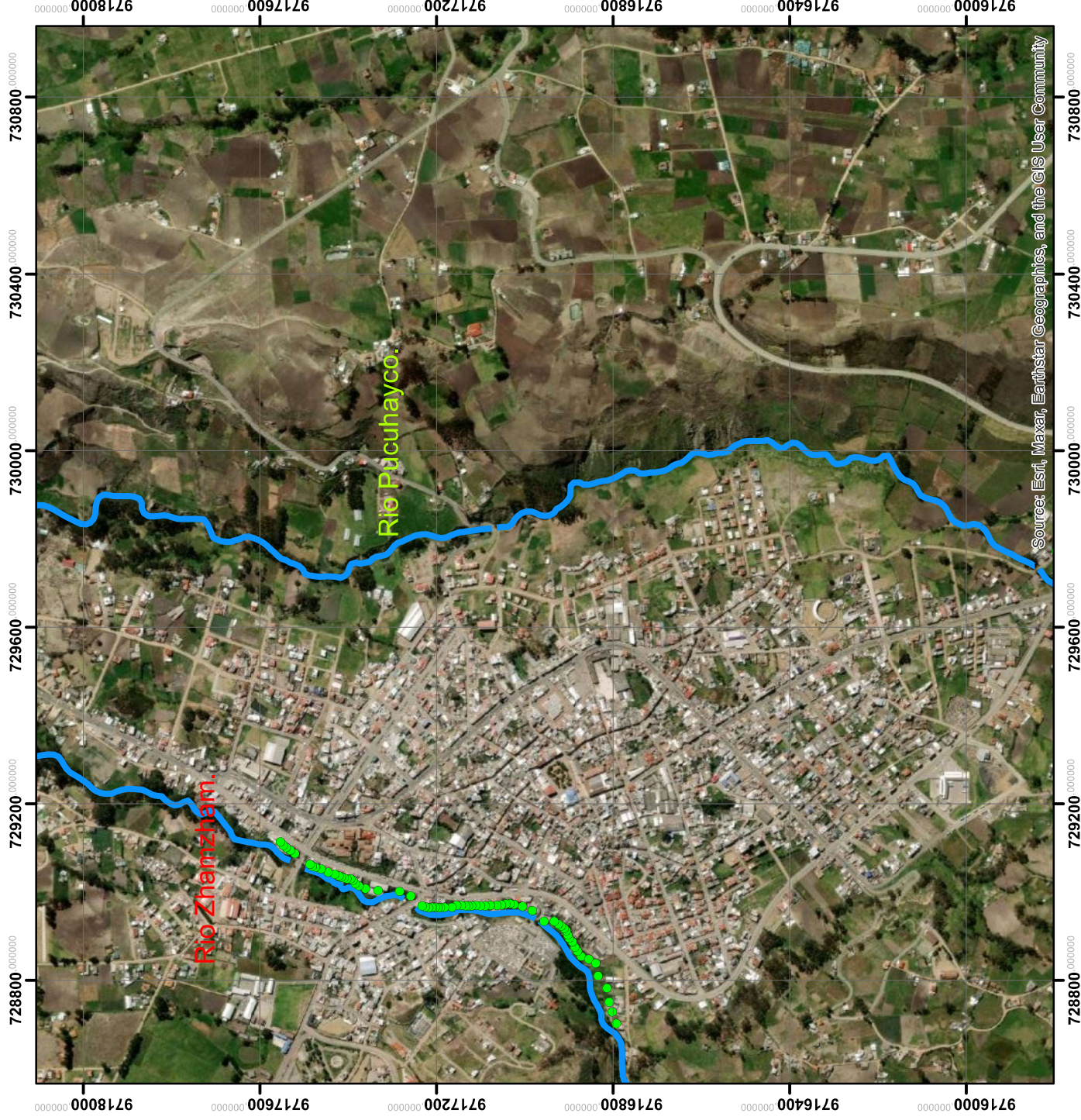
Hydrografia



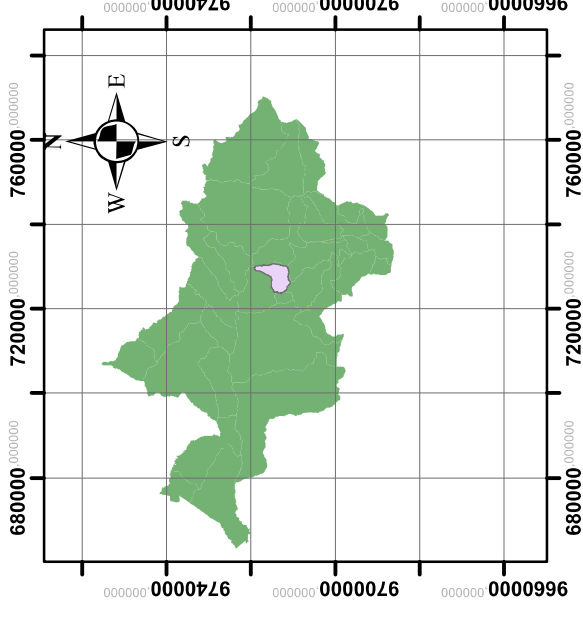
Cuenca hidrográfica

Calidad de agua	Rango
Exelente	91-100
Buena	71-90
Regular	51-70
Mala	26-50
Pesima	0-25

# Mapa de descargas domiciliarias.



Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community

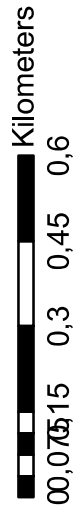


## Simbología.

● Descargas directas

— Rios de la zona.

Barra de escala.



## AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, **Lady Nathaly Ojeda García** portador de la cédula de ciudadanía N.º 0104777776 y **Juan Pablo Pacheco Buñay** portador de la cedula de ciudadanía N.º 0350155842. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “**ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RIOS ZHAMZHAM Y PUCUHUAYCO DE LA CIUDAD DE CAÑAR MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)**”, de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 28 de febrero de 2023.

F:  .....

Lady Nathaly Ojeda García.

010477777-6

F:  .....

Juan Pablo Pacheco Buñay.

035015584-2