



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE MAGISTER EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL**

**TEMA: ESTUDIO PARA LA SELECCIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO –
QUÍMICOS EN PLANES DE MUESTREO DE CALIDAD DEL AGUA
SUPERFICIAL, APLICADO AL RÍO TOMBAMBA**

AUTOR: MINA CEVALLOS, EVELYN ADRIANA

DIRECTOR: ING. CARRILLO VILLARROEL, HERNÁN HUBERTO MSc.

SANGOLQUÍ

2019



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSGRADOS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "*ESTUDIO PARA LA SELECCIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO – QUÍMICOS EN PLANES DE MUESTREO DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL, APLICADO AL RÍO TOMEBAMBA*" fue realizado por la señorita *MINA CEVALLOS, EVELYN ADRIANA*, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 27 de Mayo del 2019

Firma:

ING. HERNÁN HUMBERTO CARRILLO VILLARROEL, MSc.

C.C.: 0501902225



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **MINA CEVALLOS, EVELYN ADRIANA**, con cédula de ciudadanía n° 1716634504, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“ESTUDIO PARA LA SELECCIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO – QUÍMICOS EN PLANES DE MUESTREO DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL, APLICADO AL RÍO TOMBAMBA”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 27 de Mayo del 2019

Firma:

EVELYN ADRIANA MINA CEVALLOS

C.C:1716634504



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

AUTORIZACIÓN

Yo, **MINA CEVALLOS, EVELYN ADRIANA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“ESTUDIO PARA LA SELECCIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO – QUÍMICOS EN PLANES DE MUESTREO DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL, APLICADO AL RÍO TOMBAMBA”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 27 de Mayo del 2019

Firma:

EVELYN ADRIANA MINA CEVALLOS

C.C:1716634504

DEDICATORIA

A Dios el Creador de los cielos y la tierra, Gran Yo Soy, quien al confiarme este trabajo y hacerlo posible, me mostró de Su hermosa creación, la importancia del agua para la vida; y, me permite conocerle a diario.

A mi papá Víctor Mina, quien ha sido ejemplo de sabiduría, perseverancia y honestidad, exigente conmigo sabiendo de qué madera Dios me hizo, pero dador de consuelo en mis debilidades. A mi madre Blanca Cevallos+, a ella, hermosa y esforzada mujer, quien supo incentivar desde niña, el amor que Dios puso en mi corazón por la naturaleza, a quien espero honrar, aunque no pueda verla ahora...pero nos veremos pronto. A mis valientes ñaños y ñaña, Ricardo, Maximiliano, Manuel, Pablo y Mariana, apoyo diario en mi caminar por la vida, razón de muchas alegrías, mis compañeros de varios llantos, pero de muchas más risas y carcajadas.

A mis profesores, quienes se dedican con ahínco en la enseñanza de las materias de sustento para la gestión ambiental.

A mis hermanos(as) en Cristo y, mis amigos (as); que no se cansaron de darme aliento, me impulsaron a seguir aun cuando me daba por vencida.

A quienes de una u otra forma me ayudaron para que este trabajo fuera posible y me enseñaron a ser optimista a pesar de los momentos de cansancio y desánimo.

A todos quienes luchan a diario a pesar de las dificultades, y no dejan de proteger el bien común y accesible para la vida de todos: el agua.

AGRADECIMIENTO

A Dios por renovar mis fuerzas cada mañana, por rescatarme y hacerme saber que está de mi lado y me ama constantemente; por haberme defendido en cada batalla y mostrarme la bendición en medio de la tormenta.

A mi familia, mi papá, hermanos y hermana, por: apoyarme incansablemente, empezando por los ánimos diarios; darme el sostén ante las enfermedades; el alimento preparado y servido cuando no tenía tiempo de hacerlo yo; por despertarme cuando no podía hacerlo con mis propias fuerzas; por hacerme compañía y escucharme; por su esfuerzo para que lograra culminar mis estudios.

A los docentes: Hernán Carrillo, Margarita Haro y Marco Terán.

A la Secretaría del Agua y las autoridades de la Subsecretaría Técnica de Recursos Hídricos – Dirección de Gestión de Calidad del Agua de turno en los años 2018 y Julio de 2019.

A las instituciones ETAPA-EP y LANCAS – INAMHI; en especial al personal técnico: Cecilia Arizaga y Jeaneth Cartagena (respectivamente).

A las personas que aportaron técnicamente a este estudio: Manuel Mina, Verónica Ríos, Maximiliano Mina, Pablo Mina, Emilia Salcedo, Diego Reinoso y Gabriela Carrera.

A quienes estuvieron pendientes de mí durante este proceso, brindándome su apoyo: Andrea Pozo, Jacqueline Velasteguí, Néstor Pozo, Mónica Coral, Verónica Haro, Conny González.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUCCIÓN	17
1.1. Antecedentes de la Investigación.	17
1.2. Justificación e importancia	17
1.3. Objetivos.....	25
1.3.1. Objetivo General	25
1.3.2. Objetivos Específicos	25
1.3.3. Limitaciones del estudio	26
2. MARCO TEÓRICO	27
2.1. Antecedentes investigativos.	27
2.2. Conceptos relacionados a la calidad del agua.....	28
2.3. Importancia de la calidad del agua y su control en el recurso hídrico.	29
2.4. Planes de monitoreo de calidad del agua.....	31
2.4.1. Definición y tipos de monitoreo de calidad del agua	32

2.4.2. Nociones generales para selección de parámetros físico – químicos	33
2.5. Análisis de ciclo de vida corto (ACVC)	34
2.6. Descripción general del área de estudio.....	35
2.7. Descripción general del medio físico en el área de estudio	36
2.8. Descripción general del medio socio – económico del área de estudio.	40
2.9. Normativa relacionada a la calidad del recurso hídrico superficial en el Ecuador ...	42
3. METODOLOGÍA	45
3.1. Selección y delimitación del área de estudio	45
3.2. Recopilación y organización de la información	47
3.2.1. Recopilación de información existente generada de calidad y cantidad del gua para el río Tomebamba	48
3.2.2. Recopilación de información en campo	53
3.2.3. Recopilación de normativas nacionales e internacionales de calidad del agua ...	54
3.3. Análisis de la cantidad del agua en la UH del río Tomebamba	55
3.3.1. Selección de las épocas lluviosa y seca para la UH del río Tomebamba	55
3.3.2. Estimación de caudales en sitios específicos de la UH del río Tomebamba	56
3.4. Técnicas de análisis y evaluación de los datos de calidad del agua en la UH del ríoTomebamba.....	58
3.4.1. Procesamiento, evaluación inicial y depuración de los datos de calidad del agua.....	59
3.4.2. Análisis de los datos de calidad del agua de la UH del río Tomebamba a través de métodos estadísticos.	65
3.4.3. Determinación de cargas contaminantes de parámetros físico – químicos.....	71
3.4.4. Técnicas para el Análisis de calidad del agua en la UH del río Tomebamba, a través del Criterio de rutas.....	72

3.5. Técnicas priorización para la selección de parámetros físico - químicos basadas en el Análisis de Ciclo de Vida Corto.....	73
3.5.1. Selección de los criterios de calidad del agua aplicables para el presente estudio.....	73
3.5.2. Aplicación de criterios de calidad del agua disponibles en normativas internacionales.....	74
3.5.3. Procedimiento de la metodología de Análisis de Ciclo Vida Corto aplicado a los criterios de calidad del agua	76
3.6. Determinación de los parámetros a priorizarse para el monitoreo de la calidad del agua en la UH del río Tomebamba.....	78
3.7. Técnicas para la evaluación de los planes de monitoreo existentes en el río Tomebamba.....	79
3.8. Técnicas para la formulación del modelo procedimental	80
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	81
4.1. Delimitación del Área de estudio y secciones de la UH del río Tomebamba	81
4.2. Resultados de la recopilación y organización de la información	83
4.3. Resultados del Análisis de la cantidad del agua en la UH del río Tomebamba.....	86
4.3.1. Resultados del procesamiento y análisis de datos de cantidad del agua para la selección de las épocas climatológicas (lluviosa y seca)	86
4.3.2. Resultados de la estimación de caudales en sitios específicos de la UH del río Tomebamba.....	95
4.4. Resultados del análisis del comportamiento espacio – temporal de la calidad del agua en la UH del río Tomebamba.....	96
4.4.1. Resultados del procesamiento, evaluación inicial y depuración de los datos de calidad del agua.....	96

4.4.2. Resultados del Análisis de los datos de calidad del agua de la UH del río Tomebamba a través de métodos estadísticos	105
4.4.3. Resultados del Análisis de Componentes Principales de los parámetros monitoreados en la UH del río Tomebamba.	114
4.4.4. Resultados del Análisis de la calidad del agua de la UH del río Tomebamba a través de Geoestadística	115
4.4.5. Resultados del cálculo de cargas contaminantes de parámetros físico-químicos.....	117
4.4.6. Resultados del Análisis de la calidad del agua a través del Criterio de Rutas ...	119
4.5. Resultados del Análisis de Ciclo de Vida Corto (ACVC).....	133
4.5.1. Parámetros de alta peligrosidad cuyos criterios de calidad no se encuentran establecidos en la normativa ambiental nacional.....	133
4.5.2. Parámetros con altos valores de peligrosidad considerados en la normativa nacional.....	135
4.5.3. Resultados del análisis de ciclo de vida corto aplicado a la calidad del agua del río Tomebamba.....	137
4.6. Resultados de la priorización de parámetros físico – químicos en los planes de monitoreo de la UH del río Tomebamba.....	142
4.7. Resultados del análisis multicriterio de los planes de monitoreo existentes en el río Tomebamba.....	145
4.8. Modelo procedimental para la selección de parámetros físico – químicos en planes de muestreo de agua	151
5. CONCLUSIONES	154
6. RECOMENDACIONES	158
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	161
8. ANEXOS	170

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Sitios de la red de monitoreo de ETAPA-EP considerados para el presente estudio.</i>	49
Tabla 2 <i>Sitios de la red de monitoreo de INAMHI considerados para el presente estudio.</i>	51
Tabla 3 <i>Sitios de la red de monitoreo de SENAGUA considerados para el presente estudio.</i>	52
Tabla 4 <i>Evaluaciones específicas en función de factores de influencia en la calidad del agua para los outliers identificados.</i>	64
Tabla 5 <i>Criterios de calidad del agua de la normativa nacional, utilizados para el desarrollo del ACVC.</i>	74
Tabla 6 <i>Normativa internacional aplicada en el ACVC.</i>	75
Tabla 7 <i>Puntos de monitoreo de ETAPA – EP, ubicación en las secciones de la UHT y curso principal del río.</i>	83
Tabla 8 <i>Puntos red de monitoreo de INAMHI, ubicación en las secciones de la UHT y curso principal del río.</i>	85
Tabla 9 <i>Puntos red de monitoreo de SENAGUA, ubicación en las secciones de la UHT y curso principal del río.</i>	86
Tabla 10 <i>Precipitación media mensual multianual en la UH del río Tomebamba.</i>	87
Tabla 11 <i>Meses de épocas lluviosa y seca determinadas para el presente estudio.</i>	95
Tabla 12 <i>Determinación de caudales estimados en diferentes secciones de la UHT.</i> ...	95
Tabla 13 <i>Resumen de información reportada por ETAPA-EP, SENAGUA e INAMHI.</i>	98
Tabla 14 <i>Tabla comparativa de la cantidad de datos disponible por cada institución.</i> ...	99
Tabla 15 <i>Porcentaje de datos faltantes en la sección alta, media y baja. Datos tomados de ETAPA-EP.</i>	102

Tabla 16 <i>Porcentajes de outliers identificados, datos eliminados y conservados para las secciones alta y media de la UHT.</i>	105
Tabla 17 <i>Resumen de resultados del análisis de normalidad de datos de calidad del agua.</i>	111
Tabla 18 <i>Porcentaje de Varianza Componente Principal 1 (CP1).</i>	115
Tabla 19 <i>Resultados de cargas contaminantes de parámetros físico - químicos en las secciones de la UHT.</i>	119
Tabla 20 <i>Resultados del Análisis de Ciclo de Vida Corto, parámetros con los mayores factores de contaminación.</i>	134
Tabla 21 <i>EIUs de los criterios de calidad del agua superficial considerados en la normativa ambiental nacional vigente.</i>	135
Tabla 22 <i>Impacto Ambiental Total y para cada parámetro, en la sección alta de la UHT expresado en EIU/mes</i>	138
Tabla 23 <i>Impacto Ambiental Total y para cada parámetro, sección media de la UHT en EIU/mes.</i>	139
Tabla 24 <i>Impacto Ambiental Total y para cada parámetro, en la sección baja de a UHT expresado en EIU/mes.</i>	140
Tabla 25 <i>Impacto Ambiental Total y para cada parámetro, fuera de la UHT expresado en EIU/mes.</i>	141
Tabla 26 <i>Parámetros priorizados para los planes de monitoreo de calidad del agua en la UH del río Tomebamba, considerando al menos una metodología de análisis.</i>	143
Tabla 27 <i>Tabla final de parámetros priorizados para los planes de monitoreo de calidad del agua en la UH del río Tomebamba.</i>	144
Tabla 28 <i>Número y porcentaje de parámetros monitoreados por las instituciones en función de los parámetros priorizados para la UHT.</i>	146

Tabla 29 <i>Campañas de monitoreo y cantidad de años de levantamiento de información.</i>	147
Tabla 30 <i>Número de puntos ubicados en las secciones alta, media, baja y fuera de la UHT por cada institución.</i>	147
Tabla 31 <i>Frecuencia de monitoreo en función a las épocas seca y lluviosa.</i>	148
Tabla 32 <i>Costo estimado de análisis de parámetros monitoreados por institución</i>	149
Tabla 33 <i>Costo estimado para el análisis de parámetros priorizados a través del presente estudio.</i>	150
Tabla 33 <i>Modelo Procedimental extendido.</i>	152
Tabla 34 <i>Modelo Procedimental simplificado.</i>	153

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Cantones con mayor distribución de permisos de construcción a nivel nacional.	41
<i>Figura 2.</i> Ficha de registro para el levantamiento de información efectuado en la visita de campo.	54
<i>Figura 3.</i> Puntos de la UHT en los cuales se determinó el caudal.	58
<i>Figura 4.</i> Ubicación del área de estudio en la cuenca del río Paute y distribución de puntos en las redes de monitoreo de SENAGUA, INAMHI y ETAPA-EP.	81
<i>Figura 5.</i> Secciones Alta, Media y Baja (UH) 4992896 nivel 7 Pfafstetter del río Tomebamba.....	82
<i>Figura 6.</i> Régimen de precipitaciones sección alta de la UHT.....	88
<i>Figura 7.</i> Régimen de precipitaciones sección baja de la UHT.....	89
<i>Figura 8.</i> Régimen de precipitaciones aguas abajo del punto de cierre de la UH río Tomebamba (UHT).....	89
<i>Figura 9.</i> Climograma Tomebamba.	91
<i>Figura 10.</i> Régimen mensual de las precipitaciones en las cuencas de los ríos Tomebamba y Yanuncay.	93
<i>Figura 11.</i> Variación mensual de precipitación para alrededores ciudad de Cuenca.	94
<i>Figura 12.</i> Gráfica año vs. mes de campañas de monitoreo, vista general de todos los parámetros y puntos de monitoreo.	101
<i>Figura 13.</i> Resultados del ACP, curvas de varianza de los datos.....	114
<i>Figura 14.</i> Criterio de Rutas en función de los puntos de monitoreo, para los parámetros DBO y Oxígeno Disuelto – Periodo Enero - Abril.	120
<i>Figura 15.</i> Gráfico de Rutas para los parámetros Fósforo y Nitratos, período Enero – Abril.	121

<i>Figura 16.</i> Gráfico de Rutas para el parámetro Coliformes Fecales, período Enero – Abril.....	122
<i>Figura 17.</i> Gráfico de Rutas para los parámetros Turbiedad y Sólidos Totales, período Enero – Abril.....	123
<i>Figura 18.</i> Gráfico de Rutas para el Potencial de Hidrógeno, período Enero – Abril....	124
<i>Figura 19.</i> Criterio de Rutas – Concentraciones DBO vs. Años Monitoreo – Sección Media de la UHT.....	125
<i>Figura 20.</i> Criterio de Rutas – Concentraciones CF vs. Años Monitoreo – Sección Media de la UHT.....	126
<i>Figura 21.</i> Criterio de Rutas – Concentraciones OD vs. Años Monitoreo – Sección Media de la UHT.....	127
<i>Figura 22.</i> Criterio de Rutas – Concentraciones ST vs. Años Monitoreo – Sección Media de la UHT.....	128
<i>Figura 23.</i> Criterio de Rutas – Concentraciones pH vs. Años Monitoreo – Sección Media de la UHT.....	129
<i>Figura 24.</i> Criterio de Rutas – Concentraciones Turbiedad vs. Años Monitoreo – Sección Media de la UHT.....	130
<i>Figura 25.</i> Criterio de Rutas – Concentraciones PT vs. Años Monitoreo – Sección Media de la UHT.....	131
<i>Figura 26.</i> Criterio de Rutas – Concentraciones NO ₃ vs. Años Monitoreo – Sección Media de la UHT.....	132

RESUMEN

Hace pocas décadas y hasta la actualidad se conceptualiza erróneamente al agua como recurso renovable e inagotable, lo cual ha resultado en: el uso y/o aprovechamiento indiscriminado del recurso vital, problemas de contaminación al agua, efectos a la salud humana y degradación de ecosistemas. La gestión ambiental es sin duda, pragmática para conservar, preservar y mejorar la calidad de este recurso cada vez más limitado. Ante la creciente necesidad del agua como fuente imprescindible para la vida, es imperante contar con datos representativos para la toma de decisiones que permitan la gestión integrada del recurso hídrico, a través de la ejecución de programas de monitoreo periódicos para el análisis de parámetros físico – químicos, a ser seleccionados en función de la peligrosidad que representan al ambiente. El presente estudio tiene por objeto, desarrollar un modelo procedimental que permita la selección priorizada de parámetros físico – químicos a través del análisis de ciclo de vida corto considerando normativas ambientales nacionales e internacionales; para su aplicación se seleccionó la UH del río Tomebamba (4992896 nivel 7 Pfafstetter); y se evaluó el comportamiento espacio - temporal de la calidad del agua, utilizando datos históricos levantados por varias instituciones. Como resultado, se priorizaron 17 parámetros físico – químicos, que permitirán generar datos válidos para la toma de decisiones en la gestión ambiental, reduciendo los costos de los planes de monitoreo existentes.

PALABRAS CLAVE:

- **CALIDAD DEL AGUA**
- **ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA CORTO**
- **UNIDAD HIDROGRÁFICA**

ABSTRACT

A few decades ago and until now, water is incorrectly conceptualized as a renewable and inexhaustible resource, which has resulted in the indiscriminate use and / or exploitation of this vital resource; this has also generated: problems of water pollution, effects on human health and degradation of ecosystems. Environmental management is undoubtedly essential to conserve, preserve and improve the quality of this resource. Due to the growing need for fresh water as an essential source for life, it is imperative to have representative data for decision making that allows integrated water management, through the execution of periodic monitoring programs for the analysis of physical and chemical parameters, selected according to the danger they represent to the environment. The purpose of this study is to develop a model procedure that allows the selection of priority parameters, through the limited life cycle analysis considering water quality criteria of national and international environmental regulations. HU 4992896 level 7 Pfafstetter, corresponding to the Tomebamba river, was selected for the application of this study. The spatial - temporal behavior of water quality was evaluated, using historical data collected by several institutions. As a result, 17 priority physical - chemical parameters were determined, which will allow the generation of representative data for decision - making in environmental management, reducing the costs of existing monitoring plans.

KEYWORDS:

- **WATER QUALITY**
- **LIMITED LIFE CYCLE ANALYSIS**
- **HYDROGRAPHIC UNIT**

1. INTRODUCCIÓN

1.1. *Antecedentes de la Investigación.*

El mundo se enfrenta a un desafío para conservar la buena calidad del agua y resolver los problemas asociados a la grave y creciente contaminación de este recurso, la cual en muchos casos está fuertemente relacionada con el desarrollo económico, el crecimiento poblacional, la expansión de la agricultura, la industria y la producción de energía; que originan aguas residuales, muchas de las cuales se dirigen a cuerpos de aguas superficiales y subterráneas sin control o sin tratamiento (UN WATER, 2016).

El levantamiento de información permite comprender el desafío mundial de conservar, proteger y mejorar la calidad del agua, ya que de ella dependen los servicios clave de los ecosistemas de agua dulce, como el agua potable, la salud, la biodiversidad y la seguridad alimentaria. (UN WATER, 2016)

1.2. *Justificación e importancia*

A pesar de las evaluaciones preliminares de la calidad del agua, efectuadas recientemente en todo el mundo, se requiere mayor información para identificar de manera acertada, tanto los problemas como las medidas eficaces y eficientes para proteger y mejorar la calidad del agua. La poca disponibilidad de datos hace que sea difícil desarrollar una evaluación integral, a pesar de la necesidad urgente de comprender mejor el estado y los factores que influyen en el recurso vital. (UN WATER, 2016).

En el mes de septiembre del año 2015, los Estados Miembros de las Naciones Unidas acordaron diecisiete (17) Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que rigen en la Nueva Agenda Mundial a partir de Enero de 2016 hasta el año 2030. Los ODS también conocidos como Objetivos Mundiales, sustituyen a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), y son un llamado universal para mejorar la vida de manera sostenible, a través de la adopción de medidas que permitan poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar paz y prosperidad a todas las personas (PNUD, 2018).

El Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS 6) «*garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos*», constituye uno de los principales elementos de apoyo para los ODS descritos en la Agenda 2030, además el agua es un vínculo transversal para todas las facetas del Desarrollo Sostenible tanto para el apoyo al crecimiento inclusivo, la promoción del bienestar humano, la mejoría del ambiente, la reducción de riesgos y aumento de la resiliencia, entre otros (PNUMA, 2017).

Para lograr el ODS 6, es importante la gestión de la calidad del agua a través de la *Meta 6.3 "(...) mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial"*, esta meta considera que la mejoría de la calidad de las aguas es esencial para proteger tanto la salud de los ecosistemas (Meta 6.6 y ODS 14 y 15) como la salud humana (Meta 6.1) (pS-Eau, 2018).

El Indicador Mundial que proporciona un panorama general de la mejoría de la calidad del agua, es el *Indicador 6.3.2 “Proporción de las masas de agua con buena calidad del agua ambiente”* que mediante la obtención de datos a través del monitoreo del agua, permite: describir la situación ambiental de los sistemas de agua dulce (en relación con el indicador 6.6.1); efectuar una evaluación de los efectos del desarrollo humano en la calidad del agua ambiente y definir la posibilidad de futuros servicios de los ecosistemas de las masas de agua (pS-Eau, 2018).

El *Indicador 6.3.2* considera como fuentes de datos nacionales a las instituciones gubernamentales de cada país para el desarrollo y reporte del indicador, además los parámetros de análisis y la metodología de cálculo son tales que pueden adaptarse a las capacidades tecnológicas y operativas de cada país. De manera inicial para la primera fase del reporte mundial del indicador, se realizará el seguimiento a cinco parámetros básicos sobre la calidad del agua y posteriormente, con el objetivo de contar con una mejor resolución temporal y espacial se efectuará la inclusión de más parámetros de calidad del agua, los mismos serán seleccionados por cada país (pS-Eau, 2018).

La Comisión Especial de Estadísticas Ambientales del Ecuador, tiene como uno de sus principales propósitos la revisión, análisis y homologación de los indicadores propuestos en los ODS de la Agenda 2030 de la ONU con la realidad nacional, conservando su comparabilidad con los reportes a nivel mundial. Esta Comisión, realizó la categorización de los indicadores ODS en varias clases según la disponibilidad de información en Ecuador y de conformidad a la denominación “Tier”

de la categoría a nivel internacional (MAE, 2018). De esta forma el indicador ODS 6.3.2 “*Proporción de masas de agua de buena calidad*” corresponde a la categoría Tier II a nivel nacional, lo que indica que es un indicador parcialmente factible de cálculo, sin embargo requiere de las fuentes de información existentes (INEC, S/f).

Actualmente para lograr la comparabilidad del indicador ODS 6.3.2 entre países, se ha sugerido un número de parámetros básicos a reportar, los cuales pueden ser seleccionados por cada país en función de los objetivos y capacidades nacionales; sin embargo los parámetros reportados deben ser representativos para reflejar la calidad de los cuerpos de agua (UN WATER, 2017). En este sentido el presente estudio, al plantear parámetros prioritarios de monitoreo de la calidad del agua ambiente, aportará a la selección de parámetros que podrían ser incluidos en el reporte global del indicador 6.3.2.

En el Ecuador, el Plan Nacional de Desarrollo (PND) “*Toda una vida*”, es el instrumento al que se sujetarán: las políticas, programas y proyectos públicos; la programación y ejecución del presupuesto del Estado; la inversión y la asignación de los recursos públicos; y la coordinación de las competencias exclusivas entre el Estado Central y los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) (Asamblea Nacional, 2008).

El PND para el período comprendido entre los años 2017 al 2021, presenta como lineamiento territorial para la “*Gestión del hábitat para la sustentabilidad ambiental y la gestión de riesgos*” el “*Promover una gestión corresponsable del patrimonio hídrico*”

para precautelar su calidad, disponibilidad y uso adecuado, (...)” además señala sobre la afectación a los recursos hídricos existente en el Ecuador, debida al vertimiento de aguas residuales, la disposición final de residuos sólidos, agroquímicos y nutrientes. Por ello afirma que es necesario generar información sobre el estado de las fuentes hídricas, los balances hídricos, el control de la calidad; así como fortalecer el trabajo entre Gobierno Central y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, para un manejo sustentable del agua (SENPLADES, 2017).

La implementación efectiva de la gestión integrada de los recursos hídricos involucra varios elementos, entre los cuales es importante destacar: el establecimiento de planes de monitoreo de la calidad y cantidad del agua, el compromiso de todos los usuarios del agua y, la toma de decisiones para el desarrollo y ejecución de políticas y lineamientos técnicos basados en información confiable (UN ENVIRONMENT, 2018).

A nivel nacional diversos organismos realizan muestreos de la calidad del agua, pero sin que se haga de forma articulada, planificada y coordinada. Por lo que aún no existe la integración de la información del recurso hídrico para la toma de decisiones que den solución a los problemas de contaminación del agua (CEPAL, 2012).

En el Ecuador hasta el año 2014, no se habían generado legislaciones que establezcan de manera prioritaria la interacción de actores con el objeto de acceder, recoger, almacenar y transformar datos que resulte en contar con una red de información para la gestión integral del recurso hídrico.

En este sentido a través de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua (LORHUyA) publicada en agosto de 2014, se establece la creación y adecuada administración del Registro Público del Agua (RPA), con el objetivo de que la información hídrica: autorizaciones de uso y de aprovechamiento del agua, datos de calidad del agua y vertidos, balances hídricos, entre otros; se encuentre accesible en una sola base de información (Asamblea Nacional, 2014).

Por lo tanto, es indispensable el desarrollo de modelos procedimentales como insumo en el establecimiento de directrices para el levantamiento de información representativa y confiable de la calidad del agua a nivel nacional. Así también resulta de interés tanto para las instituciones vinculadas a la gestión del recurso hídrico, los usuarios del agua y la Academia, disponer de un marco metodológico que oriente la identificación, comprensión y evaluación de datos para la toma de decisiones ambientales en el sector hídrico (Morán & Bianchi, 2006).

De esta manera es de suma importancia evaluar la forma en que, en la actualidad, se seleccionan los parámetros para un programa de muestreo y, plantear una mejor estrategia para la programación de monitoreos de control de la calidad del agua. Por lo tanto, se deben considerar en términos ambientales, qué parámetros se requieren analizar y cuáles se podrían descartar dentro de un plan de monitoreo periódico, con orientación a utilizar criterios técnicos para priorización de parámetros según su peligrosidad al ambiente.

En consecuencia, a través del presente estudio se contará con la alternativa para una mejor administración de los recursos económicos y optimización de costos, así como el tiempo y esfuerzo que demanda la vigilancia de la calidad del agua, mejorando la representatividad y utilidad de los parámetros monitoreados entorno a la gestión ambiental.

Mediante el análisis multitemporal y territorial de la calidad del agua junto al Análisis de Ciclo de Vida Corto, esta metodología permitirá discernir cuáles son los parámetros más importantes para ser evaluados en un monitoreo de calidad del agua dulce superficial y, generar datos que son esenciales para la interpretación significativa en la gestión hídrica y ambiental; evitando la recolección de una vasta cantidad de datos innecesarios que son costosos de obtener y determinando los parámetros que ameritan ser monitoreados en función de su peligrosidad para el ambiente.

Con miras a la aplicación de la metodología propuesta en la presente investigación a nivel nacional, la selección del área de estudio se realizó a través de la delimitación y codificación de aplicación global Pfafstetter; método que considera la topología de la red hidrográfica y permite su jerarquización a través de Sistemas de Información Geográfica (ANA, S/f). El código numérico asignado a las Unidades Hidrográficas (UH) es único y corresponde a su ubicación dentro de un sistema de drenaje mayor, estableciendo de esta manera niveles en las UH desde el mayor, a escala continental (nivel = 0), a menores tamaños de las UH (nivel 1, 2, 3 (...) y así sucesivamente) (Ruiz R. & Torres H., 2008).

La selección de la zona específica para la aplicación del presente estudio, se efectúa en un área de la cuenca del río Paute ubicada en la Demarcación Hidrográfica de Santiago (que corresponde a la Unidad Hidrográfica 49982 Nivel 5 Pfafstetter) de la vertiente Amazónica; debido a su relevancia para el abastecimiento de agua para: consumo humano, actividades productivas (agrícola, pecuaria, industrial, entre otras), aprovechamiento hidroeléctrico y, consecuentemente por su aporte en la economía del país.

Por la importancia histórica de dicha cuenca hidrográfica en el Ecuador, a lo largo del tiempo algunas entidades han generado información con una densidad de datos disponibles y suficientes para llevar a cabo la evaluación de los parámetros de calidad del agua respecto a su representatividad estadística, correlación territorial y variabilidad en el tiempo, así como para analizar la aplicabilidad del estudio.

El área específica para esta investigación es la Unidad Hidrográfica del río Tomebamba - UHT (corresponde a la UH 4992896 Nivel 7 Pfafstetter) la cual, brinda múltiples servicios ambientales al cantón Cuenca, tercera ciudad de la República del Ecuador en importancia poblacional. Esta unidad hidrográfica provee alrededor del 60% de agua para consumo humano a la capital azuaya (Carrasco, Pineda, & Pérez, 2010). Además, la ciudad de Cuenca es reconocida por la UNESCO como ciudad Patrimonio de la Humanidad, y alberga al primer humedal Ramsar registrado en el Ecuador, el Parque Nacional El Cajas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Estudiar el comportamiento espacio - temporal de la calidad del agua del río Tomebamba, para desarrollar un modelo procedimental de selección de parámetros físico - químicos en planes de muestreo de agua superficial, mediante del análisis de ciclo de vida corto de los criterios de calidad del agua de la normativa ambiental nacional.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Evaluar la calidad del agua del río Tomebamba entre los años 1996 a 2016, a través de análisis estadísticos descriptivos y espaciales (geoestadística).
2. Seleccionar los parámetros físico – químicos de los criterios estipulados en la normativa ambiental nacional, que son prioritarios para evaluar la calidad del agua, a través de un análisis de ciclo de vida corto.
3. Analizar la aplicabilidad de los planes de monitoreo existentes en el río Tomebamba, para la toma de decisiones y seguimiento en la gestión ambiental.
4. Establecer un modelo procedimental de selección de parámetros físico – químicos para el planteamiento de planes de monitoreo de calidad del agua superficial, aplicables en la toma de decisiones en la gestión ambiental del agua para el río Tomebamba.

1.3.3. Limitaciones del estudio

En el presente estudio, se identificó que no existen bases de datos multianuales de calidad de agua de libre acceso, y al considerar los costos para el muestreo y análisis de calidad del agua, así como la necesidad de contar con datos históricos para el desarrollo de un análisis espacio – temporal representativo, se utilizó información secundaria de las instituciones que han realizado monitoreos de calidad del agua en la Unidad Hidrográfica del río Tomebamba.

El presente estudio analiza variables de calidad del agua en términos de parámetros físico – químicos, sin abordar criterios bióticos, debido a que la metodología de análisis de ciclo de vida corto aún no se encuentra orientada a ese tipo de valoraciones.

Debido a que esta investigación se basa en información levantada por diferentes instituciones a través de varios años, no es posible establecer con certeza los rangos de error en análisis laboratoriales, ya que la determinación de varios parámetros no cuenta con la acreditación correspondiente.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. *Antecedentes investigativos.*

Los estudios de comportamiento espacio - temporal de la calidad del agua superficial de Unidades Hidrográficas de áreas menores al Nivel 6 Pfafstetter, son escasos en el Ecuador. Generalmente los estudios de calidad del agua después de lograr planes de monitoreo no periódicos para un par de años terminan en establecer valores resultantes reportados por laboratorios y su comparación con los criterios de calidad del agua establecidos en la legislación ambiental.

Ciertas entidades y la academia pocas veces han investigado series de datos multitemporales y espaciales, para concebir esquemas de monitoreo óptimos. Normalmente de una u otra manera se seleccionan los parámetros físico - químicos de planes de monitoreo considerando únicamente la normativa ambiental, dejando de lado, tanto el comportamiento dinámico de la calidad del agua en el tiempo y espacio a nivel territorial, como las herramientas estadísticas para evaluar la calidad de los datos.

La Autoridad Ambiental Nacional en casos particulares, ha contemplado estudios amplios en relación a la calidad del agua, generalmente asociados a sus sujetos de control que en ciertos casos corresponden a empresas normalmente corporativas, que, según el impacto ambiental estimado de sus actividades antropogénicas, ejecutan sus campañas de monitoreo en función de cortes anuales, basados en hacer comparaciones frente a límites permisibles de descarga.

Es necesario, por tanto, que, para la gestión ambiental e hídrica integral, la planificación de los monitoreos de calidad del agua se ejecute en función de las condiciones específicas de las unidades hidrográficas, a través de estudios espacio – temporales de datos multianuales que permitan generar criterios técnicos con representatividad estadística y significativa, de la calidad física y química del agua.

En este contexto y en consideración de que los criterios de calidad del agua establecidos en la normativa representan valores umbral, sobre los cuales las concentraciones de los parámetros presentes en el agua no son seguros para el ambiente, existe la necesidad de generar propuestas tomando como punto de partida dichos criterios y posteriormente estimar el impacto de los mismos por unidades hidrográficas, con el objetivo de generar herramientas que permitan priorizar los parámetros de calidad del agua a ser utilizados en los esquemas de monitoreo.

2.2. Conceptos relacionados a la calidad del agua

“La calidad de cualquier masa de agua, superficial o subterránea depende tanto de factores naturales como de la acción humana”, de manera general, la calidad del agua se determina mediante la comparación de las características: químicas, físicas, biológicas, entre otras; frente a normativas que generalmente se basan en niveles de toxicidad establecidos científicamente en relación a su incidencia en la salud de los seres humanos y los ecosistemas (ONU-DAES, 2014). Es importante, además, considerar las condiciones naturales del agua.

Los criterios de la calidad del agua corresponden a valores de concentración numéricos o enunciados descriptivos recomendados para los parámetros físicos, químicos y biológicos para un uso específico del agua (MAE, 2015). La determinación de dichos criterios debería efectuarse mediante: el estudio de la dinámica de la calidad del agua en función de sus características espacio - temporales por unidad hidrográfica y observar la planificación hídrica; de manera que las decisiones en la gestión ambiental se encuentren más adaptadas a la red hidrográfica y por lo tanto sean más eficientes y eficaces.

2.3. Importancia de la calidad del agua y su control en el recurso hídrico.

Durante varios años se ha priorizado el aspecto de la cantidad del agua incrementando el acceso de las personas a un abastecimiento seguro de agua, lo cual es sin duda, de suma importancia para el ser humano y los ecosistemas. Resulta imprescindible que el agua posea una buena calidad; por lo que en la actualidad la prioridad en relación a la calidad del agua es cada vez más grande considerando el hecho de que la contaminación del agua ha empeorado desde la década de 1990 en la mayoría de los ríos de América Latina, constituyendo una gran preocupación (UNEP, 2016).

El aumento de la contaminación del agua se debe al vertiginoso incremento de descargas de aguas residuales hacia ríos y lagos, que tiene como principales causas el crecimiento poblacional, el desarrollo de las actividades económicas, la intensificación y

expansión de actividades agropecuarias, y la extensión de la cobertura de servicio de alcantarillado con un muy bajo o nulo nivel de tratamiento (UNEP, 2016).

En el Ecuador también existe una creciente presión sobre ecosistemas montañosos, debido al avance de las zonas agrícolas y la deforestación que generan problemas en la calidad del agua de las fuentes que abastecen a las poblaciones generándose un déficit hídrico, principalmente en las épocas de baja pluviometría. Estos ecosistemas, además poseen un elevado valor ecológico debido a su biodiversidad. (Espinoza, 2015).

Entre los grupos vulnerables al deterioro de la calidad del agua se hallan habitantes que utilizan frecuentemente: aguas superficiales para actividades domésticas y recreativas; y el consumo de pescado como principal fuente de proteína (UNEP, 2016).

Aunque la contaminación del agua es grave y actualmente empeora en América Latina, la mayoría de los ríos aún se encuentra en un estado que permite conservar sus buenas condiciones, y/o mejorar su calidad con acciones para detener la contaminación; requiriéndose el aporte técnico junto con la gestión respaldada por una buena gobernanza (UNEP, 2016).

2.4. Planes de monitoreo de calidad del agua

La valoración de la naturaleza química, física y biológica del agua, en relación con su calidad natural, efectos humanos y uso pretendido, es imprescindible para implementar medidas de control, seguimiento ambiental y mejora de la calidad del agua. Una poderosa herramienta para definir la condición del recurso hídrico, es la adecuada planificación de monitoreos que obtienen como resultado una evaluación representativa de las condiciones de la calidad del agua y, permite conocer el éxito o el fracaso de las medidas de gestión ambiental e hídrica aplicadas para la protección y restauración del agua de las unidades hidrográficas (Espinoza, 2015).

Los planes de monitoreo deben establecerse con propósitos específicos y con mecanismos de retroalimentación que permitan mejorar y adaptar este proceso a futuro, es decir los planes de monitoreo deben permitir un manejo adaptativo considerando el adecuado almacenamiento de las bases de datos producto del monitoreo. El no establecer objetivos claros en los programas de monitoreo conlleva consigo, consecuencias perjudiciales en todo el proceso de evaluación de la calidad del agua, incluyendo los costos, la calidad y la representatividad de los datos obtenidos (Abarca, 2007).

Con frecuencia existe la concepción errónea de que el levantamiento de información de calidad del agua es mejor cuanto mayor sea la cantidad de parámetros evaluados y se ejecuten campañas muy frecuentes. Sin embargo, *“si la cantidad de*

datos no obedece al propósito y objetivos del monitoreo”, entonces el plan de monitoreo resultará en un desperdicio de tiempo y recursos (Abarca, 2007).

2.4.1. Definición y tipos de monitoreo de calidad del agua

El monitoreo de la calidad en cuerpos de agua, corresponde a un seguimiento metódico a través del muestreo y toma de datos de campo a intervalos de tiempo definidos para la obtención de información, entendiendo como muestreo el proceso mediante el cual se toma una porción representativa, *“de un volumen de agua para el análisis de varias características definidas”* (MAE, 2015).

El seguimiento metódico de la calidad del agua, consta de manera general de tres elementos: la coordinación del levantamiento de datos procedentes de las redes de monitoreo establecidas a nivel territorial, el mantenimiento de una base de datos, y el fortalecimiento de las capacidades técnicas y tecnológicas de los actores vinculados al levantamiento, procesamiento e interpretación de los datos de calidad del agua (PNUMA, 2017).

De esta manera el término, campaña de monitoreo, se refiere a la actividad para adquisición periódica de información sobre parámetros de calidad del agua de una red de monitoreo (sitios fijos georreferenciados establecidos en los cuerpos de agua), que deben estar relacionados con los sitios de medición del caudal de los cuerpos hídricos (MAE, 2015).

La Norma NTE INEN 2 226 del año 2000, identifica tres objetivos principales por los cuales se planifica un muestreo de calidad del agua: Mediciones de control de la calidad usadas para la toma de decisiones en procesos de tratamiento; mediciones de la caracterización con fines investigativos, propósitos de control o para indicar tendencias a largo plazo; e, identificación de fuentes de contaminación.

2.4.2. Nociones generales para selección de parámetros físico – químicos

Según la normativa ambiental nacional vigente, el monitoreo de la calidad del agua permite evaluar que *“los parámetros de calidad guarden relevancia con los usos del cuerpo receptor”* (MAE, 2015).

La selección de parámetros a incluirse dentro de un plan de muestreo, generalmente obedece a la presunción de cambios físicos y químicos en las aguas, debidos a las actividades antrópicas de la zona o vinculados a las necesidades de uso y/o aprovechamiento del agua; sin embargo, en varios casos, no se incluyen todos los parámetros que en un determinado momento los tomadores de decisiones requieren para ejecutar acciones en el ámbito de la gestión ambiental e hídrica. Existen, ciertos parámetros físico - químicos que son de uso muy común en la planificación de monitoreos de la calidad del agua, como por ejemplo: Temperatura del agua, Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Potencial de Hidrógeno (Abarca, 2007).

2.5. Análisis de ciclo de vida corto (ACVC)

El Análisis de Ciclo de Vida es una metodología que provee un marco sistemático para identificar, cuantificar, interpretar y evaluar los impactos ambientales de un producto, una función o servicio de manera ordenada. Se trata de un instrumento que permite comparar entre sí productos, servicios existentes y normativas, pudiendo indicar áreas de mejora o innovación (Cruz, 2014).

Schaltegger, S., y A. Sturm (1994), en su publicación “*Ökologieorientierte Entscheidungen in Unternehmen*” (*Ecología orientada a decisiones en los negocios*), sostienen que el resultado del procedimiento de análisis del ciclo de vida es la evaluación del impacto ambiental a través de un proceso técnico, cuantitativo y/o cualitativo de ponderación y/o clasificación de datos recopilados en relación a un determinado problema ambiental.

El Análisis del Ciclo de Vida Limitada (LLCA, siglas en inglés) o lo que es lo mismo, el Análisis de Ciclo de Vida Corto (ACVC), es una herramienta para el desarrollo de una estimación cuantitativa de los impactos ambientales relativos de diversas acciones alternativas que podrían seleccionarse como soluciones a los problemas ambientales. Entre las múltiples aplicaciones que los tomadores de decisiones le pueden dar a esta herramienta, destacan los estudios para la elaboración y/o actualización de normativas ambientales (Vignes, 2001).

La metodología presentada por Vignes R. (2001), considera el modelo europeo desarrollado por Schaltegger, S., y A. Sturm que ha, sido modificado para adaptarse a

las condiciones en los EE UU y utilizado con éxito tanto en dicho país como en Europa, en donde este modelo fue la base para los cambios en la ley ambiental como una opción ecológicamente racional y de menor costo.

Dos términos son fundamentales para la comprensión del modelo LLCA: el factor de contaminación (PF, siglas en inglés de Pollution Factor) que está basado en las concentraciones de los parámetros establecidas en las normativas ambientales; y las Unidades de Impacto Ambiental (EIUs, siglas en inglés de Environmental Impact Units) las cuales son adimensionales y aditivas, y expresan el impacto ambiental (Vignes, 2001).

Entre las ventajas de LLCA se destaca el ser un análisis basado en criterios de calidad o límites de concentraciones establecidas en normativas ambientales que se traducen a un número que se puede comunicar fácilmente, es flexible y fácil de modificar. Además, el impacto ambiental total puede ser separado a impacto local o regional. Sin embargo, como desventaja se puede anotar que debido al potencial que tiene esta metodología puede ser tomada como la única base para las decisiones (Vignes, 2001).

2.6. Descripción general del área de estudio

La zona de estudio comprende la Unidad Hidrográfica 4992896 nivel 7 Pfafstetter correspondiente al río Tomebamba, ubicado en la sección alta del río Paute, la misma que está situada en el territorio continental del Ecuador en la provincia del Azuay y

pertenece a la Demarcación Hidrográfica Santiago correspondiente al sistema hidrográfico amazónico que desemboca en el Océano Atlántico; la UH de estudio posee una extensión de 32828 ha.

La Unidad Hidrográfica del río Tomebamba provee alrededor del 60% de agua para consumo humano de la ciudad de Cuenca (Carrasco, Pineda, & Pérez, 2010).

2.7. Descripción general del medio físico en el área de estudio

El tipo de clima preponderante de la zona de estudio corresponde a Ecuatorial Mesotérmico Semi – Húmedo que se caracteriza por dos períodos lluviosos (que oscilan entre febrero-mayo y octubre-noviembre) y uno seco en el año, con variaciones a lo largo del callejón interandino entre los 500 y 1600 mm anuales. La oscilación de temperatura media y humedad relativa, se encuentra entre 10°C y 20°C; y, 70% y 85% respectivamente (ETAPA-EP, 2017).

De manera general en la UHT existen las siguientes actividades antrópicas: Sección alta - turística, ganadera, agrícola, de piscicultura y plantaciones de especies introducidas como el pino; Sección media - agricultura, forestación con especies introducidas, prácticas de quema, deforestación para ampliar la frontera agrícola y creciente urbanización; Sección baja de la unidad hidrográfica está sujeta a una urbanización total, donde se observa invasión de las zonas de protección hídrica junto a la ribera y destrucción de la vegetación (Carrasco, Pineda, & Pérez, 2010).

En el área de estudio se localizan dos reservas de parques nacionales que constituyen áreas de protección hídrica: El Parque Nacional Cajas y la Reserva de Mazán.

El Parque Nacional Cajas (PNC) tiene una extensión de 28.544 ha, de las cuales 13071,1 ha se hallan en la Unidad Hidrográfica del río Tomebamba. El PNC posee rangos altitudinales desde 3150 m a 4445 msnm y presenta tres zonas: Bosque húmedo premontano, Bosque húmedo montano y páramo. El 90,6% del área corresponde al ecosistema de páramo herbáceo comprendido en 4 zonas: páramo de pajonal, almohadilla, herbazal lacustre y bosques de quinua. Una caracterización más específica para las unidades y subunidades de vegetación es: Bosque de neblina montano, Bosque siempre verde alto, Páramo herbáceo (Bosque de *Polylepis* y Páramo de almohadillas) y, Herbazal lacustre montano.

El Parque Nacional Cajas tiene 235 lagunas, lo que corresponde a una densidad lagunar de 1,4 por km². La gestión y manejo del Parque Nacional Cajas se encuentra a cargo de la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ETAPA - EP) desde abril del 2002. Al menos el 74% del área protegida del Cajas está cubierta con suelos pertenecientes al grupo de los Andosoles lo cual da como resultado excelentes características de la zona para el almacenamiento-regulación del ciclo hidrológico ya que, el alto contenido de materia orgánica, la alta porosidad y baja densidad aparente; permiten que el agua sea retenida en el suelo y lentamente entregada hacia los cursos de agua, esta propiedad está

vinculada con la presencia de la cobertura de vegetación tanto herbácea como arbustiva y arbórea (ETAPA-EP, 2007).

La Reserva Mazán, está ubicada al oeste de la ciudad de Cuenca con un área aproximada de 2390 ha, el bosque de Mazán cubre alrededor del 19% de la reserva (500 ha) y corresponde a la categoría de bosque húmedo montano. La Reserva Mazán está cubierta por páramo (3400 m.s.n.m), bosque secundario (3100 m.s.n.m) y pastizal, a la ribera del río en zonas con menor pendiente (Maldonado, 2010).

Los tramos de los cuerpos hídricos superficiales (río Quinuas, río Tomebamba, río Mazán y río Llaviuco) que atraviesan las antes mencionadas áreas de protección, debido a la ausencia de factores antropogénicos, presentan una óptima calidad tanto de hábitat (para poblaciones de peces y macroinvertebrados) como de agua para las condiciones favorables de los ecosistemas de la región; buenas condiciones en cuanto al estado del substrato y la morfología del cauce del río; las riberas de los ríos se hallan cubiertas de vegetación nativa, lo cual evita la erosión y el consecuente arrastre de sedimentos que ocasionen alteración en las concentraciones de ciertos parámetros físico – químicos del agua. (Carrasco E. et al., 2010).

En su mayoría, los tramos del río Tomebamba ubicados fuera de las áreas de protección hídrica presentan: erosión de las riberas, escasa cobertura vegetal, raíces de árboles expuestas, acumulación de limo, arena y barro en las rocas del río disminuyendo las superficies disponibles para el hábitat de peces y macroinvertebrados, basura y escombros. Estas características están asociadas a la

tala de árboles, los incendios (para el incremento de zonas de pasto para ganado) y la actividad agrícola y ganadera. En gran parte de la UHT, se ha reemplazado el bosque alto andino de las laderas, por pastos y arbustos; en los valles y zonas bajas se hallan cultivos, pastos y parches de eucaliptos o pinos (especies introducidas). La pérdida de la vegetación original de las cuencas hidrográficas implica el detrimento de los suelos y el aporte de sedimentos a los ríos. (Carrasco E. et al., 2010)

En la Unidad Hidrográfica del río Tomebamba, se encuentra ubicada la Planta Potabilizadora (PTAP) El Cebollar, la cual posee una capacidad de 1000 l/s. El agua es transportada desde las captaciones ubicadas en los ríos Culebrillas y Tomebamba hasta los tanques presedimentadores ubicados en Sayausí.

En el área urbana de la ciudad de Cuenca las aguas residuales anteriormente se descargaban al ambiente, sin embargo en la actualidad existen interceptores que las transportan a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Ucubamba la cual es la principal instalación de tratamiento en la ciudad, está ubicada en el km 8,5 de la Autopista Cuenca – Azogues (Ávila, 2013). La PTAR Ucubamba trata el 95% de aguas residuales de la ciudad de Cuenca, el 5% restante es procesado en otras plantas menores en diferentes lugares del cantón. Entre los Proyectos a implementarse por ETAPA - EP consta la optimización de la PTAR existente y ampliar su vida útil hasta el año 2030 (ETAPA-EP, 2018).

2.8. Descripción general del medio socio – económico del área de estudio.

El presente estudio corresponde al cantón Cuenca capital de la provincia del Azuay, se subdivide en 15 parroquias urbanas y 21 parroquias rurales en una superficie de 72 km² (ETAPA-EP, 2017). Cuenca es una de las tres ciudades más pobladas del Ecuador con 603269 habitantes, la población proyectada para el año 2020 es de 636996 habitantes (INEC, 2017). Con base al Censo 2010 que evidenció que la población urbana del cantón Cuenca fue de 331888 habitantes es decir el 65,6% del total cantonal, se estimó que en el año 2016 la población urbana fue de 388612 habitantes (ETAPA-EP, 2017).

Este cantón tiene como principal actividad económica el comercio (reparación automotores y motocicletas) con 15102 establecimientos económicos, seguida de industrias manufactureras con 5469 instalaciones (INEC, 2017).

De acuerdo al último Censo realizado en el año 2010, la provincia del Azuay se caracterizó por un alto nivel de migración; y, en el cantón Cuenca las parroquias rurales presentaron mayores porcentajes migratorios, cuya principal causa se relaciona a la búsqueda de mejorar las condiciones de vida. Sin embargo, desde el año 2011, ciudadanos extranjeros que han alcanzado su etapa de retiro eligen a esta ciudad como residencia (PDyOT, 2015 citado en ETAPA EP, 2017).

Acorde a la Encuesta de Edificaciones 2016 respecto a los permisos de construcción, el cantón Cuenca alcanzó el 7,8% en la distribución de dichos permisos, siendo el segundo a nivel nacional con 2315 emisiones (INEC, 2016).

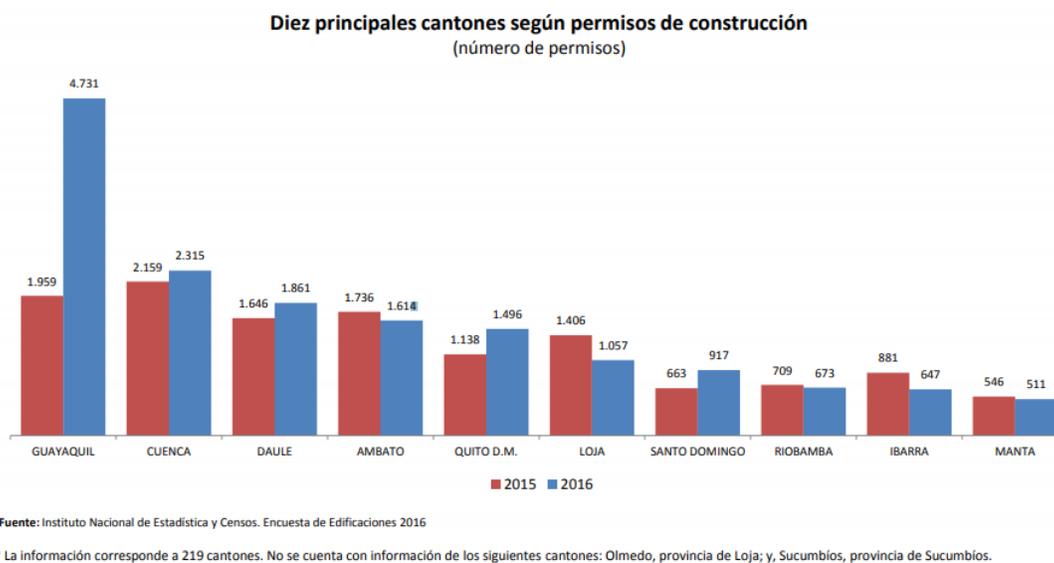


Figura 1.- Cantones con mayor distribución de permisos de construcción a nivel nacional.

Según el Informe de Pobreza y Desigualdad presentado por el gobierno en el año de 2017, entre las ciudades principales a nivel nacional (Quito, Guayaquil, Machala y Ambato), la ciudad de Cuenca registró la menor incidencia de pobreza para el año 2016 con un 7,6% y para el año 2017 el 7,8%, este último porcentaje igual al de la ciudad de Quito. Respecto a las estadísticas de pobreza extrema la ciudad de Cuenca presentó el menor nivel con un el 1,7%, siendo Ambato la ciudad con mayor porcentaje correspondiente al 4% (INEC, 2017).

El cantón Cuenca posee un 73,6% de cobertura de alcantarillado sanitario, siendo así la ciudad con mayor porcentaje de cobertura en relación a otros cantones de la provincia del Azuay. De igual forma, respecto a la cobertura de agua por red pública

de la provincia del Azuay, el cantón Cuenca posee el mayor porcentaje con un 87,9% (SENPLADES, 2014). Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) en el año 2016, el 50,7% de hogares en Cuenca realizaron clasificación de residuos, superando a los hogares de las ciudades de Quito y Guayaquil.

Las tasas de indicadores laborales, según la Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo realizada en diciembre de 2017, el cantón Cuenca registró: el 57,3% de empleo adecuado/pleno (personas con empleo que perciben ingresos laborales iguales o superiores al salario mínimo); el 11,9% de subempleo (personas que perciben ingresos inferiores al salario mínimo) y el 5,6% de desempleo. Respecto a la población con analfabetismo digital (población que no ha utilizado internet o teléfono celular), se registró el 10,9% de habitantes (INEC, 2017).

2.9. Normativa relacionada a la calidad del recurso hídrico superficial en el Ecuador

a) La Constitución de la República del Ecuador establece (Asamblea Nacional, 2008):

- Al agua como patrimonio nacional estratégico de uso público, esencial para la vida (Artículo 12).
- Competencia de los gobiernos municipales, entre otros aspectos, en relación a: la prestación de servicios públicos de agua potable, alcantarillado y depuración de aguas residuales (Artículo 264).

- El Estado “*garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua*”. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano como prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua (Artículo 411).
- La autoridad competente de la gestión del agua como responsable de su planificación, regulación y control, para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico, deberá cooperar y coordinar con la autoridad institucional que tenga a su cargo la gestión ambiental (Artículo 411).

b) La Ley Orgánica de los Recursos Hídricos establece (Asamblea Nacional, 2014):

- Al agua, como recurso natural debe ser conservada y protegida para garantizar su calidad (Artículo 4).
- La regulación por parte del Estado a las actividades que puedan afectar la cantidad y la calidad del agua, el equilibrio de los ecosistemas en las áreas de protección (Artículo 14).
- La coordinación entre la autoridad ambiental nacional y la autoridad sanitaria nacional para la formulación de las políticas sobre calidad del agua y control de la contaminación de las aguas (Artículo 18, literal c)).

- Como deber de la gestión integrada, la regulación de los usos, el aprovechamiento del agua y las acciones para preservar calidad del recurso vital (Artículo 36, literal b)).

c) *El Código Orgánico del Ambiente establece* (Asamblea Nacional, 2017):

- La ejecución del monitoreo de calidad del agua por parte de la Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado responsable, en coordinación con las demás autoridades competentes (Artículo 191).
- Promocionar la generación de información por parte de las instituciones competentes, así como la investigación sobre la contaminación a los cuerpos hídricos, que permita determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción (Artículo 191).
- La obligatoriedad de los operadores en el monitoreo de sus descargas y vertidos, así como el seguimiento por parte de la Autoridad Ambiental Competente respecto a un recurso que pueda verse afectado por la actividad que realiza el operador (Artículo 208).

d) *El Reglamento al Código Orgánico del Ambiente establece* (Presidencia de la República del Ecuador, 2019):

- La definición de criterios y normas técnicas de la calidad ambiental y los límites permisibles, deben efectuarse con el sustento técnico y científico en virtud de la realidad geográfica del territorio (Artículo 461).

3. METODOLOGÍA

En el presente capítulo, se detalla la metodología utilizada para: la selección del área de estudio; la recopilación de información; el análisis y evaluación de los datos de calidad del agua del río Tomebamba; y, la selección de parámetros físico – químicos prioritarios.

3.1. Selección y delimitación del área de estudio

La selección del área de estudio, se efectuó considerando la importancia actual e histórica de la cuenca del río Paute (UH 49982 Nivel 5 Pfafstetter): sus servicios ecosistémicos; el abastecimiento de agua para consumo humano y doméstico; y, el aporte en la economía del país a través de la disponibilidad hídrica para el aprovechamiento del agua en actividades productivas y de generación de energía eléctrica.

Se observó que el área que comprende la cuenca del río Paute es de 6436,08 km² (Muñoz, Macías, & García, 2010) , resultando muy extensa en relación a los objetivos y alcance del presente estudio, por lo cual se seleccionó un área menor y más específica que permita estudiar con mayor detalle el comportamiento de la calidad del agua así como la influencia de las características naturales de la zona y la influencia antropogénica.

Se seleccionó a la Unidad Hidrográfica 4992896 nivel 7 Pfafstetter correspondiente al río Tomebamba, debido a su importancia en el abastecimiento de agua para: servicios ecosistémicos; usos para consumo humano, doméstico, riego, pecuario; y otros aprovechamientos antropogénicos. Además, en relación a otras unidades hidrográficas consideradas, el área de estudio seleccionada posee información histórica de alrededor de 12 años de monitoreo.

Para la delimitación de la UH 4992896 a nivel 7 Pfafstetter, se utilizó la metodología establecida por la Autoridad Única del Agua (SENAGUA), para la delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Ecuador para la vertiente del Amazonas, emitida a través de Acuerdo Ministerial No. 2017-0023 (SENAGUA, 2017).

Durante la selección del área de estudio específica y la subsecuente recopilación de información de calidad y cantidad del agua, se tomó en cuenta lo siguiente:

- La importancia de la zona de estudio en función de los servicios ambientales que proporciona, tanto para las personas como para los ecosistemas.
- El interés de obtener información histórica como insumo para el presente estudio, y la consecuente necesidad de contar con datos levantados por instituciones que realicen monitoreos de la calidad del agua en la UH del río Paute.
- El propósito de generar un análisis representativo del comportamiento de la calidad del agua conforme al planteamiento de esta investigación.

Cabe indicar que se consideraron para ciertos análisis de la evaluación de la calidad del agua del río Tomebamba, doce puntos de monitoreo ubicados fuera de la

UH 4992896 del río Tomebamba, aproximadamente a una distancia de 8 km siguiendo el tramo principal de dicho río desde el punto de cierre de la UH (confluencia de las aguas que drenan hacia el mismo punto); con el objetivo de identificar la influencia de algunos factores que podrían alterar el comportamiento de la calidad del agua saliente del área de estudio, como son: ubicación geográfica de la ciudad de Cuenca y confluencia de otras UH correspondientes a los ríos: Machángara, Yanuncay y Milchichig.

Adicionalmente para el procesamiento de información de calidad del agua en el ámbito espacial, se dividió a la UH 4992896 nivel 7 Pfafstetter, en secciones: alta, media y baja; a través del uso del software Arc Map versión 10.4.1. Con este fin se utilizó la información cartográfica disponible en el Sistema Nacional de Información (SNI) de: curvas de nivel, ríos superficiales tanto principales y secundarios ubicados en la UH del río Tomebamba.

3.2. *Recopilación y organización de la información*

En los siguientes numerales, se detalla el procedimiento ejecutado para la recopilación de información:

3.2.1. Recopilación de información existente generada de calidad y cantidad del agua para el río Tomebamba

Por la importancia de la cuenca hidrográfica del río Paute existe información generada por varias entidades gubernamentales y no gubernamentales tanto para calidad como para cantidad del agua.

Se buscó información secundaria de calidad del agua generada por entidades que ejecutaban el levantamiento de información de manera periódica y poseen una base de datos de al menos diez años de monitoreo del recurso hídrico superficial en la cuenca del río Paute.

Al realizar las averiguaciones correspondientes a las áreas de gestión ambiental de las diferentes entidades que desempeñan actividades en la zona; se obtuvo la apertura de instituciones que entregaron sus registros de calidad del agua con el objetivo de que se desarrolle el presente estudio y sea de aporte para la gestión ambiental institucional conforme a sus competencias. Cabe indicar que el proceso para obtener la información tomó alrededor de un año de trámites, finalmente se tuvo acceso a los reportes de calidad del agua a través del apoyo de gestión institucional de la Autoridad Única del Agua y su entidad adscrita: Secretaría del Agua y Agencia de Regulación y Control del Agua, respectivamente.

3.2.1.1. Recopilación de información de calidad de agua

Las instituciones que aportaron con información de calidad del agua y datos para el presente estudio son: Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca - ETAPA EP; Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI y Secretaría del Agua – SENAGUA.

Para el presente estudio se analizaron los datos de los puntos de monitoreo descritos a continuación:

a) Puntos de monitoreo de la base de datos proporcionada por ETAPA - EP

ETAPA-EP, posee redes de monitoreo en varias unidades hidrográficas nivel 7 Pfafstetter en la cuenca del río Paute se nombran entre otras: Yanuncay, Machángara, Tarqui, Tomebamba, Milchichig. En la Tabla 1 se presentan los puntos de la red de monitoreo de ETAPA-EP considerados para la presente investigación, las coordenadas presentadas corresponden a la proyección UTM WGS84, zona 17 Sur.

Tabla 1

Sitios de la red de monitoreo de ETAPA-EP considerados para el presente estudio.

Ítem	Código Punto Monitoreo	Nombre de la fuente	Sitio / Sector	Coordenada (X)	Coordenada (Y)
1	TOM-QN-065	Desconocido	Entrada Laguna Illincocha	9692793	696142
2	TOM-QN-060	Desconocido	Salida laguna Illincocha	9691536	698621
3	TOM-QN-055	Desconocido	Salida laguna Toreadora	9692532	696768
4	TOM-QN-045	Desconocido	Quebrada afluyente laguna Apicocha	9692802	697680
5	TOM-QN-035	Río Quinuas	Río Quinuas salida laguna Patoquinuas	9692766	700490
6	TOM-QN-080	Río Taquiurcu	Río Taquiurcu (Salida Laguna)	9692429	699440

CONTINÚA



7	TOM-QN-030	Río Quinuas	Río Quinuas A.J. Río Taquiurcu	9692425	701616
8	TOM-QN-025	Río Quinuas	Río Quinuas D.J. Río Taquiurcu	9692611	701924
9	TOM-QN-015	Río Quinuas	Río Quinuas después de piscícola Reina del Cisne	9691189	704186
10	TOM-QN-010	Río Quinuas	Río Quinuas antes de Chirimachai	9688658	705774
11	TOM-QN-005	Río Quinuas	Río Quinuas después de Chirimachai	9689078	705590
12	TOM-QN-CONT	Río Quinuas	Río Quinuas A.J. Llaviucu	9686980	707390
13	TOM-LL-005	Río Llaviucu	Río Llaviucu luego de la laguna	9685654	706505
14	TOM-LL-CONT	Río Llaviucu	Río Llaviucu A.J. Quinuas	9685557	708353
15	TOM-MZ-010	Río Mazán	Río Mazán en cabecera	9685501	713192
16	TOM-MZ-CONT	Río Mazán	Río Mazán A.J. Tomebamba	9682474	709416
17	TOM-TOM-005	Río Tomebamba	Río Tomebamba A.J. Mazán	9682796	712656
18	TOM-CU-010	Río Culebrillas	Río Culebrillas Captación	9682776	712551
19	TOM-CU-CONT	Río Culebrillas	Río Culebrillas A.J. Tomebamba	9681789	714410
20	TOM-TOM-030	Río Tomebamba	Río Tomebamba D.J. Q. Sacay	9680379	718313
21	TOM-TOM-050	Río Tomebamba	Tomebamba A.J. Yanuncay	9678373	723864
22	YAN-YAN-CONT	Río Yanuncay	Yanuncay A.J. Tomebamba	9678232	723897
23	TOM-MIL-CONT	Río Milchichig	Milchichig A.J. Tomebamba	9680083	726294
24	TOM-TOM-CONT	Río Tomebamba	Tomebamba A.J. Machángara	9680813	727131
25	MAC-MAC-CONT	Río Machángara	Machángara A.J. Tomebamba	9680511	727210
26	CUE-CUE-020	Río Tomebamba	Cuenca en puente Ucubamba	9681817	728203
27	CUE-CUE-030	Río Tomebamba	Cuenca A.J. Sidcay	9683311	729942

Fuente: (ETAPA-EP, 2016)

b) Puntos de monitoreo de la base de datos proporcionada por INAMHI

El INAMHI, posee sitios de monitoreo de calidad del agua distribuidos a través de todas cuencas hidrográficas a nivel nacional, cabe indicar que para el presente estudio se identificaron únicamente los puntos de muestreo ubicados en la UH 4992896 a nivel 7 Pfafstetter, los cuales se presentan en la Tabla 2; las coordenadas presentadas corresponden a la proyección UTM WGS84, zona 17 Sur.

Tabla 2

Sitios de la red de monitoreo de INAMHI considerados para el presente estudio.

Ítem	Código Punto Monitoreo	Nombre de la fuente	Sitio / Sector	Coordenada (X)	Coordenada (Y)
1	H0897	Río Llaviucu	Surucucho A.J. Lullucchas	708609	9685953
2	H0896	Río Culebrillas	Matadero en Sayausi	714873	9682011
3	H0895	Río Tomebamba	Tomebamba en Monay	725863	9679791
4	H1108	Tomebamba	Tomebamba en Ucubamba	728589	9682478

Fuente: (INAMHI, 2015)

c) Sitios de monitoreo de la base de datos proporcionada por SENAGUA

La SENAGUA, a través del “*Plan Nacional de la gestión integrada e integral de los recursos hídricos de las cuencas y microcuencas hidrográficas del Ecuador*”, instauró una red de monitoreo de calidad del agua con puntos ubicados en las secciones alta, media y baja de la cuenca hidrográfica a nivel nacional, considerando los principales cuerpos superficiales del país. Los puntos de monitoreo considerados en

el presente estudio se observan en la Tabla 3; las coordenadas presentadas corresponden a la proyección UTM WGS84, zona 17 Sur.

Tabla 3

Sitios de la red de monitoreo de SENAGUA considerados para el presente estudio.

Ítem	Código Punto Monitoreo	Nombre de la fuente	Sitio / Sector	Coordenada (X)	Coordenada (Y)
1	DHS-CP-05	Quebrada Dos Chorreras	Tomebamba (Hostería Dos Chorreras)	703678	9692714
2	DHS-CP-06	Río Tomebamba	Puente San Joaquín	717191	9680731
3	DHS-CP-07	Río Machángara	Urbanización Terranova	726952	9680931
4	DHS-CP-08	Río Tomebamba	PTAR ETAPA Ucubamba	728348	9682115

Fuente: (SENAGUA, 2015)

3.2.1.2. Recopilación de información de cantidad de agua

Los datos de cantidad de agua recopilados corresponden a la siguiente información:

- INAMHI: Datos de caudal de estaciones hidrológicas y datos de precipitación de estaciones Hidrometeorológicas, ubicadas en el área de estudio.
- SENAGUA: Información de los caudales autorizados por la Secretaría del Agua para uso y/o aprovechamiento de agua, los mismos que se encuentran registrados en el Banco Nacional de Autorizaciones – Registro Público del Agua (SENAGUA, 2017).

3.2.2. Recopilación de información en campo

La recopilación de información en campo fue financiada y gestionada por la Secretaría del Agua, con lo cual se efectuó una visita en campo que contó con la presencia de: personal técnico de Dirección de Gestión de Calidad del Agua de la SENAGUA y de la Subgerencia de Gestión Ambiental de ETAPA – EP.

Durante el recorrido se levantó información visual y georreferenciada de los puntos de monitoreo de la red de calidad de ETAPA – EP registrando los datos con ayuda de personal que conoce los sitios visitados. Además, se identificaron a través de un dispositivo de GPS (Siglas en inglés de Sistema de Posicionamiento Global), los sitios de muestreo de SENAGUA e INAMHI ubicados en la unidad hidrográfica de estudio.

La información levantada a través de la visita de campo, se anotó en fichas de inspección, en la Figura 2 se muestra un ejemplo del registro para un punto de monitoreo, esta información para otros puntos de monitoreo se puede observar en el Anexo 1.

SECRETARÍA DEL AGUA		SUBSECRETARÍA TÉCNICA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS		DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE CALIDAD DEL AGUA	
FICHA INDIVIDUAL DEL PUNTO INSPECCIONADO - CALIDAD DEL AGUA					
DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA		Santiago		NÚMERO DE FICHA	001
CÓDIGO PUNTO INSPECCIONADO	TOM-QN-080		NOMBRE DE LA FUENTE	Río Taquiurcu (Salida Laguna)	
FECHA	20/10/2017		HORA	11:39	
NÚMERO/NOMBRE UNIDAD HIDROGRÁFICA NIVEL 5	49928		SISTEMA	Santiago	
NÚMERO/NOMBRE UNIDAD HIDROGRÁFICA NIVEL 6	499289		VERTIENTE	Amazonas	
NÚMERO/NOMBRE UNIDAD HIDROGRÁFICA NIVEL 7	4992896		REF. CUENCA /SUB CUENCA/ MICROCUENCA	Subcuenca Río Tomebamba	
PROVINCIA	Azuay		SITIO-SECTOR	Parque Nacional Cajas	
CANTÓN	Cuenca		RUTA	Parque Nacional Cajas	
PARROQUIA	Sayausi		PROYECCIÓN	UTM WGS84	
UBICACIÓN SITIO INSPECCIONADO	X	Y	ALTITUD	ZONA	17 S
	0700712	9692632	3715		
USOS ANTRÓPICOS DEL AGUA (consumo humano, riego, pecuario, actividad productiva, otro):					
Área protegida, uso piscícola, doméstico					
DESCRIPCIÓN DE LA ZONA (vegetación, suelo, fauna): Páramo herbáceo, vegetación nativa, predomina el pajonal (<i>Calamagrostis</i> sp.), árbol de papel típico (<i>Polylepis</i> sp.), quishuar (<i>Buddleja incana</i>), almohadillas (<i>Plantago rigida</i>), achicoria (<i>Hypochaeris sessiliflora</i>), romerillo (<i>Hypericum laricifolium</i>). Fauna, conejos de monte.					
Suelo negro, aciloso, orden Inceptisol					
FACTORES ANTROPOGÉNICOS:					
Agricultura	Industrial	Poblacional	Vertidos	Ninguno	
Minería	Ganadería	Hidrocarburiñera	Basura	Otro	X
Descripción: Presencia de pino (<i>pinus patula</i>) el cual se presume afecta al sistema de recarga del recurso hídrico produciendo erosión en el suelo (impacto introducido). No se observó presencia de otros factores antropogénicos.					
					
					
FOTOGRAFÍAS DEL PUNTO INSPECCIONADO					
OBSERVACIONES: COORDENADAS REGISTRADAS EN LA BASE DE DATOS; pH: 8,05 T: 10,7 (°C) OD: 7,6 mg/L OS: 100% P: 491 mmHg					
ACCESIBILIDAD: Moderada - considerar cambio de altura					
REPRESENTABILIDAD: Buena					

Figura 2.- Ficha de registro para el levantamiento de información efectuado en la visita de campo.

3.2.3. Recopilación de normativas nacionales e internacionales de calidad del agua

Con la finalidad de aplicar la metodología del Análisis de Ciclo de Vida Corto, se recopilaron las normativas nacionales e internacionales de calidad del agua existentes,

mediante la búsqueda en páginas web de las diferentes instituciones gubernamentales que emiten la legislación correspondiente a calidad ambiental y que están relacionadas a la gestión hídrica.

Se compiló la información normativa disponible, priorizando aquellas que contengan concentraciones de parámetros permisibles en relación a los datos levantados a través de las diferentes campañas de muestreo, por las instituciones ecuatorianas que aportaron con información para el presente estudio.

3.3. *Análisis de la cantidad del agua en la UH del río Tomebamba*

El procesamiento y análisis de la información de cantidad del agua del río Tomebamba se realizó a través de dos procedimientos, el primero correspondiente a la identificación de épocas de lluvia y sequía en la UHT y el segundo en la definición de caudales en sitios específicos de dicha UH.

3.3.1. *Selección de las épocas lluviosa y seca para la UH del río Tomebamba*

Se realizó un análisis del régimen de precipitaciones de la zona de estudio, con el objeto de determinar cómo varía la precipitación a lo largo del año y de establecer épocas de lluvia y sequía.

Para esto se efectuaron tres procedimientos:

- a) Análisis del régimen mensual de precipitaciones de las diferentes estaciones ubicadas en la UHT.
- b) Análisis del climograma de la zona de estudio obtenido de la fuente oficial a nivel mundial de información meteorológica disponible en la página web Climate-Data.Org.
- c) Corroboración de la información señalada en los literales antecedentes con bibliografía sobre estudios de variación anual de la precipitación en la UHT.

3.3.2. Estimación de caudales en sitios específicos de la UH del río Tomebamba

Para el presente estudio se utilizó el método de “*Transposición de caudales*”, es una de las técnicas con mejor desempeño para determinar caudales para periodos mensuales promedio para estudios ambientales (Ruiz, 2016).

El método referido se emplea principalmente por la relación entre la escorrentía y el área de la unidad hidrográfica. Es aplicable para casos en los que se tenga información conocida para una UH vecina a otra en los que se requiere contar con datos hidrológicos, de esta manera se genera una serie histórica de caudales en la zona de estudio utilizando información de estación(es) ubicadas en una unidad hidrográfica más cercana a la zona de estudio (Duitama & Moreno, 2015).

El método consiste en hallar un coeficiente que permita llevar la información de caudales hasta el lugar deseado, considerando la similitud de las unidades

hidrográficas, de forma general la ecuación se expresa de la siguiente manera para un caudal natural:

Ecuación 1.- Fórmula general Transposición de Caudales

$$Q_{UH} = \frac{A_{UH}}{A_{Estación}} \times Q_{Estación}$$

Donde

Q_{UH} : Caudal de la UH de análisis (l/s)

A_{UH} : Área de la UH de análisis (km²)

$A_{Estación}$: Área de la UH en la que se ubica la estación hidrológica (km²)

$Q_{Estación}$: Caudal de la UH en la que se ubica la estación hidrológica (l/s)

La Ecuación 1 es utilizada para calcular valores mensuales de caudal en función de la información que posea la estación hidrológica.

En la Figura 3, se presentan los sitios en los cuales se llevó a cabo la estimación de caudales en la Unidad Hidrográfica del río Tomebamba, los cuales corresponden a los puntos de la red de monitoreo de ETAPA – EP con códigos: TOM-QN-015, TOM-QN-CONT, TOM-LL-CONT, TOM-MZ-CONT, TOM-CU-CONT, TOM-TOM-050 y CUE-CUE-030.

3.4.1. *Procesamiento, evaluación inicial y depuración de los datos de calidad del agua*

Posterior a la recopilación de información, los datos proporcionados por ETAPA-EP, INAMHI y SENAGUA se organizaron de manera independiente en archivos de formato Excel; después de lo cual fueron procesados, sometidos a evaluación preliminar y depurados, con el objetivo de generar una matriz de datos aplicable al análisis de información de calidad del agua.

En esta fase del estudio, se organizaron los datos registrados por columnas, los campos de las matrices generadas son los siguientes: fecha, código de puntos de monitoreo, coordenadas de la ubicación georreferenciada de dichos sitios, concentraciones de cada parámetro, posterior a lo cual se realizaron las siguientes actividades:

3.4.1.1. *Procesamiento inicial de los datos*

- Categorización de la información en función de la ubicación de los puntos de monitoreo en la parte alta, media y baja de la UH 4992896 nivel 7 Pfafstetter correspondiente al río Tomebamba, o fuera de la misma con el objetivo de identificar la influencia de factores naturales y antropogénicos en la calidad del agua.

- Categorización de la información en función de la ubicación de los puntos de monitoreo en el tramo principal del río Tomebamba como en los cuerpos superficiales aportantes.
- Homologación de los formatos numéricos en las celdas de las matrices generadas (separador para miles y decimales expresados por puntos y comas respectivamente, entre otros).
- Revisión de las unidades de medida de las concentraciones de cada parámetro para las diferentes fechas de muestreo.
- Exclusión de fechas registradas en las matrices de información que no correspondían a ningún dato de parámetros de calidad del agua.
- Para comprobar la inexistencia de errores durante el registro y organización de los datos en las matrices de Excel elaboradas para este estudio, se realizó una revisión aleatoria de las concentraciones de los diferentes parámetros físico químicos en función de las fechas y puntos de muestreo, comparándolas con la información original entregada por cada una de las instituciones (ETAPA-EP, INAMHI y SENAGUA).
- Para los casos en que los datos reportados por las instituciones correspondían a concentraciones expresadas como menores al límite de detección (DL) o cuantificación, se dividió dicho valor para dos (DL/2) (Farnham, Ashok, Singh, Klaus, Stetzenbach, Kevin & Johannesson, 2002).

- Observación y comparación de la cantidad de datos entregados por cada una de las instituciones, considerando la cantidad de datos esperados según el número de: campañas, puntos de muestreo, y parámetros físico – químicos.
- Identificación de la información de calidad del agua a ser utilizada para el análisis de los datos a través de estadística descriptiva.

3.4.1.2. Identificación de información de calidad del agua disponible por campaña y punto de monitoreo

La identificación de la información disponible por campaña y punto de monitoreo se efectuó considerando los datos de parámetros físico - químicos reportados por ETAPA-EP ya que posee una base de datos comprendida entre los años de 1984 a 2016, se realizaron las siguientes actividades:

- Elaboración de la línea de tiempo a través de una matriz en archivo formato Excel en la que se colocaron en un campo de columna las fechas de muestreo en orden ascendente y en las columnas siguientes, los códigos de puntos y los valores de concentraciones de los parámetros monitoreados.
- Una vez organizada la información, se utilizó un distintivo de color para cada celda considerando los datos disponibles y no disponibles para cada fecha de monitoreo. De esta manera se identificó visualmente la información disponible y faltante.
- Elaboración de gráficos de dispersión X,Y, en los cuales en el eje de las abscisas se colocaron los años en los que se registra el levantamiento de información y en el

eje de las ordenadas los meses de enero a diciembre. Este tipo de gráficos se elaboraron tanto de manera general para todos los parámetros, como de modo específico para cada parámetro y punto de monitoreo.

3.4.1.3. Identificación de outliers (datos atípicos) y depuración de los datos de calidad del agua proporcionados por ETAPA - EP.

Para la identificación datos atípicos de la información proporcionada por ETAPA – EP, se realizó el siguiente procedimiento:

- a) **Identificación y corrección de datos anómalos:** A través de la elaboración de gráficos de dispersión (X,Y); en el eje de las abscisas se colocaron las fechas de monitoreo y en el eje de las ordenadas las concentraciones de los parámetros físico – químicos. Mediante tablas y gráficos dinámicos en Excel, se identificaron datos anómalos que correspondían a picos muy pronunciados en las gráficas. Dichos valores fueron reportados a ETAPA-EP, para su validación, posterior a lo cual se efectuó la corrección de datos no validados por ETAPA-EP.

- b) **Determinación estadística de valores atípicos dentro de la serie de datos:** Se utilizó la información proporcionada por diagramas de caja y bigotes de cada uno de los parámetros en las temporadas de lluvia y sequía. El diagrama de caja y bigote (o box plot), es un método gráfico que permite representar la dispersión de una

serie de datos numéricos a través de la distancia entre el primer y tercer cuartiles (rango intercuartil - RIC).

El diagrama muestra la mediana y los cuartiles Q1 y Q3 (caja) y los valores máximos y mínimos (bigotes) o $1.5 \times \text{RIC}$ ($\text{RIC} = \text{Q3} - \text{Q1}$). Se consideran valores atípicos, aquellos que son inferiores a $\text{Q1} - 1,5 \times \text{RIC}$ o superiores a $\text{Q3} + 1,5 \times \text{RIC}$ (Saldívar, 2005).

c) **Intersección de valores atípicos con los valores de incertidumbre de análisis**

laboratoriales: Para cada parámetro se consideraron las incertidumbres conocidas de análisis de laboratorio (como porcentaje de error laboratorial para parámetros acreditados). A través del cálculo de las incertidumbres positiva y negativa (valor de la concentración del parámetros sumada o restada del porcentaje de incertidumbre respectivamente), se definieron como outliers aquellos datos de incertidumbre que resultaron inferiores a $\text{Q1} - 1,5 \times \text{RIC}$ o superiores a $\text{Q3} + 1,5 \times \text{RIC}$.

d) **Evaluaciones específicas para los outliers determinados en función de las**

características de la zona que influyen en la calidad del agua: Una vez determinados los valores atípicos, se realizó una evaluación en función de los siguientes factores, realizando ponderaciones de 0 ó 1 conforme se indica en la

Tabla 4:

Tabla 4

Evaluaciones específicas en función de factores de influencia en la calidad del agua para los outliers identificados.

ÍTEM	Factores / Criterios de Evaluación	Ponderación
1	Criterio de Calidad Normativa Ambiental Vigente Sobrepasa el criterio de calidad	Si = 1 No = 0
2	El mismo punto de monitoreo presenta outliers para más de un parámetro dentro del mismo mes	Si = 0 No = 1
3	Desviación Estándar de la Población (Error otros factores) menor al Error de Incertidumbre Laboratorio	Error Laboratorio = 1 Error Otros factores = 0
4	Existencia de influencias antrópicas y usos del agua (considerando levantamiento de información en campo e información bibliográfica y cartográfica)	Áreas de protección = 1 Posible Afectación Antrópica = 0
5	Comportamientos similares (existencia de outliers) en otros puntos de la sección alta /media o baja de la UH considerando caudal o precipitación para el mismo mes y año	Si = 0 No = 1
6	Si el mismo parámetro en el mismo año y mes posee más de un dato outlier, en un mismo punto o en otros sitios e monitoreo (Evaluación para cada parámetro)	Si = 0 No = 1
7	Existe la posibilidad de incidencia del caudal y/o precipitación (para la misma época seca o lluviosa) en la calidad del agua (Evaluación para cada parámetro)	Si = 0 No = 1

Para realizar el análisis de factores, criterios y ponderación, se utilizó como apoyo información correspondiente a: Banco Nacional de Autorizaciones de la Secretaría del Agua (Usos y Aprovechamientos de aguas superficial en la zona de estudio) y Cartografía de las Características del Suelo del SIN – Ministerio de Agricultura, a través de la herramienta software Arc Map versión 10.4.1. Cabe indicar que los factores, criterios y ponderación, fueron establecidos a través de la presente investigación.

- e) **Eliminación de outliers injustificados y obtención de matrices con información depurada:** Posterior a la evaluación de factores / criterios descrita en el literal anterior, se realizó la sumatoria de las ponderaciones obtenidas para cada dato atípico y se eliminaron aquellos cuyo valor total en la evaluación fue mayor que 1. A través de este paso, se obtuvieron matrices con información depurada de las concentraciones de parámetros de calidad del agua para la UH del río Tomebamba.

3.4.2. Análisis de los datos de calidad del agua de la UH del río Tomebamba a través de métodos estadísticos.

En el Anexo 2, se explica a manera detallada sobre las metodologías estadísticas utilizadas para el presente estudio.

3.4.2.1. Estadística Descriptiva de los datos de calidad del agua.

Para el cálculo de los estadísticos descriptivos que se utilizaron en el análisis de los parámetros de calidad de agua del río Tomebamba, se consideró las tres épocas hidrológicas de lluvia – sequía – lluvia (Enero – Abril, Mayo – Septiembre, Octubre – Diciembre) en la UH del río Tomebamba y se subdividió a la vez a las secciones alta, media y baja.

La estadística descriptiva se desarrolló con las herramientas Excel y Past3, este último es un software libre desarrollado por la Universidad de Oslo para el análisis de datos científicos, con funciones para la manipulación de datos, gráficos, estadísticas univariadas y multivariadas, análisis ecológicos, series temporales y análisis espacial, morfometría y estratigrafía (Hammer& Harper, 2019).

Dicho programa fue diseñado originalmente como un seguimiento de PALSTAT, un paquete de software para el análisis de datos paleontológicos escrito por P.D. Ryan, D.A.T. Harper y J.S. Whalley. A través del desarrollo continuo durante más de veinte años, el PAST se ha convertido en un paquete estadístico completo utilizado no solo por paleontólogos, sino en muchos campos de las ciencias de la vida, ciencias de la tierra, ingeniería y economía (Hammer& Harper, 2019).

3.4.2.2. Análisis de Normalidad de los datos de calidad del agua.

Una vez analizados los outliers y eliminados aquellos que no pudieron ser justificados, pues representaban datos erróneos, se procedió a realizar un análisis de normalidad con los datos depurados, para las secciones alta, media y baja de la UHT, en las tres temporadas establecidas.

Para el análisis de normalidad se usaron las siguientes metodologías disponibles en el software estadístico Past3: a) Procedimientos gráficos - gráfico Q-Q de normalidad y diagrama de caja y bigotes y, b) test de significancia -Shapiro Wilk, Anderson Darling y Jarque Bera.

3.4.2.3. Análisis multivariante de componentes principales de los parámetros monitoreados en la UH del río Tomebamba.

En los siguientes literales se detalla la metodología que se realiza en el análisis multivariante de componentes principales, cabe indicar que para esta metodología se usó el software “Past” (Hammer & Harper, 2019).

a) Cálculo de valores y vectores propios

El ACP opera matemáticamente desde la matriz de covarianza, que describe la dispersión de los múltiples parámetros medidos, para obtener valores propios y vectores propios, combinaciones lineales de las variables originales y los vectores propios resultan en nuevas variables, llamadas componentes principales (Wunderlin, Díaz, Amé, Pesce, Hued & Bistoni, 2000).

Es común calcular los componentes sobre las variables originales estandarizadas (con media 0 y varianza 1) que equivale a tomar los componentes principales, no de la matriz de covarianzas sino de la matriz de correlaciones (en las variables estandarizadas coinciden las covarianzas y las correlaciones); con esto se eliminan las diferentes unidades de medida y se consideran todas las variables implícitamente equivalentes en cuanto a la información recogida, evitando problemas derivados de la escala (University of Oslo, 2019).

b) Selección de los factores

La elección de los factores se realiza de tal forma que el primero recoja la mayor proporción posible de la variabilidad original; el segundo, la máxima variabilidad posible no recogida por el primero, y así sucesivamente. Se seleccionarán aquellos factores que recojan un porcentaje de variabilidad que se considere suficiente; a éstos se les denominará Componentes Principales (CP) (Terrádez, S/f).

Para la selección del número de CP, es común escoger los valores propios mayores que 1 (criterio de Kaiser). También se puede realizar un gráfico de sedimentación (Espíritu, 2010), que se obtiene al representar en las ordenadas los componentes principales y en las abscisas los autovalores (Zamora & Escalona, 2015), una vez que esta curva comienza a aplanarse, los componentes pueden considerarse insignificantes (University of Oslo, 2019).

c) Análisis de la matriz factorial

Una vez seleccionados los componentes principales, se representan en forma de matriz, con columnas igual al número de componentes principales y filas igual al número de variables. Cada elemento de ésta, representa los coeficientes factoriales de las variables, es decir, las correlaciones entre las variables y los componentes principales (Terrádez, S/f).

Esta matriz permite determinar qué variables se agrupan en cada componente y cuales tienen mayor peso. Generalmente se consideran valores menores que 0,25 como bajos (Zamora & Escalona, 2015).

d) Aplicación del Análisis de Componentes Principales (ACP) en la evaluación de la calidad del agua del río Tomebamba.

Se utilizó el ACP con el objetivo de reducir el número de parámetros utilizados en el monitoreo, sin que afecte a la confiabilidad de la evaluación de la calidad de agua en el río Tomebamba. Los parámetros hallados serán los más representativos en función de las características naturales de la zona y de las actividades antrópicas desarrolladas en la cuenca. El ACP fue realizado con ayuda del software estadístico Past 3. Los datos ingresados fueron previamente estandarizados (transformados a una distribución normal con media 0 y varianza 1) con la metodología Box – Cox, puesto que no todos los parámetros de calidad del agua tienen las mismas unidades de medida, esto con el objeto de evitar problemas derivados de la escala.

Se tomaron los valores medios representativos de la distribución de datos (del análisis de la estadística descriptiva se consideró utilizar las medianas como valores representativos pues las distribuciones de los datos tienden a ser asimétricas y no normales) de cada uno de los parámetros de calidad de agua medidos (8 parámetros) en los 21 puntos de monitoreo situados en las secciones alta, media y baja de la UHT. Se separó la información en las tres épocas hidrológicas establecidas previamente: Enero - Abril, Mayo - Septiembre y Octubre a Diciembre.

Los datos faltantes de las medianas ingresadas en el software (únicamente 4 de los 168 valores) fueron rellenados utilizando el valor medio de la columna correspondiente, como lo recomienda el manual de Past 3 (University of Oslo, 2019).

3.4.2.4. Análisis de la calidad del agua de la UH del río Tomebamba a través de Geoestadística

La Metodología de Kriging se basa en la interpolación espacial que requiere de ciertas condiciones, para el uso de esta metodología, los datos deben cumplir con los siguientes criterios (Geek, 2018):

- a) Normalidad: Se puede comprobar a través de un histograma o por medio de un gráfico Q-Q normal. En el caso de que los datos no sean normales se puede aplicar una transformación como un log o box cox.
- b) Estacionalidad: Significa que la variación local no cambia en diferentes puntos del espacio analizado. Kriging no es óptimo para cambios bruscos y líneas de rotura.
- c) Tendencia: Las tendencias son cambios sistemáticos en los datos de toda un área de estudio.

Por lo tanto, la aplicación de esta metodología para los datos de calidad del agua para la UH del río Tomebamba, dependen de dichas condiciones; caso contrario la aplicación de dicha técnica no arrojará resultados representativos.

3.4.3. Determinación de cargas contaminantes de parámetros físico – químicos

A través del cálculo de caudales en sitios específicos de la UHT (numeral 3.3.2 “*Estimación de caudales en sitios específicos de la UH del río Tomebamba*”), se determinó la carga contaminante presente en la UH de estudio.

La carga contaminante, expresada en unidades de masa por unidad de tiempo, se calculó a través de las concentraciones de los parámetros presentes en los cuerpos de agua superficiales multiplicándolas por los caudales antes referidos (MAE, 2015).

Ecuación 2.- Fórmula para cálculo de carga contaminante.

$$C_{Contaminante} = (Concentración) \times Q$$

Donde

$C_{Contaminante}$: Carga Contaminante (Kg/mes)

Concentración: Concentración del parámetro (mg/l)

Q: Caudal del cuerpo hídrico superficial (m³/s)

Con el objetivo de obtener las unidades de la carga contaminante, expresadas en kg/mes, se realizaron las conversiones correspondientes tanto de las concentraciones de los parámetros (de mg/l a kg/m³) como del caudal de los cuerpos hídricos (de m³/s a m³/mes).

3.4.4. Técnicas para el Análisis de calidad del agua en la UH del río Tomebamba, a través del Criterio de rutas.

Para el análisis de calidad del agua a través del criterio de rutas, se utilizaron gráficos lineales en formato Excel, de dos tipos: 1) Aquellos que en el eje de las abscisas se colocaron las concentraciones de los parámetros y en el eje de las ordenadas los puntos de monitoreo; y, 2) Aquellos que el eje de las abscisas se colocaron las concentraciones promedio de los parámetros y en el eje de las ordenadas los años correspondientes a las campañas de monitoreo.

Con el fin de asociar ciertos parámetros en una sola gráfica se identificaron aquellos que guardan relación en su comportamiento y/o magnitud de sus concentraciones.

Para el caso de los parámetros monitoreados por ETAPA – EP, considerando que se contó con el desarrollo de la estadística descriptiva, se utilizaron los valores de las medianas de las concentraciones, ya que, para la mayoría de los parámetros, épocas hidrológicas y/o secciones no se contaban con distribuciones normales de los datos. Los datos de INAMHI y SENAGUA, se analizaron con los valores disponibles.

En las gráficas generadas los puntos de monitoreo se ubicaron en orden descendente (en el mismo sentido de la escorrentía de las aguas) desde la sección alta de la UHT hasta llegar a las secciones baja y fuera de la unidad hidrográfica de estudio.

3.5. Técnicas priorización para la selección de parámetros físico - químicos basadas en el Análisis de Ciclo de Vida Corto

Para la aplicación de las técnicas de priorización de los parámetros de análisis basada en el análisis de ciclo de vida corto, se realizó el siguiente procedimiento:

3.5.1. Selección de los criterios de calidad del agua aplicables para el presente estudio

La normativa nacional aplicada para este estudio corresponde a la legislación ambiental vigente al año 2019, en la Tabla 5, se muestran los criterios de calidad del agua aplicados para el presente estudio los cuales corresponden a las Tablas del Anexo 1 de la “Norma de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes del Recurso Agua” de la Reforma del Texto Unificado de Legislación Secundaria referidos en el Acuerdo 097-A del Ministerio del Ambiente (AM – 097A) publicado mediante Registro Oficial Nro. 387 con fecha miércoles 4 de noviembre de 2017 (MAE, 2015).

Tabla 5

Criterios de calidad del agua de la normativa nacional, utilizados para el desarrollo del ACVC.

Número Tabla Anexo 1 (AM – 097A)	Criterios de calidad del agua
Tabla 1	Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico.
Tabla 2	Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.
Tabla 3	Criterios de la calidad de aguas para riego agrícola.
Tabla 5	Criterios de calidad de aguas para uso pecuario.
Tabla 6	Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto primario.
Tabla 7	Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario.

Los criterios de calidad fueron seleccionados en función de los usos y/o aprovechamientos que se dan a los cuerpos superficiales en el área de estudio.

Para los casos en los que el mismo parámetro se considera en diferentes Tablas de la normativa, se escogió la concentración más restrictiva.

3.5.2. Aplicación de criterios de calidad del agua disponibles en normativas internacionales

Para la aplicación de normativas internacionales, se seleccionaron aquellas cuyos criterios de calidad del agua, incluyen concentraciones permisibles para los parámetros analizados en el presente estudio de correspondencia a la información entregada por ETAPA-EP, INAMHI y SENAGUA. Así también se eligieron las

normativas que establecen criterios de calidad para parámetros no considerados en la normativa nacional.

Para los casos en los que el mismo parámetro se considera en diferentes Tablas de las normativas internacionales, se escogió la concentración más restrictiva. En la Tabla 6, se encuentra la normativa internacional aplicada en el análisis de ciclo de vida corto:

Tabla 6

Normativa internacional aplicada en el ACVC.

País Origen	Nombre normativa	Año	Número Tabla	Criterios de calidad del agua
Canadá	Environmental Quality Guidelines for Alberta Surface Waters	2018	Tabla 1	“Surface water quality guidelines for the protection of freshwater aquatic life”. Criterios de calidad del agua superficial para la protección de la vida acuática de agua dulce.
			Tabla 2	“Water quality guidelines for the protection of agricultural water uses”. Criterios de calidad del agua para la protección de los usos agrícolas del agua.
			Tabla 3	“Surface water quality guidelines for recreation and aesthetics”. Criterios de calidad del agua para la recreación y estética.
Perú	Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.	2015	Categoría 1	Población y Recreación Sub Categoría A A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección. A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.
			Categoría 3	Sub Categoría B B1: Contacto Primario B2: Contacto Secundario Riego de Vegetales y bebida de animales Sub Categoría D1: Vegetales de tallo bajo y alto Sub Categoría D2: Aguas superficiales destinadas para recreación
			Categoría 4	Conservación del ambiente acuático Sub Categoría E1: Lagunas y lagos Sub Categoría E2: Ríos Sub Categoría E3: Ecosistemas marino costeros

CONTINÚA



Chile	Guía Conama para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales marinas.	2004	Tabla 1	Normas secundarias de calidad ambiental para las aguas aptas para la protección y conservación de las comunidades acuáticas. Clase 2
			Tabla 3	Normas secundarias de calidad ambiental para las aguas marinas y estuarinas aptas para la conservación de las comunidades acuáticas.
			Tabla 4	Normas secundarias de calidad para mantener o recuperar el estado trófico de los fiordos, canales y estuarios.
Australia	Directrices de calidad del Agua. Estado de Queensland	2009	N/A	Niveles recomendados para calidad del agua para la acuicultura tropical - Agua Dulce.

3.5.3. Procedimiento de la metodología de Análisis de Ciclo Vida Corto aplicado a los criterios de calidad del agua

Los criterios de calidad del agua establecidos en las normativas nacionales, así como aquellos seleccionados de las normas internacionales fueron organizados en una matriz de Excel, y posteriormente se desarrolló la metodología determinada en el estudio de Vignes (2001), “*Use Limited Life-Cycle Analysis for Environmental Decision-Making*” (*Análisis de Ciclo de Vida Limitado para la toma de decisiones ambientales*), en los siguientes literales se detalla el procedimiento efectuado para el presente estudio:

- a) Elaboración de listado consolidado con los parámetros monitoreados por las instituciones ETAPA-EP, INAMHI y SENAGUA.
- b) Elaboración de listado de parámetros con criterios de calidad del agua en la normativa nacional.
- c) Homologación de unidades de las concentraciones correspondientes a los criterios de calidad de las diferentes normativas a mg/l. No se consideraron los parámetros

que no puedan ser expresados en unidades de masa o volumen en mg/l, tales como Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UTN), porcentajes de saturación (%), entre otros.

- d) Selección de las concentraciones más restrictivas para cada parámetro.
- e) Selección de los criterios de calidad del agua de normativas internacionales aplicables al presente estudio.
- f) Transformación de unidades de los criterios de calidad de mg/l a mg/mol de sustrato, con la densidad del agua como 1 g/cm^3 (densidad correspondiente a 1 atm y 4°C), al considerar que para los fines del presente estudio la variación de la densidad en función de la temperatura y presión no involucra cambios significativos en los resultados.
- g) Cálculo del impacto ambiental relativo, a través de la normalización de los valores de concentración en función del parámetro fósforo total para determinar los factores de contaminación (PF, por sus siglas en inglés de Pollution Factor).

Los factores de contaminación se expresan Unidades de Impacto Ambiental (EIUs/kg, por sus siglas en inglés de Environmental Impact Units), las cuales son adimensionales y permiten su fácil comparación o sumatoria. Para la normalización se seleccionó al parámetro fósforo total, considerando que, respecto a los datos históricos de calidad del agua, posee el menor valor de incertidumbre de análisis de laboratorio.

- h) Identificación de los parámetros que poseen los mayores factores de contaminación.

- i) Evaluación de los parámetros identificados en función de: los planes de monitoreo, la normativa ambiental nacional y el análisis de los datos de calidad del agua del río Tomebamba.
- j) Priorización de los parámetros físico – químicos a ser seleccionados para monitoreos de calidad del agua en la UH del río Tomebamba.

3.6. Determinación de los parámetros a priorizarse para el monitoreo de la calidad del agua en la UH del río Tomebamba

Para la determinación de los parámetros a priorizarse en los planes de monitoreo de la calidad del agua de la UH del río Tomebamba, se consideraron los resultados obtenidos en las siguientes evaluaciones que se realizaron en el presente estudio (el orden señalado no corresponde a un orden prioritario, sino a un orden secuencial de las metodologías utilizadas):

- a) Resultados del análisis multivariante de componentes principales.
- b) Resultados del comportamiento de la calidad del agua a través del criterio de rutas.
- c) Resultados de la priorización de los parámetros a través del Análisis de Ciclo de Vida Corto (Impacto total mensual).

3.7. Técnicas para la evaluación de los planes de monitoreo existentes en el río Tomebamba

Para la evaluación de los planes de monitoreo de las instituciones que aportaron con información de calidad del agua levantada para la UH del río Tomebamba, se consideraron los siguientes criterios:

- a) Número de parámetros analizados en función de los parámetros priorizados que se indican en el numeral 3.6.
- b) Número de campañas de monitoreo.
- c) Cobertura de los puntos de monitoreo en las secciones alta, media, baja y fuera de la UHT.
- d) Frecuencia de monitoreo, considerando como base de la evaluación, los periodos de época seca y lluviosa (Enero – Abril, Mayo – Septiembre, Octubre Diciembre).
- e) Costos aproximados de análisis para los parámetros monitoreados.

Cabe indicar que en el análisis multicriterio no se incluyeron: tipos de muestra (simple o compuesta, puntual o integrada) y acreditación de los laboratorios para el análisis de los parámetros de calidad del agua; debido a que la información reportada por las tres instituciones corresponde a la toma de muestras simples y análisis de parámetros con laboratorios acreditados para varios parámetros.

3.8. Técnicas para la formulación del modelo procedimental

Para la formulación del modelo procedimental para selección de parámetros físico – químicos a ser aplicados en los planes de monitoreo de calidad el agua se consideraron los siguientes aspectos, basados en el presente estudio:

- a) Metodología para la delimitación de Unidades Hidrográficas.
- b) Cantidad de datos disponibles en función de las campañas de muestreo efectuadas.
- c) Determinación de épocas seca y lluviosa de la unidad hidrográfica en la cual se planificará el monitoreo.
- d) Costo de análisis de los parámetros monitoreados.
- e) Parámetros priorizados a través del ACVC.

Adicionalmente en función de la disponibilidad de datos preexistentes de calidad del agua, se incluyó en el modelo procedimental el análisis del comportamiento de los parámetros en función del tiempo, así como la determinación de cargas contaminantes en los cuerpos hídricos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Delimitación del Área de estudio y secciones de la UH del río Tomebamba

En la Figura 4, se observa: el área de estudio seleccionada correspondiente a la Unidad Hidrográfica 4992896 nivel 7 Pfafstetter del río Tomebamba, y la red de monitoreo de cada institución que contribuyó con información para la presente investigación.

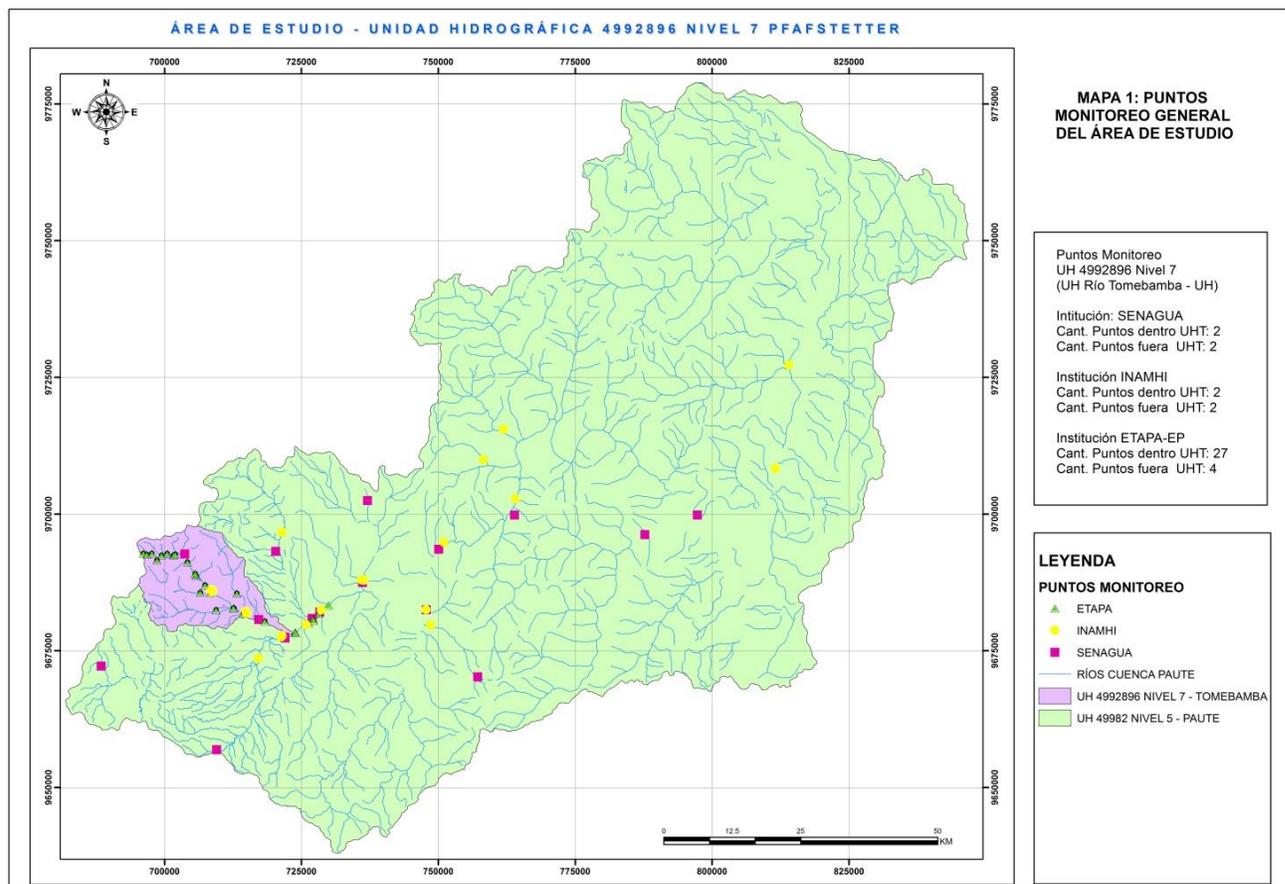


Figura 4. Ubicación del área de estudio en la cuenca del río Paute y distribución de puntos en las redes de monitoreo de SENAGUA, INAMHI y ETAPA-EP.

En la Figura 5, se muestra la división de la Unidad Hidrográfica (UH) 4992896 nivel 7 Pfafstetter del río Tomebamba en secciones alta, media y baja.

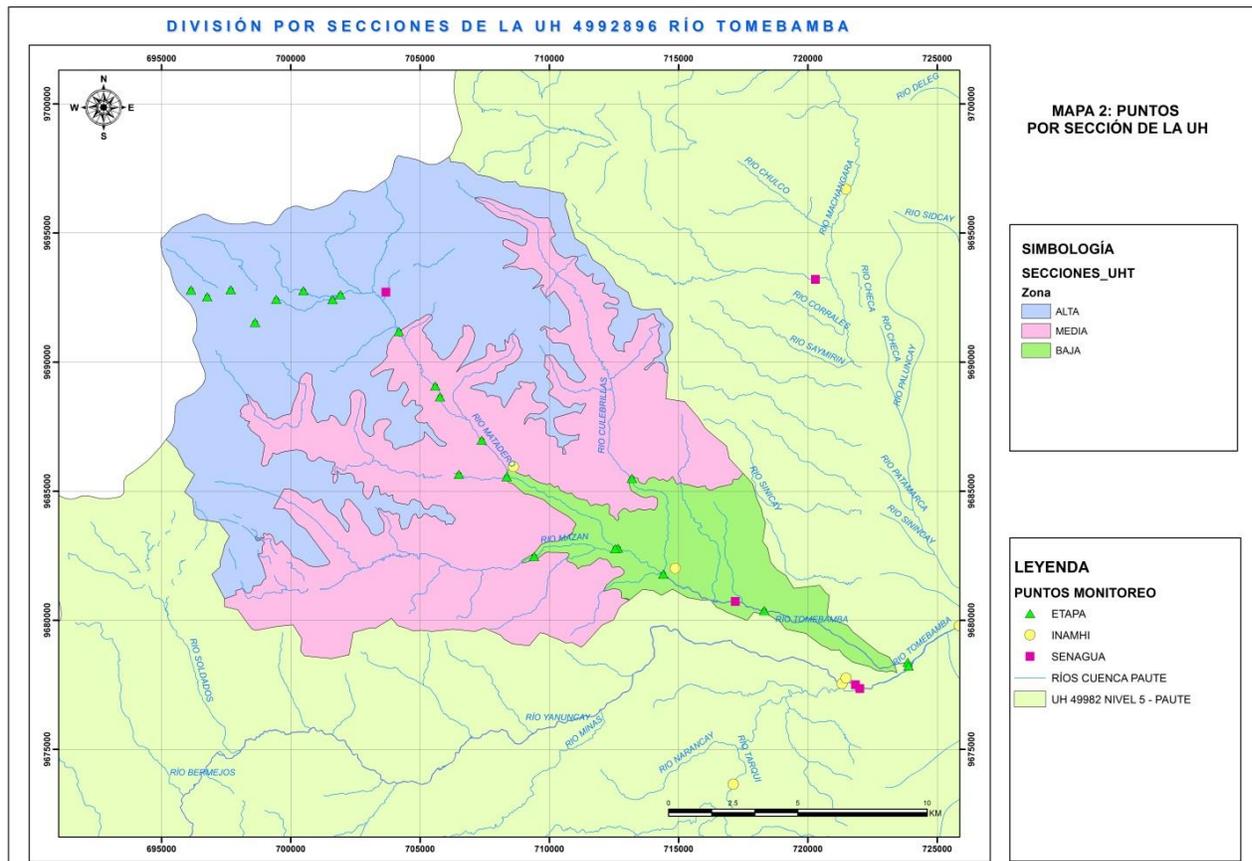


Figura 5. Secciones Alta, Media y Baja (UH) 4992896 nivel 7 Pfafstetter del río Tomebamba.

La sección alta de la UHT corresponde a las aguas superficiales situadas en el Parque Nacional Cajas hasta su confluencia en el río Quinuas, sector de la piscícola “Reina del Cisne”; desde ese sitio, aguas abajo hasta la confluencia de los ríos Llaviucu y Quínuas, se extiende la sección media de la UHT; la sección baja de la UHT está conformada por aguas superficiales que confluyen hasta la junta de los ríos

Tomebamba y Yanuncay. Como resultado de dividir en tres fracciones a la UHT, se identificaron los puntos de monitoreo ubicados en cada una de las secciones. En el numeral 4.2 “*Resultados de la recopilación y organización de la información*”, se presentan los puntos de monitoreo de cada red institucional con la identificación de su posición en relación a las secciones establecidas para la UHT.

4.2. *Resultados de la recopilación y organización de la información*

En la Tabla 7 se detallan los puntos de monitoreo de calidad del agua correspondientes a la red de ETAPA – EP, identificados según su ubicación en las secciones alta, media y baja de la UHT. Las coordenadas presentadas corresponden a la proyección UTM WGS84, zona 17 Sur.

Tabla 7

Puntos de monitoreo de ETAPA – EP, ubicación en las secciones de la UHT y curso principal del río.

Ítem	Código Punto Monitoreo	Nombre de la fuente	Coordenada (X)	Coordenada (Y)	Dentro/Fuera UHT	Curso del río Principal /Afluente /Naciente	Sección UHT
1	TOM-QN-065	Desconocido	9692793	696142	Dentro	Naciente	Alta
2	TOM-QN-060	Desconocido	9691536	698621	Dentro	Naciente	Alta
3	TOM-QN-055	Desconocido	9692532	696768	Dentro	Naciente	Alta
4	TOM-QN-045	Desconocido	9692802	697680	Dentro	Naciente	Alta
5	TOM-QN-035	Río Quinuas	9692766	700490	Dentro	Naciente	Alta
6	TOM-QN-080	Río Taquiurcu	9692429	699440	Dentro	Principal	Alta

CONTINÚA



7	TOM-QN-030	Río Quinuas	9692425	701616	Dentro	Principal	Alta
8	TOM-QN-025	Río Quinuas	9692611	701924	Dentro	Principal	Alta
9	TOM-QN-015	Río Quinuas	9691189	704186	Dentro	Principal	Media
10	TOM-QN-010	Río Quinuas	9688658	705774	Dentro	Principal	Media
11	TOM-QN-005	Río Quinuas	9689078	705590	Dentro	Principal	Media
12	TOM-QN-CONT	Río Quinuas	9686980	707390	Dentro	Principal	Media
13	TOM-LL-005	Río Llaviucu	9685654	706505	Dentro	Aportante	Media
14	TOM-LL-CONT	Río Llaviucu	9685557	708353	Dentro	Aportante	Media
15	TOM-MZ-010	Río Mazán	9685501	713192	Dentro	Aportante / Naciente	Media
16	TOM-MZ-CONT	Río Mazán	9682474	709416	Dentro	Aportante	Baja
17	TOM-TOM-005	Río Tomebamba	9682796	712656	Dentro	Principal	Baja
18	TOM-CU-010	Río Culebrillas	9682776	712551	Dentro	Aportante / Naciente	Baja
19	TOM-CU-CONT	Río Culebrillas	9681789	714410	Dentro	Aportante	Baja
20	TOM-TOM-030	Río Tomebamba	9680379	718313	Dentro	Principal	Baja
21	TOM-TOM-050	Río Tomebamba	9678373	723864	Dentro	Principal	Baja
22	YAN-YAN-CONT	Río Yanuncay	9678232	723897	Fuera	Aportante	Fuera
23	TOM-MIL-CONT	Río Milchichig	9680083	726294	Fuera	Aportante	Fuera
24	TOM-TOM-CONT	Río Tomebamba	9680813	727131	Fuera	Aportante	Fuera
25	MAC-MAC-CONT	Río Machángara	9680511	727210	Fuera	Principal	Fuera
26	CUE-CUE-020	Río Tomebamba	9681817	728203	Fuera	Principal	Fuera
27	CUE-CUE-030	Río Tomebamba	9683311	729942	Fuera	Principal	Fuera

En la Tabla 7 se pueden identificar los puntos de la red de monitoreo de ETAPA – EP, que corresponden al tramo principal del río Tomebamba o a las aguas

superficiales aportantes al tramo principal. Los puntos de monitoreo ubicados en la naciente de la UHT, son considerados como aquellos que conservan las condiciones naturales de la calidad del agua ya que no se identificaron actividades antrópicas de influencia y se encuentran ubicados en las zonas altas de los cuerpos hídricos.

En relación a las redes de monitoreo de las instituciones INAMHI y SENAGUA, en la *Tabla 8* y la *Tabla 9* se identifica respectivamente, la ubicación de los puntos de muestreo en las secciones alta, media y baja de la UHT, así como en relación al cuerpo hídrico aportante o al tramo principal. Las coordenadas presentadas corresponden a la proyección UTM WGS84, zona 17 Sur.

Tabla 8

Puntos red de monitoreo de INAMHI, ubicación en las secciones de la UHT y curso principal del río.

Ítem	Código Punto Monitoreo	Nombre de la fuente	Coordenada (X)	Coordenada (Y)	Dentro/Fuera UHT	Curso del río Principal /Afluente /Naciente	Sección UHT
1	H0897	Río Llaviucu	708609	9685953	Dentro	Afluente	Media
2	H0896	Río Culebrillas	714873	9682011	Dentro	Afluente	Baja
3	H0895	Río Tomebamba	725863	9679791	Fuera	Principal	Fuera de la UH
4	H1108	Tomebamba	728589	9682478	Fuera	Principal	Fuera de la UH

Tabla 9

Puntos red de monitoreo de SENAGUA, ubicación en las secciones de la UHT y curso principal del río.

Ítem	Código Punto Monitoreo	Nombre de la fuente	Coordenada (X)	Coordenada (Y)	Dentro/Fuera UHT	Curso del río Principal /Afluente /Naciente	Sección UHT
1	DHS-CP-05	Quebrada Dos Chorreras	703678	9692714	Dentro	Afluente	Alta
2	DHS-CP-06	Río Tomebamba	717191	9680731	Dentro	Principal	Baja
3	DHS-CP-07	Río Machángara	726952	9680931	Fuera	Afluente	Fuera de la UH
4	DHS-CP-08	Río Tomebamba	728348	9682115	Fuera	Principal	Fuera de la UH

4.3. Resultados del Análisis de la cantidad del agua en la UH del río Tomebamba

En los siguientes numerales se presentan los resultados del procesamiento y análisis de la información de cantidad del agua del río Tomebamba.

4.3.1. Resultados del procesamiento y análisis de datos de cantidad del agua para la selección de las épocas climatológicas (lluviosa y seca)

A continuación, se describen los resultados obtenidos para la definición de las épocas seca y lluviosa en función del análisis de: régimen mensual de precipitaciones de las diferentes estaciones ubicadas en la UH del río Tomebamba, análisis del climograma de la zona de estudio obtenido de una fuente oficial a nivel mundial de

información meteorológica (Climate-Data.Org), y revisión de bibliografía sobre estudios de variación anual de la precipitación en la UH del río Tomebamba.

4.3.1.1. Resultados del análisis del régimen mensual de precipitaciones de las estaciones pluviométricas ubicadas en la zona de estudio.

Se consideraron los datos de precipitaciones mensuales reportadas mediante las estaciones meteorológicas del INAMHI situadas en la UH del río Tomebamba y en la salida de la cuenca. En total se analizaron los datos de precipitaciones mensuales multianuales de 7 estaciones meteorológicas: 3 situadas en la sección alta de la UHT, 2 en la sección baja y aguas abajo del punto de salida de las aguas de la UHT.

En la Tabla 10 presentada posteriormente, se pueden observar los datos de precipitación media mensual multianual para un periodo de hasta 48 años comprendidos entre 1964 y 2012.

Tabla 10
Precipitación media mensual multianual en la UH del río Tomebamba.

Código Estación INAMHI	Ubicación en la Sección UHT	Precipitación mensual (mm)											
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
M0417	Alta	103,8	121,2	137,1	169,8	128,4	104,3	107,9	64,6	81,6	109,1	109,1	109,2
M0430	Alta	77,0	132,1	102,9	116,6	78,4	66,9	69,9	44,8	62,8	73,7	56,1	100,3
M0429	Alta	80,3	118,2	118,1	133,8	103,5	91,2	68,2	58,5	67,6	96,0	89,2	91,1



M1216	Baja	48,6	34,2	94,0	209,2	62,7	57,3	13,7	35,8	40,8	55,1	83,7	51,8
M0427	Baja	72,7	118,0	120,8	150,0	104,6	63,2	44,3	37,2	55,5	99,9	89,2	87,1
M0426	Fuera	63,3	90,2	112,5	126,3	84,0	45,2	29,9	23,9	49,1	98,7	94,3	90,8
M0067	Fuera	54,6	75,1	94,2	98,9	64,9	40,4	29,1	30,3	45,2	88,2	77,5	73,3

En las Figura 6 y Figura 7, se observa un régimen bimodal de precipitación. De manera general se aprecian dos épocas de mayores lluvias comprendidas la primera entre enero y abril y la segunda entre octubre y diciembre. La época la época seca comprende los meses de mayo a septiembre.

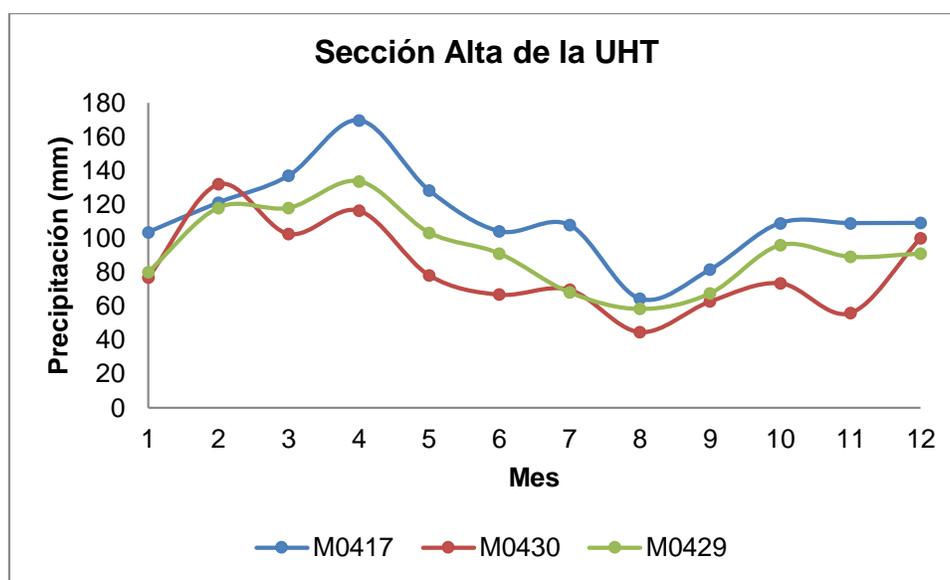


Figura 6. Régimen de precipitaciones sección alta de la UHT.

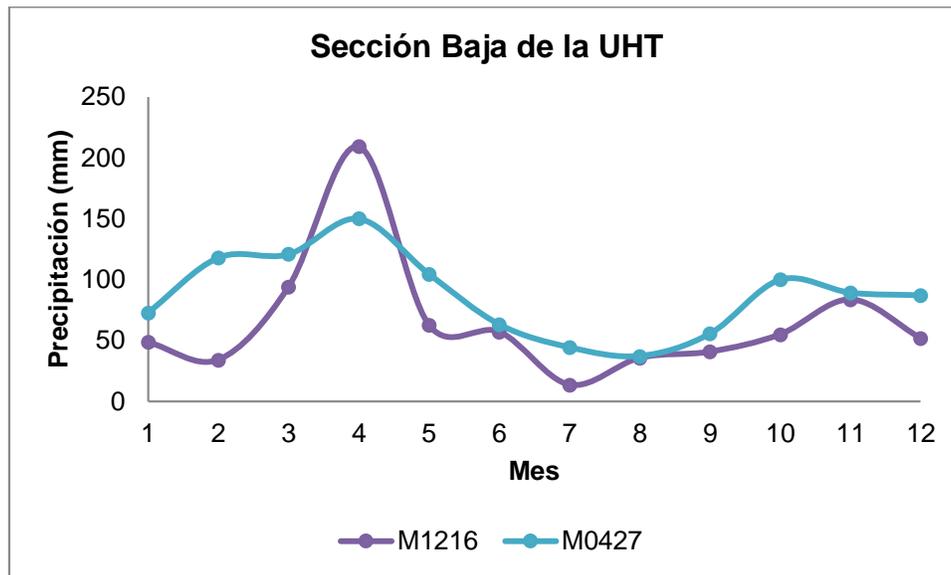


Figura 7. Régimen de precipitaciones sección baja de la UHT.

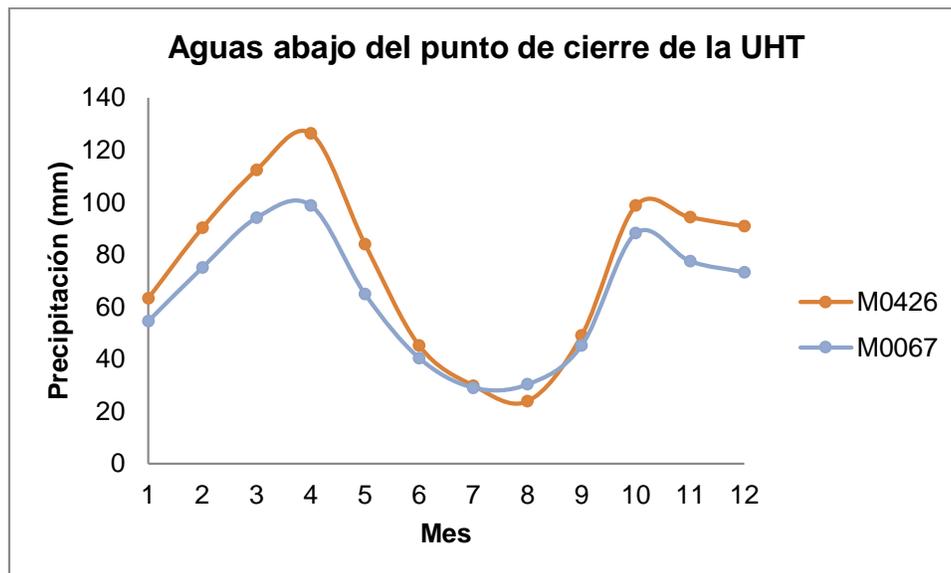


Figura 8. Régimen de precipitaciones aguas abajo del punto de cierre de la UH río Tomebamba (UHT).

4.3.1.2. Resultados del análisis del climograma de “Climate-Data.Org”.

Se utilizó el climograma de Tomebamba obtenido de la página web de Climate-Data.Org, los climogramas disponibles en dicha página web provienen de un modelo climático que utiliza datos meteorológicos de miles de estaciones meteorológicas de todo el mundo, recopilados entre los años 1982 y 2012 y que son actualizados con cierta frecuencia; los datos de ubicación de las ciudades se basan en datos del proyecto OpenStreetMap que son datos abiertos bajo la licencia “*Open Database Commons Open Database (ODbL)*” (Climate-Data.Org, 2012).

En la Figura 9 se observa que la precipitación presenta un ciclo bimodal, con dos periodos de incremento de lluvia comprendidos el primero entre enero y abril (447 mm total en el periodo, 112 mm promedio al mes) y el segundo entre octubre y diciembre (157mm total en el periodo, 23 mm promedio al mes); el periodo con decremento de precipitación ocurre entre mayo y septiembre (115 mm total en el periodo, 52 mm promedio al mes). Se resalta que el periodo de octubre a diciembre tiene tres veces menos precipitación que el periodo de enero a abril. La mayor lluvia ocurre en el mes de abril (134 mm) y la menor en agosto (8 mm).

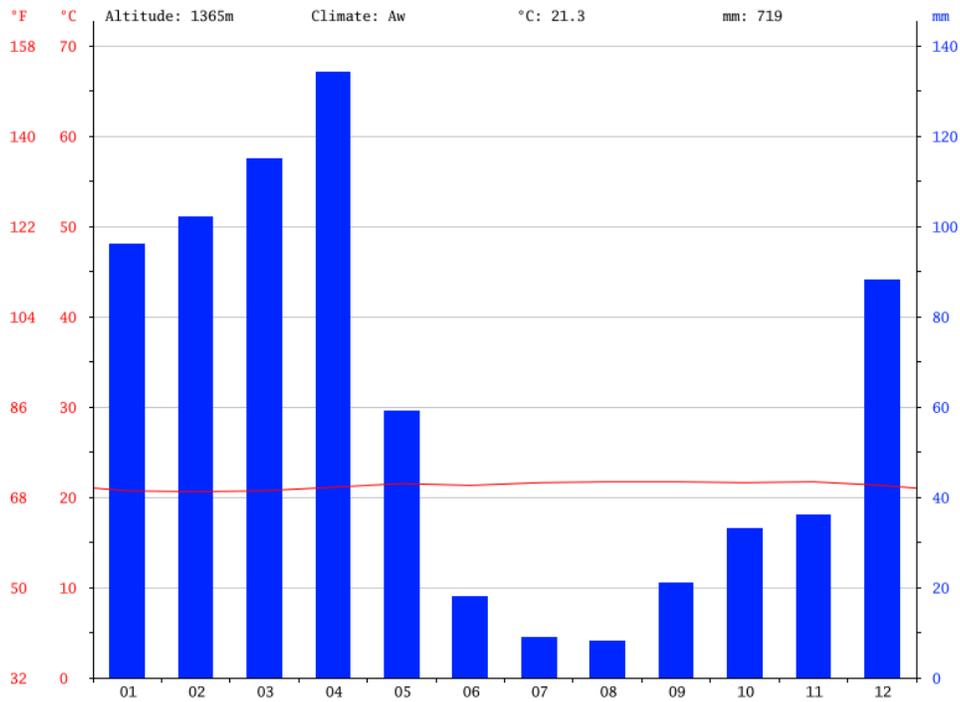


Figura 9. Climograma Tomebamba.

Fuente: Climate-Data.org. Recuperado de: <https://es.climate-data.org>

Por otro lado, analizando el climograma, se puede inferir que el período de aridez (período de tiempo en que la curva de la temperatura queda por encima de las barras de las precipitaciones) se presenta entre los meses comprendidos entre junio y noviembre.

4.3.1.3. Resultados de la revisión bibliográfica sobre estudios de la variación anual de precipitaciones en la UHT.

En los siguientes literales se expone la discusión de los estudios revisados que describen como se da la variación anual de la precipitación en la cuenca del río Tomebamba.

- i. El estudio presentado por Condo, A. & Juela, M. (2017) menciona que la mayor precipitación en la cuenca del Tomebamba ocurre en los meses de marzo y abril, siendo mayor en el mes de marzo; mientras que las más bajas se dan en agosto y septiembre (Ver Figura 10). La investigación utilizó datos meteorológicos a nivel diario del año 2015, de las estaciones pluviométricas: Patoquinoas, Virgen de El Cajas, Piscícola Chirimachay, Sayausí y de las estaciones meteorológicas de: Toreadora, Matadero en Sayausí y Mamamag Camping, proporcionados por la Universidad de Cuenca y la ETAPA – EP. Además, realizó la debida depuración y relleno de datos faltantes, por lo que es útil para la determinación de épocas seca y lluviosa de la UHT.

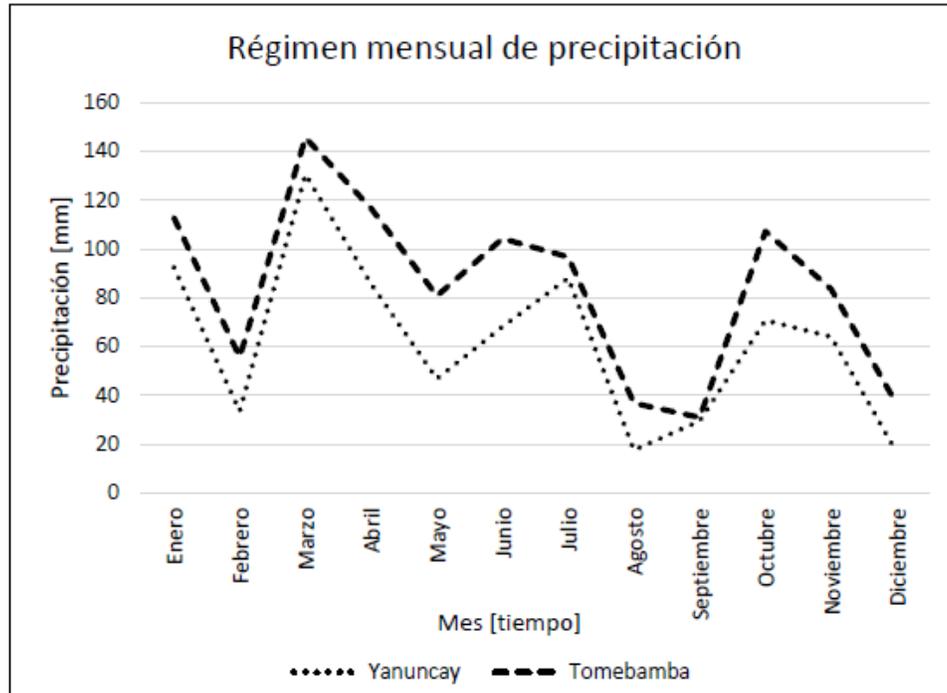


Figura 10. Régimen mensual de las precipitaciones en las cuencas de los ríos Tomebamba y Yanuncay.
Fuente: (Condo & Juela, 2017)

- ii. El Estudio Ambiental (Ex-Post) del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable para la ciudad de Cuenca (ETAPA-EP, 2017), estimó la precipitación mensual y su variabilidad a lo largo del año, basándose en datos de estaciones pluviométricas situadas alrededor de la ciudad de Cuenca, concluyendo que existen dos picos de precipitaciones, el primero comprendido entre los meses de marzo y abril, y el segundo en octubre y noviembre, por otro lado, los meses más secos del año están comprendidos entre junio y septiembre. Lo cual concuerda con el estudio antes descrito (Ver Figura 11).

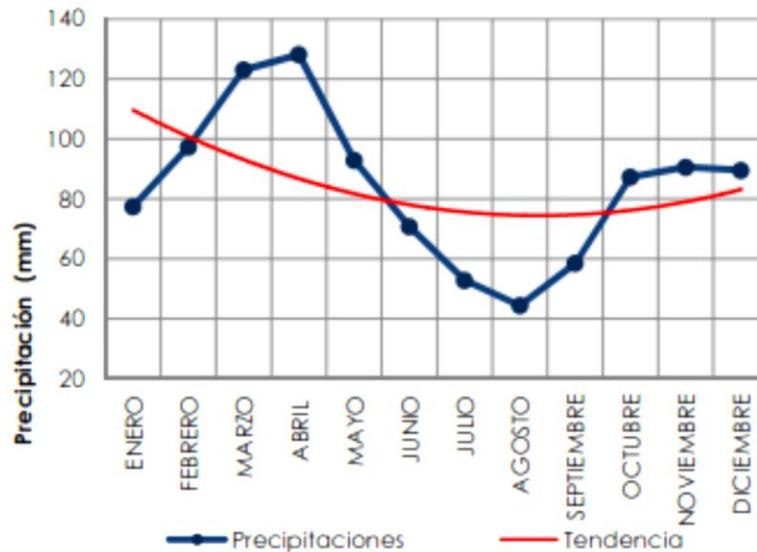


Figura 11. Variación mensual de la precipitación para alrededores ciudad de Cuenca.
Fuente: (ETAPA-EP, 2017)

- iii. Los literales antes descritos respecto a la revisión bibliográfica es corroborada por el estudio de Vallejo, E. (2014), donde se realiza un análisis de las crecidas presentadas en el río Tomebamba desde el año 1997 hasta el año 2011, y se determina que los caudales que produjeron desbordamiento del río Tomebamba, ocurrieron en los meses de marzo y junio, siendo los períodos de mayores lluvias comprendidos entre marzo a junio y octubre a noviembre.

Con base a los análisis realizado en los numerales: 4.3.1.1, 4.3.1.2 y 4.3.1.3; se seleccionaron las épocas hidrológicas para realizar el estudio de los parámetros de calidad de agua en el río Tomebamba. La división de épocas de lluvia y sequía, permite realizar un análisis más detallado de los parámetros de calidad de agua.

En la Tabla 11, se exponen los meses que corresponden a las épocas de lluvia y sequía para la UH del río Tomebamba.

Tabla 11

Periodos mensuales de épocas lluviosa y seca determinadas para el presente estudio.

Periodos en el año	Época Lluviosa /Seca
Enero - Abril	Lluviosa
Mayo-Septiembre	Seca
Octubre - Diciembre	Lluviosa

4.3.2. Resultados de la estimación de caudales en sitios específicos de la UH del río Tomebamba

A través del método de “Transposición de caudales” se obtuvieron los resultados de caudal para cada sección y época de lluvia y sequía, mostrados en la Tabla 12.

Tabla 12

Determinación de caudales estimados para diferentes secciones de la UHT.

Sección de la UH	Punto de monitoreo referencial	Épocas de lluvia y sequía	Q Medio (m ³ /s)	Q Medio (m ³ /mes)
Alta	TOM-QN-015	Enero - Abril	2,18	5650560
		Mayo-Septiembre	2,13	5520960
		Octubre - Diciembre	1,79	4639680
Media	TOM-QN-CONT y TOM-LL-CONT	Enero - Abril	5,04	13063680
		Mayo-Septiembre	4,92	12752640
		Octubre - Diciembre	4,13	10704960
Baja	TOM-TOM-050	Enero - Abril	12,07	31285440
		Mayo-Septiembre	11,77	30507840
		Octubre - Diciembre	9,88	25608960
Fuera	CUE-CUE-030	Enero - Abril	59,04	153031680
		Mayo-Septiembre	57,62	149351040
		Octubre - Diciembre	48,36	125349120

4.4. Resultados del análisis del comportamiento espacio – temporal de la calidad del agua en la UH del río Tomebamba

Los resultados del análisis y evaluación de los datos de calidad del agua fueron obtenidos después de la ejecución de varios procedimientos; iniciando con la preparación y exploración de los datos, posterior a lo cual se detectaron dificultades como, por ejemplo: campañas de monitoreo no periódicas y, diferente cantidad de datos tanto para las secciones alta, media y baja de la UHT como para los puntos de monitoreo. Por lo que fue necesario realizar evaluaciones preliminares a través de las cuales se encontraron errores de tipeo en la información recibida, por lo tanto, la información fue también sometida a la validación de la información por parte de las instituciones que aportaron con datos de calidad del agua.

En los siguientes numerales se explican de manera categorizada los diferentes resultados obtenidos en el análisis del comportamiento espacio – temporal de la calidad del agua de la UHT.

4.4.1. Resultados del procesamiento, evaluación inicial y depuración de los datos de calidad del agua

Como resultado de la recopilación y organización de los datos proporcionados por las instituciones ETAPA-EP, INAMHI y SENAGUA en archivos independientes formato Excel, se obtuvieron matrices con información ordenada y formatos

homologados según los siguientes campos: fecha de muestreo; coordenadas y códigos de puntos de monitoreo; y, concentración de parámetros.

4.4.1.1. Resultados del procesamiento inicial de los datos.

En la Tabla 13, se muestra el resumen general de la información reportada por cada institución, indicando: el número de puntos de muestreo en la UH de estudio, los parámetros registrados, la cantidad de años que cuentan con campañas de monitoreo y en función de estas, si se ha mantenido o no un levantamiento de información periódica y continua.

Tabla 13

Resumen de la información reportada por ETAPA-EP, SENAGUA e INAMHI

Institución	Número Sitios monitoreo UHT	Número Sitios monitoreo fuera UHT	Número de Parámetros reportados	Detalle de parámetros reportados	Frecuencia monitoreo* (Periódica / No periódica)	Cantidad de años con campañas de monitoreo
SENAGUA	2	2	54	pH (Unidades de pH); CE (us/cm); SDT (mg/l); T (°C); OD (mg/l); OD Sat (%); Color (PtCo); D/T (mg/l); ST (mg/l); Turb NTU; A/T (como CaCO ₃ mg/l); SST (mg/l); Salinidad (mg/l); (NH ₄) ⁺ (mg/l); Cl ⁻ (mg/l); F ⁻ (mg/l); (PO ₄) ⁻³ (mg/l); (NO ₃) ⁻ (mg/l); (NO ₂) ⁻ (mg/l); (SO ₄) ⁻² (mg/l); CN (mg/l); S ⁻ (mg/l); CF (NMP/100ml); CT (NMP/100ml); Aceites y grasas (mg/l); DBO ₅ (mg/l); DQO (mg/l); Fenoles (mg/l); Sustancias tensoactivas (mg/l); Cr (VI) (mg/l); Al (mg/l); As (mg/l); Ba (mg/l); Be (mg/l); B (mg/l); Cd (mg/l); Co (mg/l); Cu (mg/l); Sn (mg/l); Fe (mg/l); Li (mg/l); Mn (mg/l); Hg (mg/l); Mo (mg/l); Ni (mg/l); Ag (mg/l); Pb (mg/l); Se (mg/l); V (mg/l); Zn (mg/l); Ca (mg/l); K (mg/l); Si (mg/l); Na (mg/l)	No periódica	2 años de monitoreo (2013 - 2014)
INAMHI	2	2	39	pH (Unidades de pH); CE (us/cm); SDT (mg/l); T (°C); OD (mg/l); OD Sat (%); Color (PtCo); D/T (mg/l); ST (mg/l); Turb NTU; A/T (como CaCO ₃ mg/l); SST (mg/l); (NH ₄) ⁻ (mg/l); Cl ⁻ (mg/l); F ⁻ (mg/l); (PO ₄) ⁻³ (mg/l); (NO ₃) ⁻ (mg/l); (NO ₂) ⁻ (mg/l); (SO ₄) ⁻² (mg/l); CF (NMP/100ml); CT (NMP/100ml); DBO ₅ (mg/l); DQO (mg/l); As (mg/l); Cu (mg/l); Fe (mg/l); Mn (mg/l); Pb (mg/l); Ca (mg/l); K (mg/l); Si (mg/l); Na (mg/l)	No periódica	9 años de monitoreo (2007 - 2015)
ETAPA - EP	27	4	8	DBO ₅ (mg/l); CF (NMP/100ml); OD (mg/l); SDT (mg/l); P (mg/l); Turb NTU; (NO ₃) ⁻ (mg/l); pH (Unidades pH)	No periódica	28 años de monitoreo (1984-1985; 1991 -2016)

*Entiéndase por periódico al muestreo efectuado considerando el análisis de todos los parámetros en relación a las campañas de monitoreo anuales.

En la Tabla 13, se observa que ETAPA posee el mayor número de puntos de monitoreo en el área de estudio, mientras que INAMHI y SENAGUA han situado dos puntos de monitoreo tanto dentro como fuera de la UHT. Por otro lado, SENAGUA ha realizado el mayor levantamiento de información respecto a 54 parámetros de manera no periódica en 2 años de monitoreo, seguido por INAMHI con análisis no periódicos de 39 parámetros de calidad del agua durante 9 años de monitoreo. ETAPA-EP, sin embargo, presentó la mayor cantidad de campañas efectuadas durante 26 años para 7 parámetros físico - químicos.

Adicionalmente para comparar el número total de datos esperados considerando el número de campañas, parámetros y puntos de monitoreo y, el número real disponible de datos reportados por las instituciones que contribuyeron con información para el presente estudio, se obtuvo un cuadro comparativo de dicha información (ver Tabla 14).

Tabla 14

Tabla comparativa de la cantidad de datos disponible por cada institución.

CANTIDAD/ INSTITUCIÓN	ETAPA - EP	INAMHI	SENAGUA
Fechas reportadas	293	42	2
Parámetros reportados	8	39	54
Puntos de monitoreo	31	4	4
Datos esperados	72664	6552	432
Datos reportados	13321	1198	392
Porcentaje Datos disponibles	18%	18%	91%

Para el análisis estadístico tanto a nivel descriptivo como multivalente que permita el análisis espacio – temporal de la calidad del agua de manera representativa de la calidad del agua en la UHT, se seleccionó la información proporcionada por ETAPA – EP, al contener la mayor cantidad de campañas y puntos de muestreo.

La Subgerencia de Gestión Ambiental de ETAPA EP cuenta con un Programa de Monitoreo y Vigilancia de Recursos Hídricos y Clima, para el monitoreo de la integridad ecológica de ríos y lagos, dispone de una red de cobertura de más de 360,000 ha dentro de las sub-cuencas manejadas por dicha entidad. La red de monitoreo está conformada por más de 70 estaciones que arrojan datos sobre clima, caudales de agua y/o parámetros físico –químicos (ETAPA EP, 2018).

Es importante indicar que, en cuanto a la densidad de los datos, el INAMHI y la SENAGUA poseen un plan de monitoreo cuya red tiene una cobertura a nivel nacional distribuida en los principales ríos de las unidades hidrográficas del Ecuador. ETAPA-EP posee una mayor densidad de datos considerando sus competencias institucionales en el área específica de estudio.

4.4.1.2. *Resultados de la identificación de información de calidad del agua disponible en los datos entregados por ETAPA-EP.*

Como resultado de la Identificación de información de calidad del agua disponible por campaña y punto de monitoreo, se obtuvo la línea de tiempo de los datos la cual se muestra en el Anexo 3, a través de lo cual se observó que no existe información disponible para todas las campañas de muestreo.

A continuación en la Figura 12 se observa la disponibilidad de los datos, la cual está representada por puntos en función del mes y año de ejecución de las campañas de monitoreo. Adicionalmente en el Anexo 4 Anexo 4, existen otros ejemplos de análisis de información disponible en función del punto de monitoreo y/o parámetro.

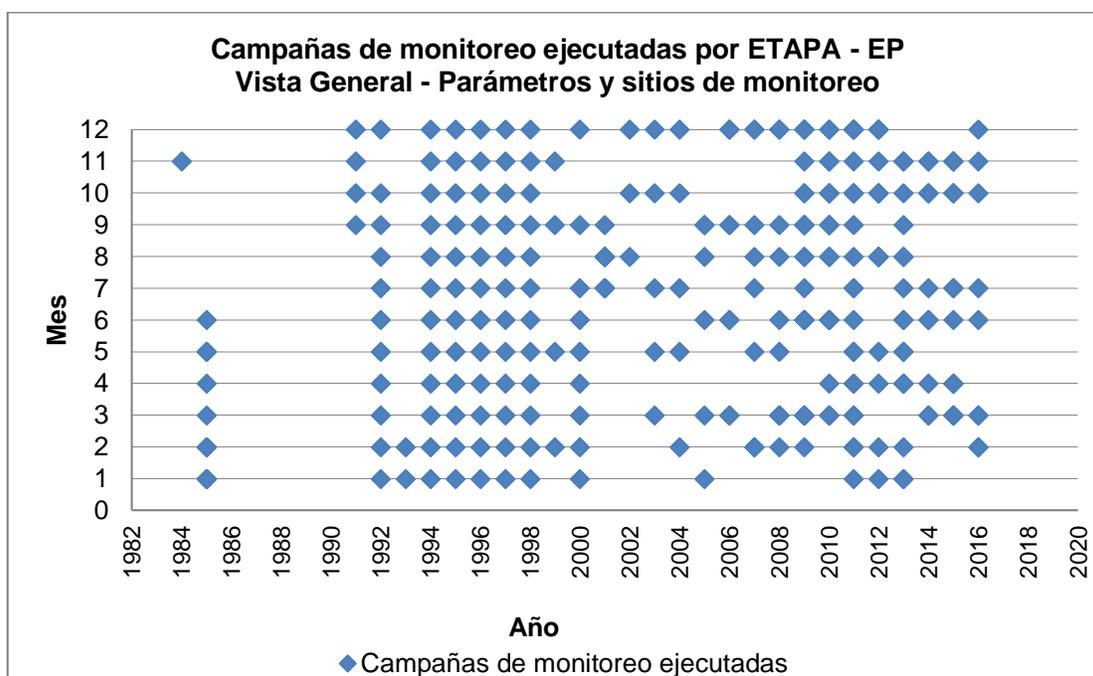


Figura 12. Gráfica año vs. mes de campañas de monitoreo, vista general de todos los parámetros y puntos de monitoreo.

De los análisis antes descritos para la identificación de línea de tiempo se observó que los monitoreos no fueron efectuados de manera continua y periódica.

Al analizar los datos separados por sección alta, media y baja (ver Tabla 15), se puede notar una gran cantidad de información faltante, correspondiendo a la sección alta el mayor porcentaje de datos faltantes con un 91%, mientras que las secciones media y baja se presentan porcentajes de 87% y 71% respectivamente, valores que también son muy elevados.

Tabla 15

Porcentaje de datos faltantes en la sección alta, media y baja. Datos tomados de ETAPA-EP.

Parámetro	Sección alta (2344 datos)		Sección media (2051 datos)		Sección baja (1758 datos)		Fuera de la UHT (1758 datos)	
	N° datos	% vacíos	N° datos	% vacíos	N° datos	% vacíos	N° datos	% vacíos
DBO5	214	90,87	298	85,47	562	68,03	773	56,03
CF	148	93,69	214	89,57	603	65,7	814	53,7
OD	209	91,08	297	85,52	581	66,95	775	55,92
ST	181	92,28	288	85,96	436	75,2	660	62,46
PH	192	91,81	292	85,76	565	67,86	798	54,61
TURB	213	90,91	298	85,47	530	69,85	744	57,68
PT	252	89,25	187	90,88	329	81,29	354	79,86
NO₃	218	90,7	284	86,15	450	74,4	555	68,43
Promedio % vacíos		91,32		86,85		71,16		61,09

Con los resultados observados de disponibilidad de información de calidad del agua, se podría pretender realizar el relleno de datos faltantes; para lo cual existen varias metodologías aplicables en función de la disponibilidad de información y del tipo de variable que se desea rellenar. Los métodos más utilizados corresponden al uso de

regresión lineal, razones de distancias, promedios vecinales, razones promedio y correlaciones con estaciones vecinas de monitoreo; también existen otras metodologías más complejas para completar datos por regresión múltiple y vector regional (Luna & Lavado, 2015)

Las metodologías anteriormente mencionadas son generalmente usadas para completar datos meteorológicos faltantes, como precipitación y temperatura, que tienen una alta correlación espacial con: la altitud y la topografía del terreno y, las épocas secas y húmedas del año. En este sentido, el relleno de datos de calidad de agua, podría ser recomendable para disminuir en lo posible, la incertidumbre en los datos.

Sin embargo, el relleno de parámetros faltantes de calidad de agua, resulta algo más complejo; pues estos parámetros no siempre dependen únicamente de su ubicación espacial (secciones: alta, media y baja de cuencas hidrográficas) y con las épocas de lluvia y sequía del año; sino que adicionalmente están fuertemente ligados a las actividades antrópicas que afectan al recurso hídrico, así, por ejemplo, los sitios del cauce en donde se realiza el vertimiento directo de aguas.

Como se indica en la Tabla 14 y Tabla 15, la información disponible para el presente estudio posee un alto porcentaje de datos faltantes (82%), por tanto, no es apropiado aplicar metodologías de relleno de datos para completar la información, sino trabajar únicamente con los datos que se dispone en cada caso. Pues caso contrario se uniformizaría la información a un solo valor, por ejemplo, si se utilizara el valor estadístico de la media (promedio simple) para el relleno de información, se dispararía

información valiosa sobre la distribución real de los datos y consecuentemente del comportamiento de la calidad del agua.

4.4.1.3. Resultados de la identificación de outliers (datos atípicos) y depuración de los datos de calidad del agua proporcionados por ETAPA - EP.

La depuración de datos se efectuó para la información entregada por ETAPA – EP, conforme a lo mencionado en el numeral 3.4.1.3.; se llevó a cabo la identificación de datos atípicos (ver ejemplo Anexo 5), posterior a lo cual los mismos fueron analizados en función de los factores que podrían influenciar en la calidad del agua; como resultado se obtuvo una matriz con los datos seleccionados para su conservación o eliminación un ejemplo de estos resultados se exponen en el Anexo 6.

Posterior a la depuración de las matrices de información, se determinaron los porcentajes de datos eliminados en función de la cantidad de datos disponibles previos a la identificación de outliers. En la Tabla 16 se observan los porcentajes de datos eliminados para las secciones altas y media, en función de la sección de la UHT y las épocas seca y lluviosa, cabe indicar que este procedimiento se llevó a cabo para todas las secciones de la UHT.

Tabla 16

Porcentajes de outliers identificados, datos eliminados y conservados para las secciones alta y media de la UHT.

Sección	Alta			Media			
	Época	Enero - Abril	Mayo - Septiembre	Octubre- Diciembre	Enero - Abril	Mayo - Septiembre	Octubre- Diciembre
Número Total de Datos iniciales		570	614	444	590	918	606
Número de datos identificados como outliers		57	50	31	30	35	24
Número de outliers eliminados		55	47	26	26	32	21
Número de datos conservados		515	567	418	564	886	585
Porcentaje de datos identificados como outliers		10%	8%	7%	5%	4%	4%
Porcentaje de datos conservados		90%	92%	94%	96%	97%	97%
Porcentaje de outliers eliminados		96%	94%	84%	87%	91%	88%
Porcentaje de outliers conservados		4%	6%	16%	13%	9%	13%

4.4.2. Resultados del Análisis de los datos de calidad del agua de la UH del río Tomebamba a través de métodos estadísticos

En los siguientes numerales, se exponen de manera resumida los resultados del procesamiento de información a través de la estadística descriptiva.

4.4.2.1. *Resultados de la Estadística Descriptiva de los datos de calidad del agua.*

Los resultados detallados, obtenidos de la estadística descriptiva se pueden observar en el Anexo 7, en los subsiguientes párrafos se realiza la discusión correspondiente para cada parámetro:

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Al analizar las medianas de los datos, se tienen valores medios de DBO₅ que oscilan entre 0,50 mg/l en la época de octubre a diciembre en la sección alta hasta 0,90 mg/l para la misma época en la sección baja. Las medidas de tendencia central muestran que la distribución tiende a la normalidad, pues los estadísticos difieren entre sí. Especialmente, los mayores valores se revelan en la sección baja y temporalmente se presentan incrementos en la época seca comprendida entre mayo y septiembre. El coeficiente de variación oscila entre el 40,6% a 71,2%, lo que indica que existe algo de dispersión de los datos en torno al valor medio. El coeficiente de asimetría es positivo en todos los casos, lo que indica que la mayor parte de los datos se concentran por encima de la media. En cuanto a la curtosis, las secciones alta y media presenta valores negativos (curva tiende a ser achatada) mientras que la sección baja tiene valores positivos (curva tiende a ser apuntalada con la mayoría de datos concentrados en torno a la media).

Coliformes fecales (CF)

Los valores de las medianas para coliformes fecales van de 2,0 NMP/100ml en el periodo de mayo a septiembre en la sección alta hasta 1300 NMP/100ml en el periodo

comprendido entre octubre y diciembre en la sección baja. Las medidas de tendencia central muestran que la distribución se aleja de una distribución normal, pues los estadísticos de media y mediana son muy diferentes entre sí. Espacialmente, los mayores valores se manifiestan en la sección baja (que llegan a ser hasta 150 veces mayor que los valores de CF en la sección media y hasta 600 veces superior a los valores de CF obtenidos en la sección alta) y temporalmente se distinguen incrementos en la época lluviosa del periodo enero - abril. El coeficiente de variación es mayor al 100%, llegando al 196%, por tanto, existe una gran variación de los datos en torno a la media y una gran variación entre los valores máximos y mínimos. El coeficiente de asimetría es positivo en todos los casos, indicando que la mayoría de los datos se concentran por encima del valor medio. La curtosis también es positiva, indicando que existe una gran cantidad de datos en torno a la media.

Oxígeno disuelto (OD)

Se tienen valores medios de oxígeno disuelto entre 7,11 mg/l en el periodo enero - abril y 7,79 mg/l de mayo a septiembre en la sección alta. La distribución tiende a la normalidad, pues los estadísticos de media, mediana y moda son muy similares entre sí. Comparando las secciones, los mayores valores corresponden a la sección baja; por otro lado, analizando las épocas hidrológicas del año se tiene que los mayores valores ocurren entre mayo y septiembre. El coeficiente de variación es muy bajo, entre el 5% y 7%, por tanto, existe poca dispersión de los datos. La distribución de los datos es simétrica (el coeficiente de asimetría se acerca a cero) y tiende a la normalidad. La

curtosis toma valores entre positivos y negativos, pero muy cercanos a cero, por tanto, se infiere que la distribución es de tipo mesocúrtica y tiende a la normalidad.

Sólidos totales (ST)

Al analizar las medianas de los datos, se tienen valores medios de Sólidos totales que oscilan entre 66,5 mg/l en la época de octubre a diciembre en la sección alta hasta 81 mg/l en la época comprendida entre mayo y septiembre en la sección baja. Las medidas de tendencia central muestran que la distribución tiende a la normalidad, pues los estadísticos son similares entre sí. Espacialmente, los mayores valores se encuentran en la sección baja y temporalmente se presentan incrementos en la época seca comprendida entre mayo y septiembre. El coeficiente de variación oscila entre el 20% y 34%, lo que indica que existe poca dispersión de los datos en torno al valor medio. El coeficiente de asimetría toma valores bajos (entre positivos y negativos) y tiende a cero, lo que indica que la distribución es casi simétrica. La curtosis toma valores entre positivos y negativos, pero muy cercanos a cero, por tanto, se infiere que la distribución es de tipo mesocúrtica y tiende a la normalidad.

Potencial de hidrógeno (pH)

Se obtuvieron valores medios entre 7,63 y 7,74 Unidades de pH en el periodo mayo - septiembre y octubre – diciembre respectivamente, el menor valor registrado en la sección alta, y el mayor en la sección baja. Las medidas de tendencia central de media, mediana y moda son muy cercanas entre sí, indicando una distribución que tiende a la normalidad. Comparando las secciones, no existe una diferencia significativa

entre los valores de pH registrados; en cuanto a las épocas hidrológicas, tampoco se observa una diferencia notoria de los valores de pH entre una época y otra. El coeficiente de variación es bastante bajo, inferior al 6,5 %, indicando muy poca dispersión de los datos en torno al valor medio. El coeficiente de asimetría tiende a cero, mostrando simetría en la distribución. La curtosis toma valores entre positivos y negativos, pero muy cercanos a cero, por tanto, se infiere que la distribución es de tipo mesocúrtica y tiende a la normalidad.

Turbiedad

Las medianas de los datos poseen valores de turbiedad que oscilan entre 0,79 NTU en el periodo mayo - septiembre en la sección alta y 3,0 NTU en el periodo enero - abril en la sección baja. Las medidas de tendencia central muestran que la distribución difiere de la normalidad, pues los estadísticos de media y mediana difieren entre sí. Espacialmente, los mayores valores se presentan en la sección baja; temporalmente se distinguen incrementos en la época seca comprendida entre mayo y septiembre en las secciones alta y media, y en el período enero – abril en la sección baja. El coeficiente de variación oscila entre el 43% y el 235%, lo que indica que existe una gran diferencia entre los valores máximos y mínimos. El coeficiente de asimetría es positivo en todos los casos, por tanto, la mayor parte de los datos se concentran por encima del valor medio. La curtosis es positiva, presentándose una distribución leptocúrtica o escarpanda en donde los datos se concentran en torno a la media.

Fósforo Total (PT)

Los valores de medianas de PT obtenidos corresponden a 0,005mg/l para los periodos enero – abril y mayo - septiembre en la sección alta. Las medidas de tendencia central muestran que la distribución tiende a la normalidad, pues los estadísticos son similares entre sí. Comparando las secciones, los valores mayores ocurren en la sección baja. El coeficiente de variación oscila entre el 67% y 110%, mostrando una gran dispersión entre los valores máximos y mínimos de los datos. El coeficiente de asimetría es positivo en todos los casos, lo que indica que la mayor parte de los datos se concentran por encima de la media. La curtosis también tiende a ser positiva en la mayoría de los casos, mostrando una distribución apuntalada.

Nitratos (NO₃)

Analizando las medianas de los datos, se tienen valores de la mediana de NO₃ comprendidos entre 0,005 mg/l en el periodo de enero - abril en la sección alta hasta 0,07 mg/l en el mismo periodo registrados en la sección baja. Las medidas de tendencia central muestran que la distribución difiere de una distribución normal, pues los estadísticos de media, mediana y moda varían entre sí. Especialmente, los mayores valores se manifiestan en la sección baja y temporalmente existen incrementos en la época de lluvia comprendida entre octubre a diciembre. El coeficiente de variación es elevado y oscila entre el 74% y 165%, lo que indica que existe mucha variación de los datos entre los valores máximos y mínimos. El coeficiente de asimetría es positivo en todos los casos, lo que indica que la mayor parte de los datos se concentran por encima de la media. La curtosis también es positiva y toma valores elevados, mostrando que la distribución es apuntalada, con gran concentración de datos en torno al valor medio.

4.4.2.2. Resultados de los Análisis de Normalidad de los datos de calidad del agua.

En la Tabla 17, se muestra un resumen del análisis de normalidad efectuado para los parámetros físico – químicos en las secciones alta, media y baja de la UH del río Tomebamba y los periodos de época seca y lluviosa (Enero-Abril, Mayo-Septiembre, Octubre-Diciembre). Se identifica con la palabra “Si” los resultados en los que los datos poseen comportamientos normales, caso contrario se usa la palabra “No”.

Tabla 17

Resumen de resultados del análisis de normalidad de los datos de calidad del agua.

Sección de la UHT	Sección Alta			Sección Media			Sección Baja		
	Período / Parámetro	Ene - Abr	May - Sep	Oct - Dic	Ene - Abr	May - Sep	Oct - Dic	Ene - Abr	May - Sep
DBO5	No	No	No	No	No	Si	Si	No	No
CF	No	No	No	No	No	No	No	No	No
OD	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	No
ST	Si	Si	Si	No	Si	Si	No	Si	Si
pH	Si	Si	Si	No	Si	Si	No	No	Si
Turb	No	No	No	No	No	No	No	No	No
PT	No	No	No	No	No	No	No	No	No
NO3	No	No	No	No	No	No	No	No	No

Los resultados detallados del análisis de normalidad se pueden observar en el Anexo 8.

Sección Alta de la UHT

Los resultados permiten observar que en la sección alta de la UHT únicamente los valores de Sólidos totales, Oxígeno Disuelto y pH cumplen con los criterios de normalidad para los tres períodos analizados. En el caso del Oxígeno disuelto, excepto

por el período octubre - diciembre, los datos muestran un comportamiento normal. Todos los demás parámetros analizados (DBO₅, Coliformes fecales, Turbiedad, NO₃ y PT) no siguen una distribución normal.

Sección Media de la UHT

Los resultados muestran que, en la sección media de la UHT, únicamente los valores de Sólidos totales y pH cumplen con los criterios de normalidad, aunque no en todos los períodos analizados, pues para los Sólidos totales en el periodo de Enero a Mayo se tiene un outlier que disminuye el comportamiento normal de los datos; además en el caso del pH, para la misma época, no se cumple con la normalidad para los test de Shapiro Wilk y de Anderson Darling. En relación al Oxígeno disuelto y al DBO₅, en los períodos Enero – Abril y Octubre - Diciembre respectivamente, la distribución de los datos es normal. El resto de parámetros (Coliformes fecales, Turbiedad, NO₃ y PT) no siguen una distribución normal.

Sección Baja de la UHT

Los resultados permiten evidenciar que en la sección baja de la UHT no se presenta normalidad de los parámetros en todas las épocas hidrológicas del año. Únicamente los Sólidos totales tienen normalidad en dos épocas exceptuando Enero – Abril. El DBO₅, y el pH, tienen una distribución normal en una sola época del año, para los períodos Enero - Abril y Octubre - Diciembre correspondientemente. El resto de

parámetros (OD, Coliformes fecales, Turbiedad, NO_3 y PT) no siguen una distribución normal.

En relación a los resultados de normalidad para la Sección baja, es importante mencionar que, a pesar de contar con mayor cantidad de datos que el resto de las secciones, también existen mayor número de outliers a nivel estadístico, que no necesariamente corresponden a errores, puesto que son valores que fueron sometidos a evaluación detallada de las características de la zona en la que se ubican los puntos de monitoreo (numeral 4.4.1.3. “*Resultados de la identificación de outliers (datos atípicos) y depuración de los datos de calidad del agua proporcionados por ETAPA - EP.*”). Estos datos constituyen información que se aleja del valor medio e influyen para que no se obtenga una distribución normal. Dicho comportamiento se podría atribuir a la influencia de los factores antrópicos (asentamientos poblacionales, ganadería, agricultura, entre otros) que fueron identificados a través del levantamiento de información tanto bibliográfica como de campo, para la zona correspondiente a la sección baja de la UHT.

En resumen, de los parámetros de calidad del agua sometidos al análisis estadístico de normalidad, los Sólidos Totales y el pH presentaron distribuciones normales para la mayor parte de secciones de la UH y épocas de lluvia y sequía analizadas. Los parámetros que no presentaron distribuciones normales en ninguno de los casos analizados fueron: Coliformes fecales, Turbiedad, Fósforo Total y Nitratos.

4.4.3. Resultados del Análisis de Componentes Principales de los parámetros monitoreados en la UH del río Tomebamba.

Los resultados obtenidos muestran que el componente principal 1 (CP1) explica el 94,6% de la varianza espacio - temporal de los datos, en promedio. Además, dentro del CP1 los parámetros de calidad del agua con mayor peso (en las combinaciones lineales para la formulación del CP1) son: Coliformes fecales con un 93,1%, seguido del NO_3 con un 28,3% y del PT con un 21,6% en promedio; por tanto, se concluye que estos tres parámetros (CF, NO_3 y PT) son los más representativos de la calidad de agua del río Tomebamba.

La Figura 13 muestra el gráfico de sedimentación en donde se puede observar que el (Componente Principal 1) CP1 es el que mayoritariamente explica la varianza de los datos, pues para los demás componentes la curva se aplanan.

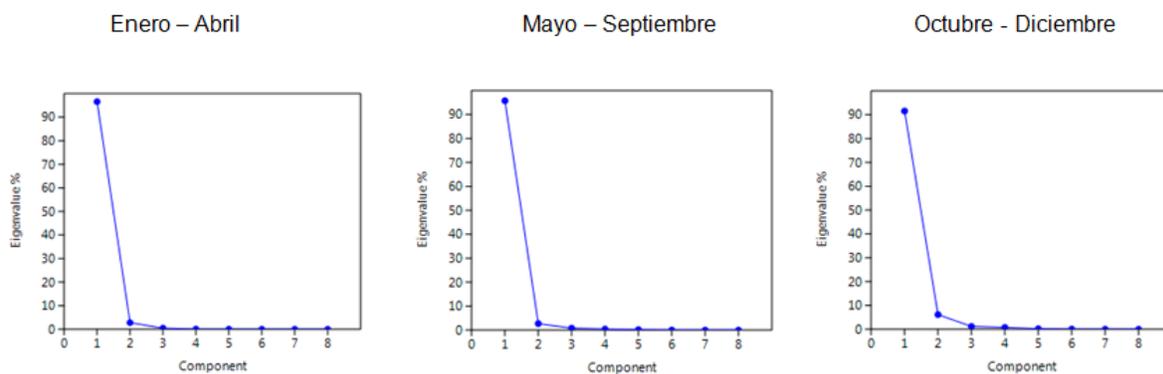


Figura 13. Resultados del ACP, curvas de varianza de los datos.

En Tabla 18 se exhibe un resumen del porcentaje de varianza para el CP1 y de los pesos que los parámetros de calidad de agua tienen dentro de este componente.

Tabla 18
Porcentaje de Varianza Componente Principal 1 (CP1).

<i>Época</i>	<i>% Varianza acum</i>	<i>Parámetros</i>	<i>Peso/parámetro</i>
Ene - Abr	96,61	CF	0,94
		NO ₃	0,35
		PT	0,20
May - Sep	95,75	CF	0,92
		NO ₃	0,25
		PT	0,22
Oct - Dic	91,58	CF	0,93
		NO ₃	0,24
		PT	0,21

Adicionalmente, en el Anexo 9 se observan los valores propios y los porcentajes de varianza de cada componente principal.

4.4.4. Resultados del Análisis de la calidad del agua de la UH del río Tomebamba a través de Geoestadística

Los parámetros de calidad de agua medidos en el río Tomebamba no cumplen con las condiciones de normalidad, estacionalidad y tendencia; conforme indica la metodología (Ver numeral 3.4.2.4. “Análisis de la calidad del agua de la UH del río Tomebamba a través de Geoestadística”). De los resultados obtenidos para la sección alta de la UHT, únicamente los valores de Sólidos totales y pH cumplen con los criterios

de normalidad para los tres períodos analizados (Enero – Abril, Mayo – Septiembre y Octubre – Diciembre).

Las concentraciones de algunos parámetros varían a lo largo del año en función de las épocas lluviosas y seca, por ejemplo, los parámetros Oxígeno disuelto, Turbidez y Nitratos aumentan en la época de lluvia, indicando estacionalidad. Sin embargo, esto no sucede para todos los parámetros.

A través del Análisis de la calidad del agua con el Criterio de Rutas se identificaron ciertas tendencias del comportamiento de los parámetros en función del tiempo y del espacio (Ver numeral 4.4.6); si bien preliminarmente podría identificarse que existe el incremento o decremento vertiginosos de las concentraciones de algunos parámetros (por ejemplo DBO₅, Coliformes fecales y Turbidez); no existen tendencias marcadas para la mayor parte de los parámetros analizados.

Por lo antes expuesto, se concluye que, no todos los parámetros de calidad del agua registrados en la UHT cumplen simultáneamente con los tres requisitos necesarios para la aplicación de la Metodología de Kriging.

Cabe recalcar que la metodología de Kriging realiza una interpolación espacial considerando toda la superficie de los puntos ingresados en el análisis geoestadístico, situación que resulta ser una limitante en el análisis de cauces de ríos, si se considera la naturaleza del cauce del río como una escorrentía de forma lineal (y no un polígono o superficie), resulta erróneo utilizar Kriging para el relleno de datos, pues al ser una metodología de interpolación espacial, se correría el riesgo de interpolar erróneamente

datos entre un tramo de cauce A y B, considerando la influencia de estos dos puntos a lo largo del tramo. Pues, si establecemos que el punto B está situado aguas abajo del punto A, y si en B se realiza una descarga antrópica, es obvio que este vertimiento afectará desde el punto B hacia aguas abajo del cauce y no tendrá influencia hacia aguas arriba en el punto A.

Así mismo en los casos en que existan dos cauces contiguos que confluyen hacia un sitio en común, y existen puntos de monitoreo ubicados antes de la junta de dichos cuerpos hídricos (puntos C y D), en esta metodología resultaría un error al interpolar los datos de los puntos C y D como si pertenecieran al mismo cauce.

Por lo tanto, la metodología de Kriging no puede ser aplicada en este caso de estudio, al tratarse de cursos de agua superficial, que escurren hacia el mismo punto de cierre de la UH (confluencia de las aguas que drenan hacia el mismo punto).

4.4.5. Resultados del cálculo de cargas contaminantes de parámetros físico-químicos

En la Tabla 19, se observan los resultados de cargas contaminantes determinadas para los parámetros físico –químicos en las diferentes secciones de la UHT para cada época lluviosa y seca, los valores se encuentran expresados en Toneladas por mes.

Los resultados muestran que, en la sección alta de la UHT, la carga mensual de la DBO es mayor para las épocas de lluvia (Enero – Abril y Octubre – Diciembre), lo mismo no sucede con los parámetros Sólidos Totales y Fósforo, que presentan mayor carga en el periodo Enero – Abril.

En la sección media los parámetros DBO, Fósforo y Nitratos presentan mayor carga mensual durante la época seca, lo contrario sucede con los sólidos totales, que presentan menor carga contaminante en el periodo de Octubre - Diciembre.

Los resultados obtenidos en la sección media de la UHT, muestran que se tiene mayor carga contaminante de sólidos totales en el periodo de mayor lluvia comprendido de Enero hasta Abril, lo contrario sucede para el Fósforo que en la época de mayores lluvias presenta la menor carga contaminante. Al comparar los resultados de la DBO en relación a la sección alta, se identifica un comportamiento inverso en la época seca, es decir el aumento de la carga contaminante.

Respecto a la carga contaminante determinada para el tramo principal del río Tomebamba fuera de la UHT de estudio se obtuvo la mayor carga contaminante en el periodo más lluvioso del año en los parámetros DBO y Sólidos totales, sin embargo, para los parámetros Fósforo y Nitratos en la época seca se obtuvieron los menores valores.

Tabla 19

Resultados de cargas contaminantes de parámetros físico - químicos en las secciones de la UHT.

Sección de la UH	Punto de monitoreo referencial	Periodos	DBO5 (Ton/mes)	ST (Ton/mes)	PT (Ton/mes)	NO3 (Ton/mes)
Alta	TOM-QN-015	Enero - Abril	2,26	418,14	0,04	0,03
		Mayo-Septiembre	1,93	394,75	0,03	0,05
		Octubre - Diciembre	2,32	308,54	0,03	0,04
Media	TOM-QN-CONT y TOM-LL-CONT	Enero - Abril	7,84	1032,03	0,17	0,44
		Mayo-Septiembre	8,93	1020,21	0,22	0,51
		Octubre - Diciembre	6,96	834,99	0,16	0,46
Baja	TOM-TOM-050	Enero - Abril	61,01	2878,26	1,56	4,54
		Mayo-Septiembre	67,12	2532,15	2,44	4,58
		Octubre - Diciembre	61,46	2240,78	2,30	3,97
Fuera	CUE-CUE-030	Enero - Abril	1346,68	23566,88	47,44	32,14
		Mayo-Septiembre	1123,87	21655,90	43,31	31,36
		Octubre - Diciembre	1172,01	19805,16	48,89	38,67

4.4.6. Resultados del Análisis de la calidad del agua a través del Criterio de Rutas

A continuación, se muestran los resultados del análisis del comportamiento de la calidad del agua a través del tramo principal del río Tomebamba, considerando tanto los puntos de monitoreo dentro del área de estudio (UH 4992896 nivel 7 Pfafstetter del río Tomebamba) como aquellos puntos ubicados fuera de esta con el objetivo de identificar posibles cambios en la calidad del agua, aguas abajo del punto de cierre de la UHT (confluencia de las aguas que drenan hacia el mismo punto).

Los resultados del análisis de Criterio de Rutas, se encuentran en función de los tres periodos identificados para las épocas seca y lluviosa (Enero – Abril, Mayo – Septiembre y Octubre – Diciembre); a través de gráficos de lineales en los que en el eje

de las ordenadas se colocan las concentraciones de los diferentes parámetros y en el eje de las abscisas los sitios de monitoreo en orden descendente conforme a su ubicación en la UH del río Tomebamba.

4.4.6.1. Criterio de Rutas Concentración vs. Puntos

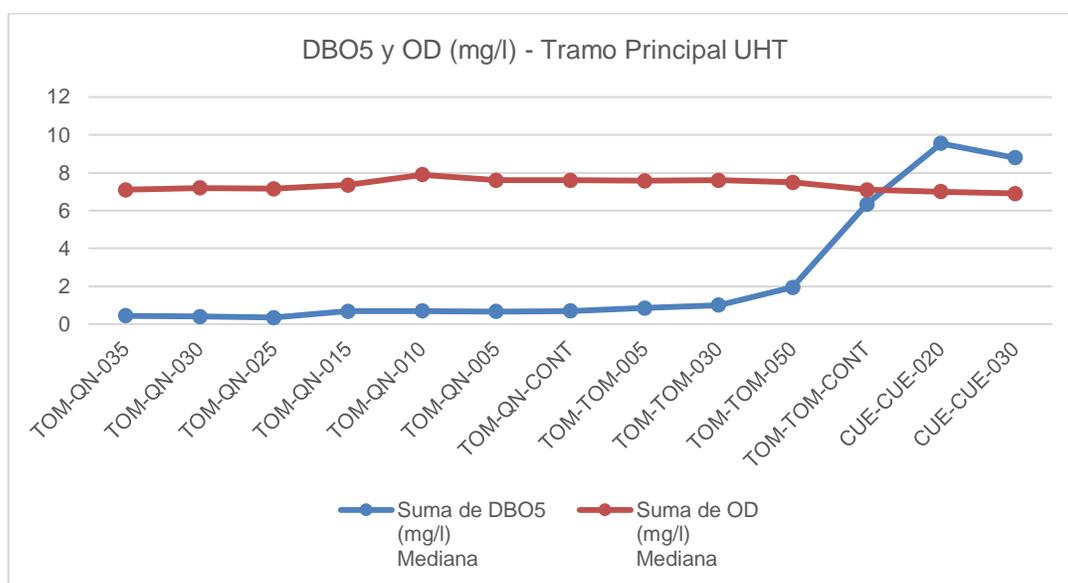


Figura 14. Criterio de Rutas en función de los puntos de monitoreo, para los parámetros DBO y Oxígeno Disuelto – Periodo Enero - Abril.

En la *Figura 14*, se observa el comportamiento de los parámetros DBO₅ y Oxígeno Disuelto, en el recorrido de las aguas por el tramo principal del río Tomebamba. Dichos parámetros en la sección alta de la UHT conservan una calidad del agua adecuada en relación a los criterios establecidos por la normativa nacional vigente para diversos usos. Al atravesar la sección media de la UHT, la DBO₅ incrementa su concentración leve y paulatinamente, esto podría deberse a las

actividades de agricultura y piscicultura existentes en la zona. En la sección baja de la UHT, existe un aumento significativo de la DBO_5 y un ligero decremento de Oxígeno Disuelto. Cuando las aguas del río Tomebamba salen del área de estudio (puntos de monitoreo ubicados fuera de la UHT) las concentraciones de la DBO_5 incrementan considerablemente, mientras que las concentraciones de Oxígeno Disuelto presentan un decremento.

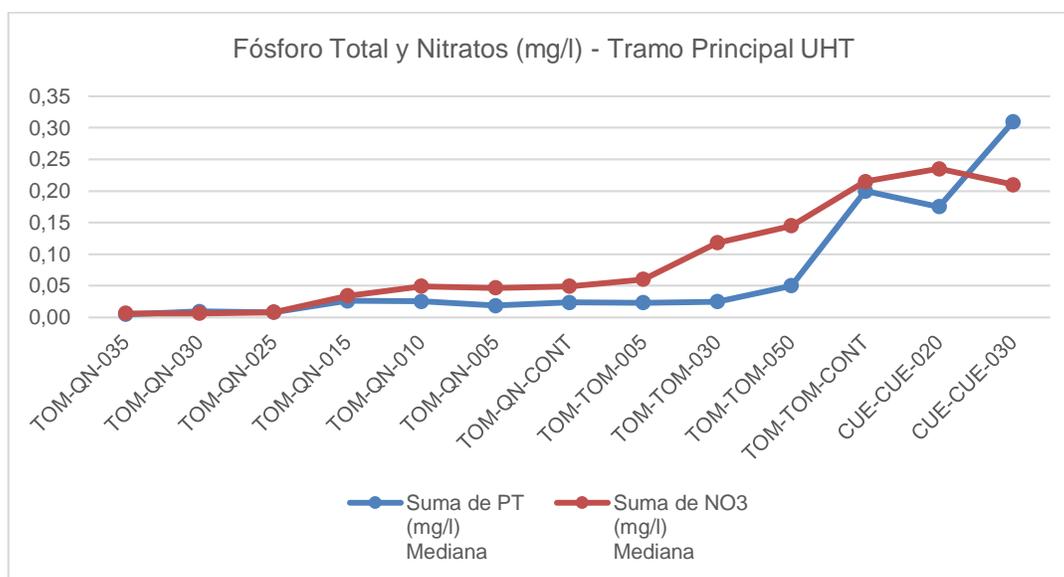


Figura 15. Gráfico de Rutas para los parámetros Fósforo y Nitratos, período Enero – Abril.

En la Figura 15, se observa el comportamiento de los parámetros Fósforo y Nitratos, en el recorrido de las aguas por el tramo principal del río Tomebamba. Tomando en cuenta que en la sección alta de la UHT las aguas provienen de áreas de conservación, se puede inferir que el agua respecto a estos parámetros conserva su calidad natural, sin embargo, en la sección media de la UHT, donde ya existe incidencia antrópica de actividades piscícolas, ganaderas y agrícolas; existe un incremento de las

concentraciones de fósforo y nitratos. En la sección baja de la UHT, el aumento de las concentraciones de estos parámetros es muy marcado, puesto que a las afectaciones a la calidad del agua antes mencionadas se agregan la deforestación y presencia de residencias urbanas. El aumento de las concentraciones de estos parámetros continúa posterior a la salida de las aguas del área de estudio, ya que el tramo principal del río Tomebamba recibe aguas de otras Unidades Hidrográficas.

Si bien el objetivo del presente estudio se enfoca en parámetros físico – químicos de la calidad del agua, se consideró el análisis del comportamiento de las Coliformes Fecales para verificar la incidencia de las actividades antrópicas en las secciones de la UHT. Se muestran los resultados obtenidos en la Figura 16.

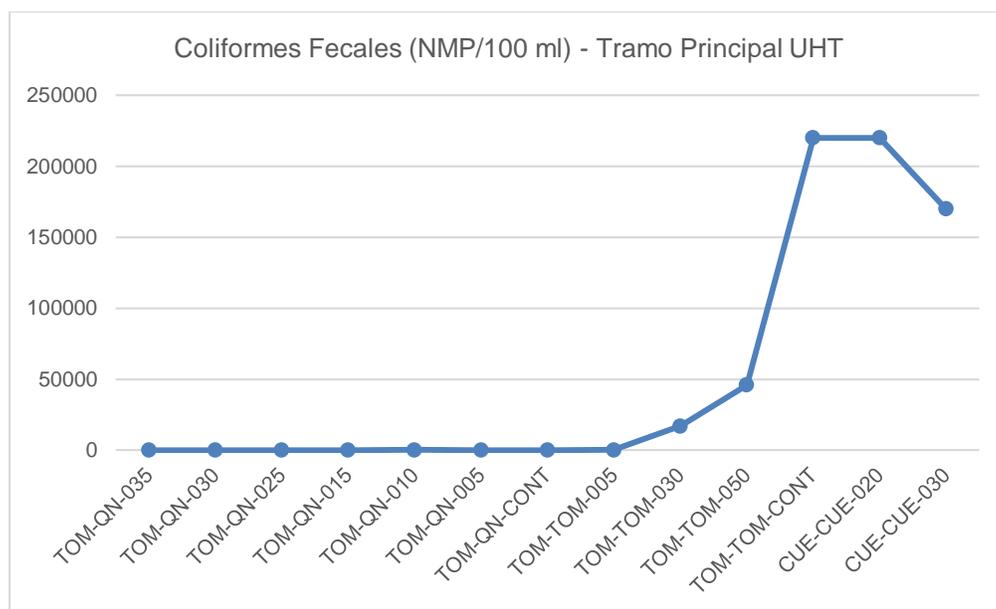


Figura 16. Gráfico de Rutas para el parámetro Coliformes Fecales, período Enero – Abril.

En la Figura 16, se evidencia que el parámetro Coliformes Fecales, aumenta considerablemente desde la zona más baja de la UHT posiblemente por actividades agrícolas y ganaderas del sector. Sin embargo, existe un incremento vertiginoso una vez que las aguas salen del área de estudio, lo cual puede estar asociado a descargas por vertidos que se realizan en aportantes al tramo principal o inclusive en el río Tomebamba.

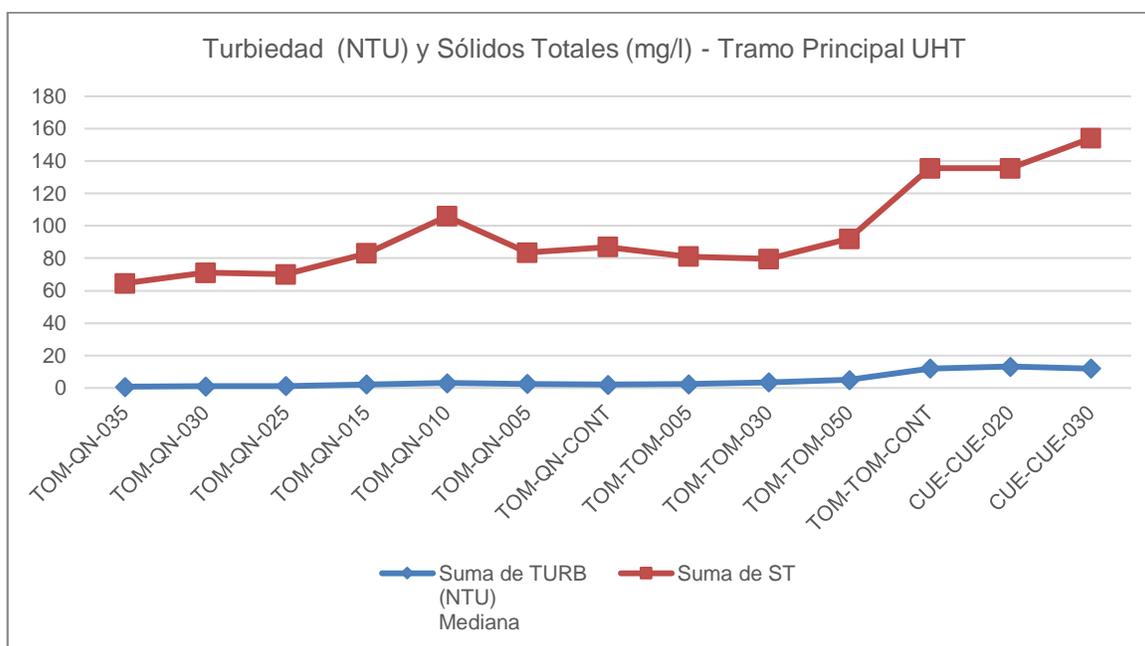


Figura 17. Gráfico de Rutas para los parámetros Turbiedad y Sólidos Totales, período Enero – Abril.

En la Figura 17, se observa que la Turbiedad presenta un incremento paulatino desde la sección baja de la UHT, lo cual se asocia a las afectaciones correspondientes a la erosión de los suelos, presencia de basura y descarga de vertidos. Por otro lado, en relación a los Sólidos Totales, las concentraciones aumentan constantemente desde la sección alta de la UHT, mostrando un incremento muy marcado una vez que el agua

sale del área de estudio. Se presume que el incremento de este parámetro está asociado a las mismas causas del incremento de la turbiedad.

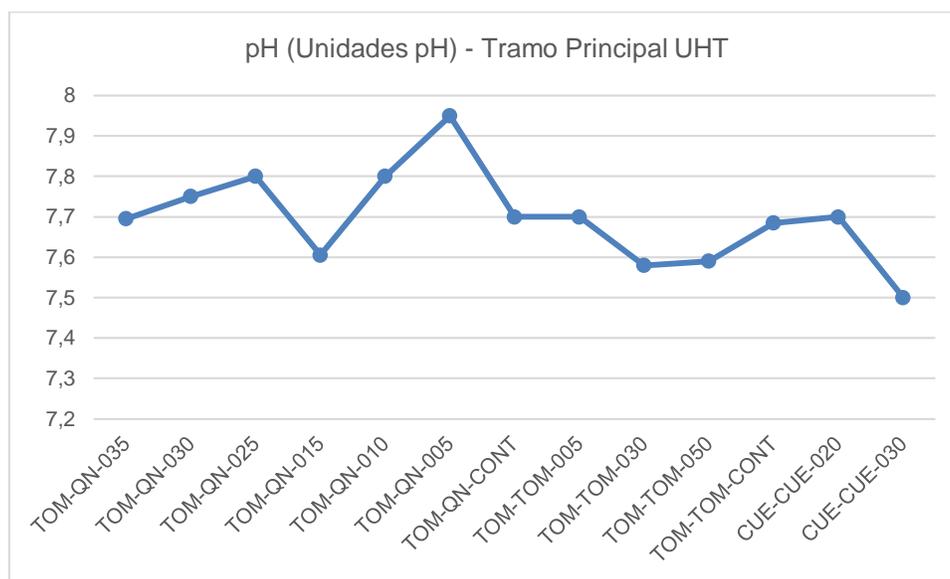


Figura 18. Gráfico de Rutas para el Potencial de Hidrógeno, período Enero – Abril.

En la Figura 18, se observa una forma de zigzag en el comportamiento del pH a través de la UHT, sin embargo, en ninguno de los puntos de monitoreo se identifican valores que pudieran incidir negativamente a la calidad del agua tanto para los usos ecosistémicos como antrópicos de la misma.

El análisis de Criterio de Rutas correspondiente a los periodos Mayo – Septiembre y Octubre - Diciembre, se muestran en el Anexo 10.

4.4.6.2. Criterio de Rutas Concentración vs. Años monitoreo

En el presente acápite se exhiben los resultados del Análisis del Criterio de Rutas en función del tiempo para la sección media de la UHT. En el Anexo 11, se encuentran los resultados obtenidos para las secciones alta y baja de la UHT.

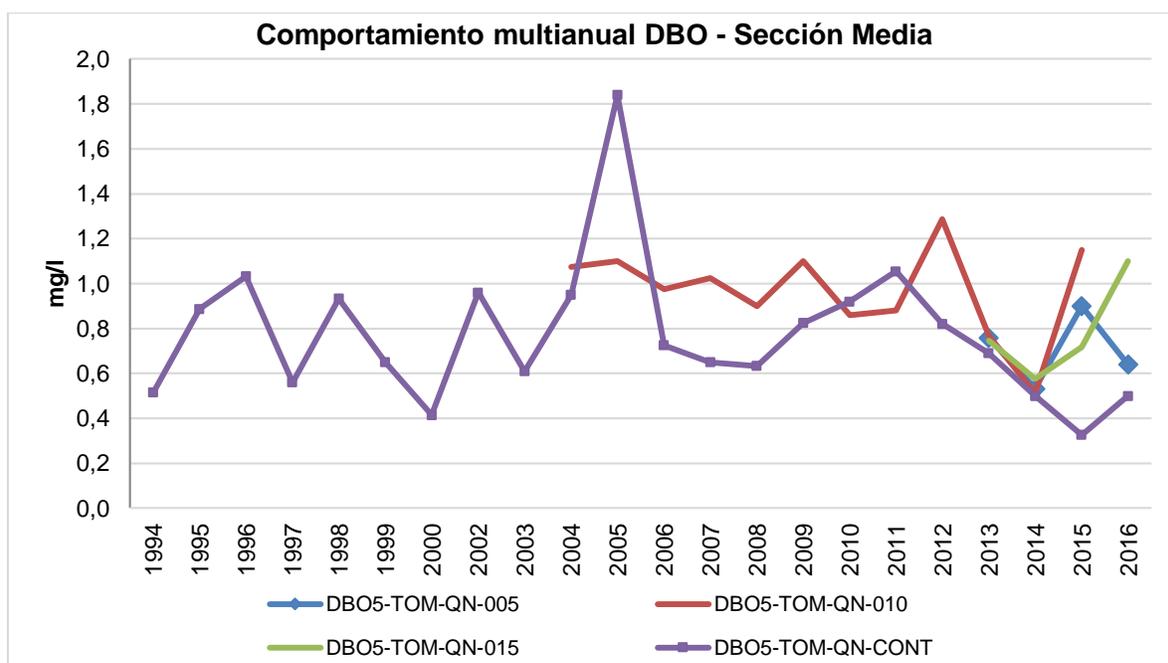


Figura 19. Criterio de Rutas – Concentraciones DBO vs. Años Monitoreo – Sección Media de la UHT.

En la Figura 19, se distingue la tendencia del parámetro DBO a lo largo de los años, con un descenso hacia el año 2014. En los años 2005, 2011 y 2012, este parámetro tiene un comportamiento anómalo de aumento vertiginoso, seguido por periodos muy marcados de disminución de las concentraciones de este. Con relación al comportamiento de este parámetro al atravesar la sección media de la UHT, el punto TOM-QN-CONT, conserva de manera general las concentraciones más bajas. Es

importante mostrar que en los últimos tres años hasta 2016, existe un aumento en las concentraciones de DBO.

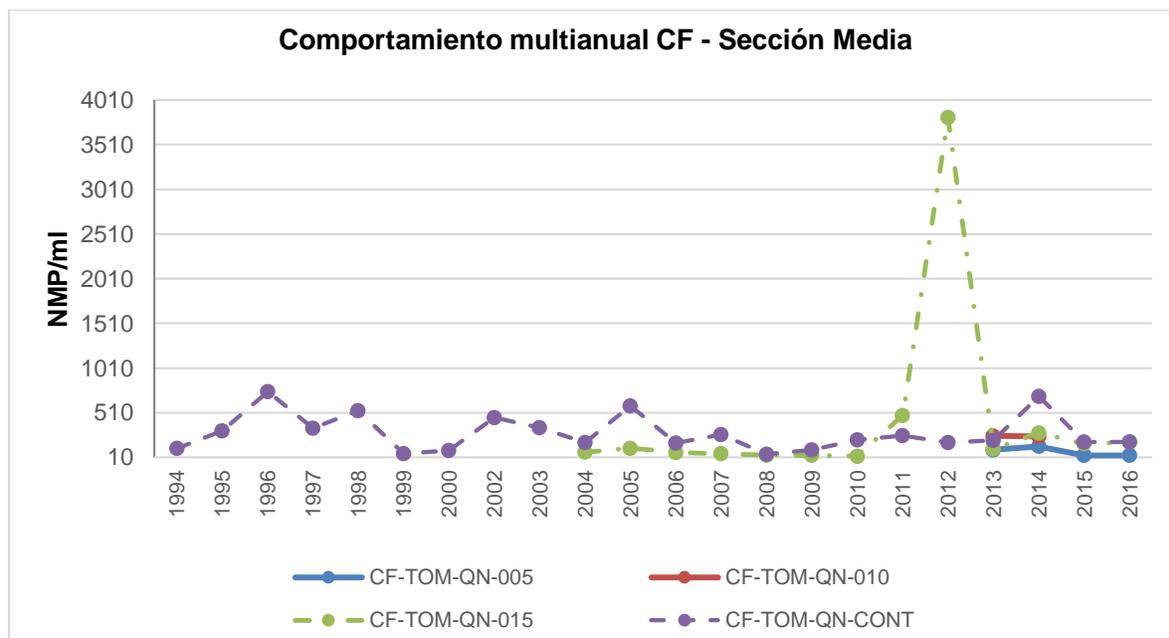


Figura 20. Criterio de Rutas – Concentraciones CF vs. Años Monitoreo – Sección Media de la UHT

En la Figura 20 se observa la tendencia del parámetro Coliformes Fecales a lo largo de los años, la cual muestra un leve descenso hacia el año 2008. En el año 2012 este parámetro tiene un comportamiento anómalo de aumento vertiginoso en el punto TOM-QN-015, presentando posteriormente periodos muy marcados de disminución de las concentraciones de este. Con relación al comportamiento del parámetro al atravesar la sección media de la UHT, los puntos TOM-QN-005 y TOM-QN-015, se conservan de manera general las concentraciones más bajas.

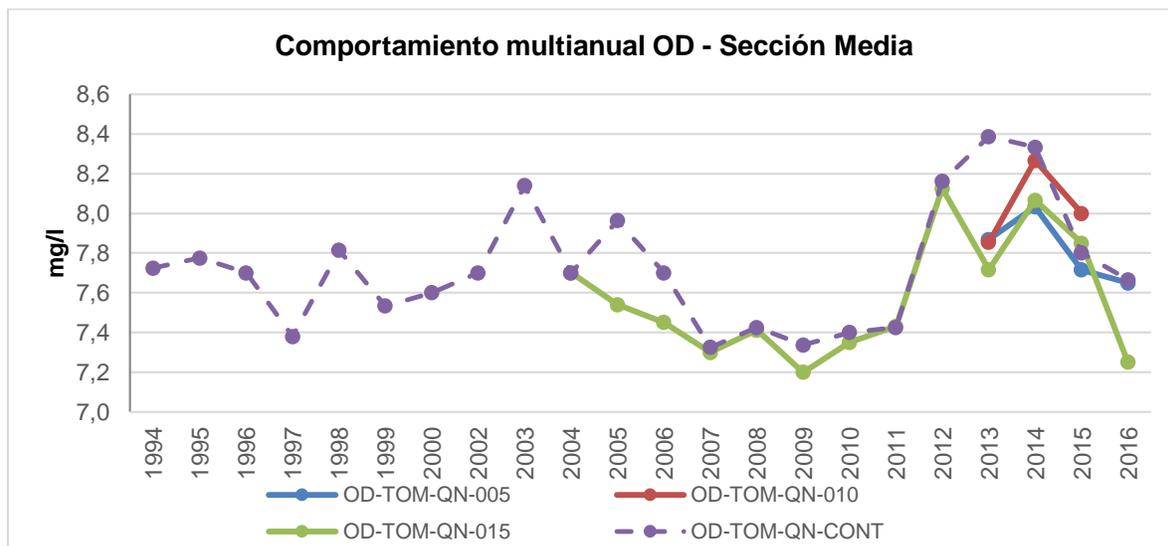


Figura 21. Criterio de Rutas – Concentraciones OD vs. Años Monitoreo – Sección Media de la UHT.

En la Figura 21 se observa la tendencia del parámetro Oxígeno Disuelto a lo largo de los años, la cual muestra un descenso hacia el año 2007, sin embargo a partir del año 2012 hasta el año 2014 este parámetro aumenta, desde el año 2015 existe un vertiginoso descenso de su concentración. Con relación al comportamiento del parámetro al atravesar la sección media de la UHT, el punto TOM-QN-CONT conserva de manera general las concentraciones más bajas, lo cual podría deberse a las actividades antropogénicas que también inciden en las mayores concentraciones, presentadas anteriormente para el parámetro Coliformes Fecales. Es importante mostrar, además, que en los últimos tres años hasta 2016, existe un descenso en las concentraciones de OD.

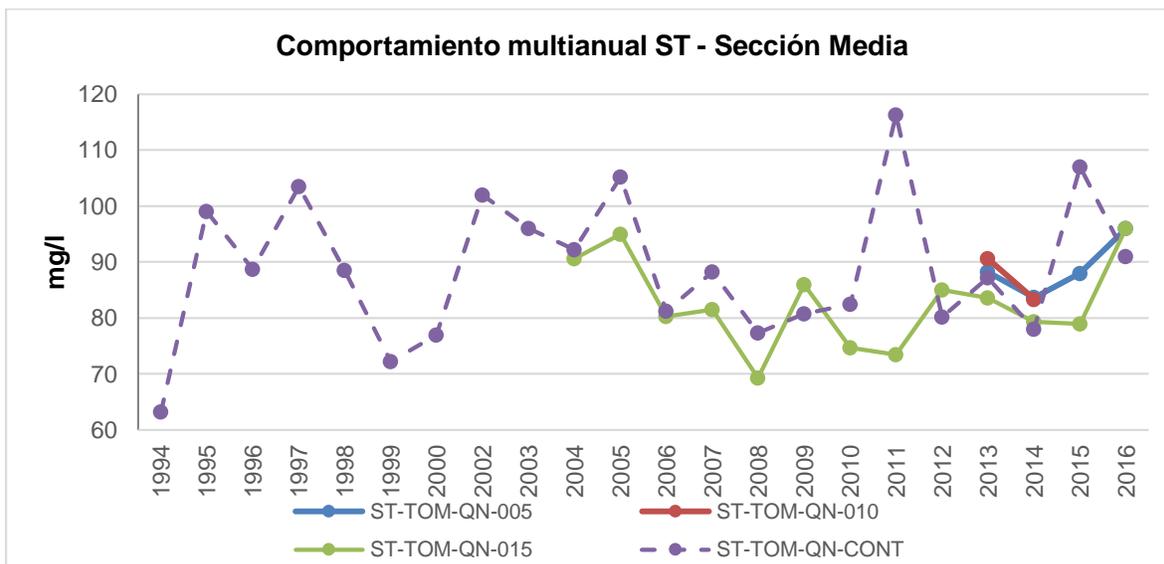


Figura 22. Criterio de Rutas – Concentraciones ST vs. Años Monitoreo – Sección Media de la UHT.

En la Figura 22 se observa la tendencia del parámetro Sólidos Totales a lo largo de los años, el cual posee las menores concentraciones en los años 1994, 1999 y 2008. En el año 2011, este parámetro tiene un comportamiento anómalo de aumento vertiginoso. Con relación al comportamiento del parámetro al atravesar la sección media de la UHT, el punto TOM-QN-015 conserva de manera general las concentraciones más bajas a partir del año 2004.

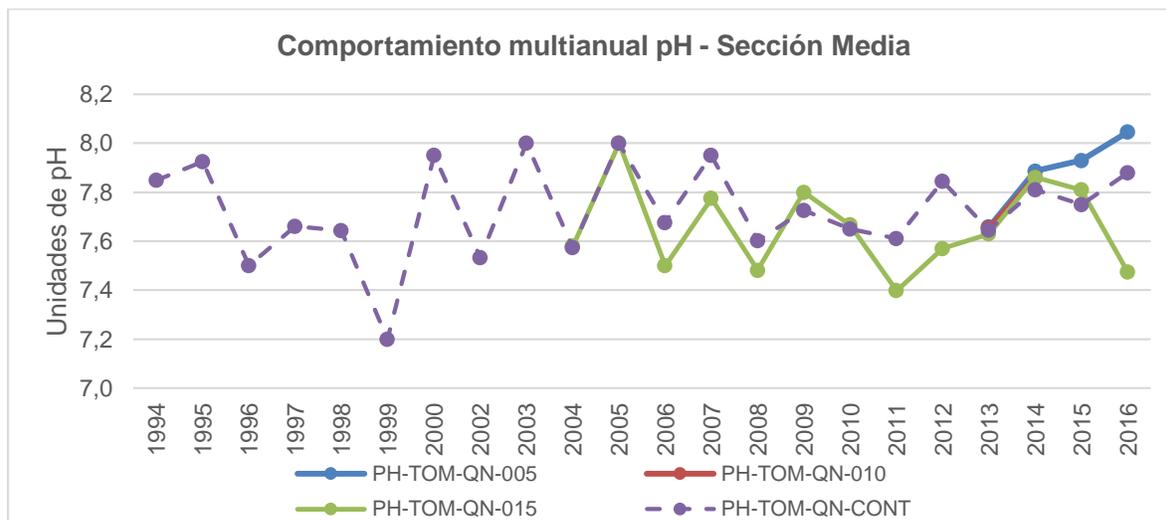


Figura 23. Criterio de Rutas – Concentraciones pH vs. Años Monitoreo – Sección Media de la UHT.

En la Figura 23 se expone la tendencia del parámetro pH a lo largo de los años, el cual se ha mantenido fluctuante entre los valores 7,5 y 8,0 sin embargo se muestra un leve descenso en el año 1999 para el punto TOM-QN-COINT. Con relación al comportamiento del parámetro al atravesar la sección media de la UHT, los puntos conservan de manera general concentraciones muy similares.

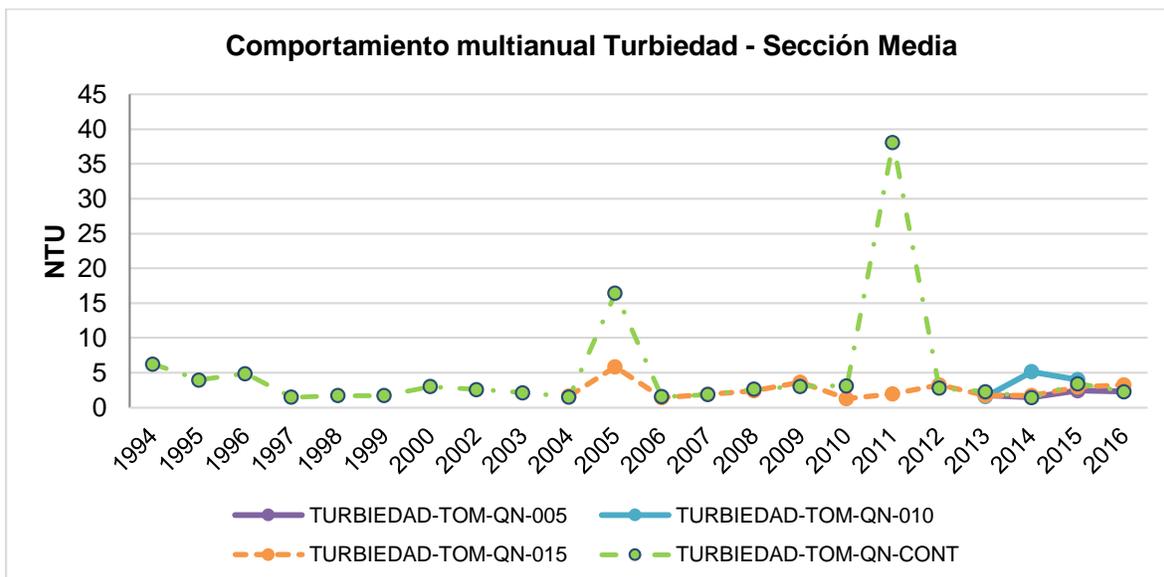


Figura 24. Criterio de Rutas – Concentraciones Turbiedad vs. Años Monitoreo – Sección Media de la UHT.

En la Figura 24, se indica la tendencia del parámetro Turbiedad a lo largo de los años, la cual tiene un comportamiento constante, excepto en los años 2005 y 2011, donde existen variaciones marcadas de la Turbiedad. Con relación al comportamiento del parámetro al atravesar la sección media de la UHT, los puntos de monitoreo conservan valores similares.

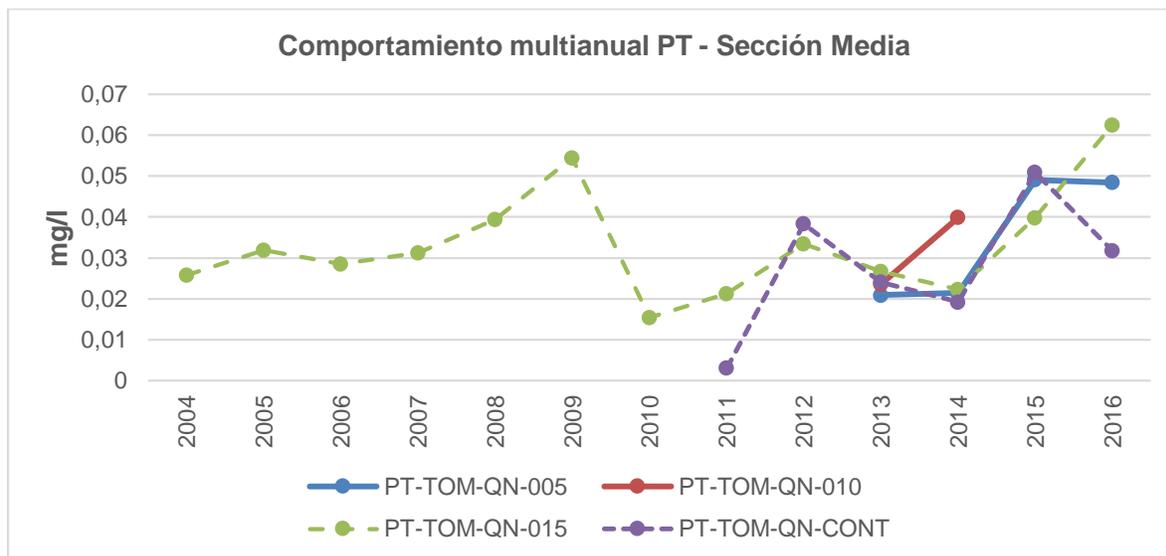


Figura 25. Criterio de Rutas – Concentraciones PT vs. Años Monitoreo – Sección Media de la UHT.

En la Figura 25, se observa la tendencia del parámetro Fósforo Total a lo largo de los años, la cual tiene un comportamiento variable, presentando las mayores concentraciones en los años 2009 y 2016. Los puntos de monitoreo mostrados en esta Figura, poseen comportamientos similares en función del tiempo.

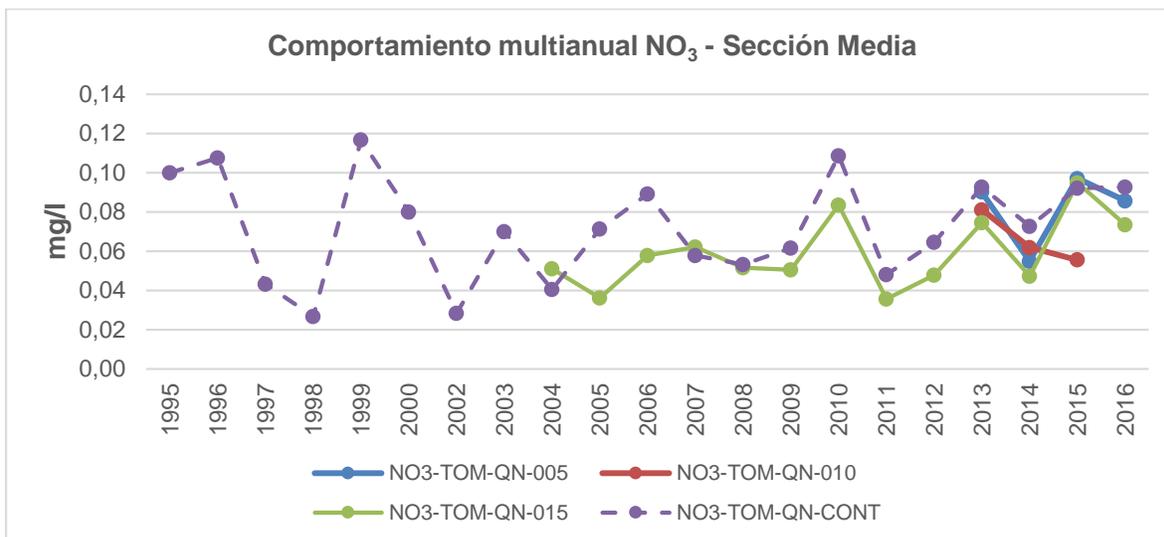


Figura 26. Criterio de Rutas – Concentraciones NO₃ vs. Años Monitoreo – Sección Media de la UHT.

En la Figura 26 se observa la tendencia del parámetro NO₃ a lo largo de los años, la cual muestra valores fluctuantes entre 0,02 y 0,12. Con relación al comportamiento del parámetro al atravesar la sección media de la UHT, el punto de monitoreo TOM-QN-015 conserva de manera general las concentraciones más bajas y el punto TOM-QN-COINT aquellas que son mayores.

Los resultados del análisis por criterio de rutas, para los datos de INAMHI y SENAGUA, se encuentran en el Anexo 12 y Anexo 13.

4.5. Resultados del Análisis de Ciclo de Vida Corto (ACVC).

Al organizar los criterios de calidad del agua seleccionados, tanto de la normativa ambiental nacional como de las normas internacionales, se obtuvo la matriz en formato Excel que se presenta en el Anexo 14.

Mediante el procedimiento descrito en el Numeral 3.5.3 “*Procedimiento de la metodología de Análisis de Ciclo Vida Corto aplicado a los criterios de calidad del agua*”, se generó la matriz en Excel presentada en el Anexo 15, en la cual se denotan los resultados obtenidos de factores de contaminación (PF) para 77 parámetros físico - químicos.

La discusión de resultados en función de la ejecución del análisis de ciclo de vida corto, los planes de monitoreo de las instituciones que aportaron con información para el presente estudio y, el comportamiento de la calidad del agua en el río Tomebamba, se realiza en los siguientes numerales.

4.5.1. Parámetros de alta peligrosidad cuyos criterios de calidad no se encuentran establecidos en la normativa ambiental nacional

En la Tabla 20 se observan los resultados de parámetros físico – químicos con los mayores factores de contaminación (PF) en orden descendente, obtenidos a través del análisis de ciclo de vida corto.

Tabla 20

Resultados del Análisis de Ciclo de Vida Corto, parámetros con los mayores factores de contaminación.

Ítem	PARÁMETRO	UNIDADES	Criterios de Calidad (mg Parámetro/ l agua)	Criterios de Calidad (mg Parámetro / mol agua)	PF (EIUs*/Kg)
1	4,4 DDT	mg/l	1,000E-06	1,799E-08	4,500E+04
2	Endosulfan	mg/l	3,000E-06	5,396E-08	1,500E+04
3	Aldrin	mg/l	4,000E-06	7,194E-08	1,125E+04
4	Dieldrin	mg/l	4,000E-06	7,194E-08	1,125E+04
5	Endrin	mg/l	4,000E-06	7,194E-08	1,125E+04
6	Heptacloro epóxido	mg/l	1,000E-05	1,799E-07	4,500E+03
7	Antraceno	mg/l	1,200E-05	2,158E-07	3,750E+03
8	Benzo(a)pireno	mg/l	1,500E-05	2,698E-07	3,000E+03
9	Benzo(a)antraceno	mg/l	1,800E-05	3,237E-07	2,500E+03
10	Pireno	mg/l	2,500E-05	4,496E-07	1,800E+03
11	Metoxicloro	mg/l	3,000E-05	5,396E-07	1,500E+03
12	Fluoranteno	mg/l	4,000E-05	7,194E-07	1,125E+03
13	Paration	mg/l	4,000E-05	7,194E-07	1,125E+03
14	Malation	mg/l	1,000E-04	1,799E-06	4,500E+02
15	Carbaryl	mg/l	2,000E-04	3,597E-06	2,250E+02

*Environmental Impact Units

Es importante notar que los parámetros de la Tabla 20, no han sido monitoreados, lo cual se identificó al revisar los datos de calidad del agua de la UH del río Tomebamba que fueron entregados por cada institución (Ver Tabla 13 *Resumen de la información reportada por ETAPA-EP, SENAGUA e INAMHI*).

Además los 15 parámetros identificados con mayor peligrosidad, se exponen en la Tabla 20 y corresponden a plaguicidas, insecticidas y sustancias resultantes de la combustión de compuestos orgánicos, los cuales no están considerados de manera específica en los criterios para calidad de agua superficial en la normativa ambiental

nacional vigente que establece concentraciones permisibles para el valor total tanto para organofosforados como para organoclorados.

Por lo que resulta importante que en la normativa ambiental se actualicen los criterios de calidad establecidos de manera individual para estos compuestos, considerando la tecnología aplicable para métodos analíticos de los laboratorios en el país que determinan concentraciones específicas por compuesto.

4.5.2. Parámetros con altos valores de peligrosidad considerados en la normativa nacional

En la Tabla 21 se muestran los resultados de los valores de los factores de contaminación (PF) para los parámetros físico – químicos que se encuentran normados a nivel nacional, ordenados de mayor a menor valor.

Tabla 21

EIUs de los criterios de calidad del agua superficial considerados en la normativa ambiental nacional vigente.

Ítem	PARÁMETRO	UNIDADES	Criterios de Calidad (mg Parámetro/ l agua)	Criterios de Calidad (mg Parámetro/ mol agua)	PF (EIUs*/Kg)
1	Mercurio	mg/l	2,000E-04	3,597E-06	2,250E+02
2	Plata	mg/l	2,500E-04	4,496E-06	1,800E+02
3	pH	mg/l	6,000E+00	1,799E-05	4,500E+01
4	Cadmio	mg/l	1,000E-03	1,799E-05	4,500E+01
5	Fenoles	mg/l	1,000E-03	1,799E-05	4,500E+01
6	Plomo	mg/l	1,000E-03	1,799E-05	4,500E+01
7	Selenio	mg/l	1,000E-03	1,799E-05	4,500E+01
8	Cobre	mg/l	5,000E-03	8,993E-05	9,000E+00
9	Cromo Hexavalente	mg/l	8,000E-03	1,439E-04	5,625E+00

CONTINÚA



10	Cloro total residual	mg/l	1,000E-02	1,799E-04	4,500E+00
11	Cobalto	mg/l	1,000E-02	1,799E-04	4,500E+00
12	Molibdeno	mg/l	1,000E-02	1,799E-04	4,500E+00
13	Plaguicidas organoclorados totales	mg/l	1,000E-02	1,799E-04	4,500E+00
14	Plaguicidas organofosforados totales	mg/l	1,000E-02	1,799E-04	4,500E+00
15	Níquel	mg/l	2,500E-02	4,496E-04	1,800E+00
16	Zinc	mg/l	3,000E-02	5,396E-04	1,500E+00
17	Cromo	mg/l	3,200E-02	5,755E-04	1,406E+00
18	Arsénico	mg/l	5,000E-02	8,993E-04	9,000E-01
19	Clorofenoles	mg/l	5,000E-02	8,993E-04	9,000E-01
20	Piretroides	mg/l	5,000E-02	8,993E-04	9,000E-01
21	Aluminio	mg/l	1,000E-01	1,799E-03	4,500E-01
22	Berilio	mg/l	1,000E-01	1,799E-03	4,500E-01
23	Cianuro	mg/l	1,000E-01	1,799E-03	4,500E-01
24	Manganeso	mg/l	1,000E-01	1,799E-03	4,500E-01
25	Vanadio	mg/l	1,000E-01	1,799E-03	4,500E-01
26	Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/l	2,000E-01	3,597E-03	2,250E-01
27	Nitrito	mg/l	2,000E-01	3,597E-03	2,250E-01
28	Aceites y grasas	mg/l	3,000E-01	5,396E-03	1,500E-01
29	Hierro	mg/l	3,000E-01	5,396E-03	1,500E-01
30	Sustancias tensoactivas	mg/l	5,000E-01	8,993E-03	9,000E-02
31	Boro	mg/l	7,500E-01	1,349E-02	6,000E-02
32	Bario	mg/l	1,000E+00	1,799E-02	4,500E-02
33	Flúor	mg/l	1,000E+00	1,799E-02	4,500E-02
34	Fluoruro	mg/l	1,000E+00	1,799E-02	4,500E-02
35	DBO	mg/l	2,000E+00	3,597E-02	2,250E-02
36	Litio	mg/l	2,500E+00	4,496E-02	1,800E-02
37	Oxígeno disuelto	mg/l	3,000E+00	5,396E-02	1,500E-02
38	DQO	mg/l	4,000E+00	7,194E-02	1,125E-02
39	Nitrato	mg/l	1,300E+01	2,338E-01	3,462E-03
40	Sólidos suspendidos totales	mg/l	5,000E+01	8,993E-01	9,000E-04
41	Sulfato	mg/l	2,500E+02	4,496E+00	1,800E-04
42	Sólidos disueltos	mg/l	3,000E+03	5,396E+01	1,500E-05

*Environmental Impact Units

En la Tabla 21, se observa un total de 42 parámetros con criterios de calidad de agua superficial establecidos en la normativa ambiental vigente, de los cuales, los quince (15) parámetros con mayor peligrosidad, son: Mercurio, Plata, pH, Cadmio,

Fenoles, Plomo, Selenio, Cobre, Cromo Hexavalente, Cloro total residual, Cobalto, Molibdeno, Plaguicidas organoclorados totales, Plaguicidas organofosforados totales y Níquel.

Es importante destacar que al igual que los compuestos organoclorados y organofosforados, se encuentran entre los quince (15) parámetros de mayor peligrosidad al ambiente, lo cual guarda relación con los resultados obtenidos en el numeral 4.5.1 *“Parámetros de alta peligrosidad cuyos criterios de calidad no se encuentran establecidos en la normativa ambiental nacional”* (Ver Tabla 20).

4.5.3. Resultados del análisis de ciclo de vida corto aplicado a la calidad del agua del río Tomebamba

Los resultados obtenidos en el numeral 4.5.2 *“Parámetros con altos valores de peligrosidad considerados en la normativa nacional”*, se evaluaron con los datos de calidad del agua entregados por ETAPA – EP, ya que estos poseen mayor representatividad tanto a nivel espacial como temporal, considerando el número de puntos de monitoreo ubicados en el área de estudio y la cantidad de años con campañas de monitoreo efectuados en la UH del río Tomebamba, respectivamente.

4.5.3.1. *Resultados del Análisis de Ciclo de Vida Corto para la sección alta de la UH del río Tomebamba.*

Los resultados de la evaluación de la importancia relativa de los impactos ambientales para los parámetros analizados en la sección alta de la UH del río Tomebamba son presentados en la siguiente tabla.

Tabla 22

Impacto Ambiental Total y para cada parámetro, en la sección alta de la UHT expresado en EIU/mes.

Periodo	Época Lluviosa /Seca	DBO5 (EIU/mes)	OD (EIU/mes)	ST (EIU/mes)	pH (EIU/mes)	PT (EIU/mes)	NO3 (EIU/mes)	Impacto Total Mensual
Enero - Abril	Lluviosa	50,86	601,78	18,82	5,07	39,55	0,10	716,18
Mayo-Septiembre	Seca	43,48	622,35	17,76	5,96	27,60	0,17	717,33
Octubre - Diciembre	Lluviosa	52,20	507,35	13,88	4,26	27,84	0,14	605,68

En la Tabla 22, se observa que el mayor impacto ambiental relativo corresponde al parámetro Oxígeno Disuelto (OD), sin embargo no se tomó en cuenta este valor ya que, según la normativa ambiental nacional, los valores deseables de OD deben ser mayores a 3mg/l para el uso de agua en agricultura, es decir en cuanto a este parámetro mientras mayor valor mejor condiciones de calidad del agua. Se debe considerar además que los mayores factores de contaminación establecidos para los diversos parámetros (PF) son inversamente proporcionales a los criterios de calidad seleccionados de las normativas para el ACVC, ya que las sustancias con mayor peligrosidad tienen una concentración mínima en la normativa y por lo tanto un mayor factor de contaminación (PF).

Con dicho antecedente, para la sección alta el mayor impacto ambiental relativo corresponde a la Demanda Bioquímica de Oxígeno, seguido en orden descendente por el Fósforo y los Sólidos Totales. Al comparar estos resultados con el Criterio de rutas que se muestra en el numeral 4.4.6.1 “*Criterio de Rutas Concentración vs. Puntos*”, es importante resaltar que las concentraciones de DBO, Fósforo Total y Nitratos aumentan a la salida de la escorrentía de la sección alta de la UHT, lo cual puede deberse a las actividades de piscicultura, ganadería y agricultura presentes en la zona.

Además, el Impacto Ambiental Total, es mayor para la época seca que para las épocas lluviosas.

4.5.3.2. Resultados del Análisis de Ciclo de Vida Corto para la sección media de la UH del río Tomebamba.

En la Tabla 23 se encuentran los resultados de la evaluación de la importancia relativa de los impactos ambientales para los parámetros analizados en la sección media de la UH del río Tomebamba.

Tabla 23

Impacto Ambiental Total y para cada parámetro, sección media de la UHT en EIU/mes.

Periodo	Época Lluviosa/Seca	DBO5 (EIU/mes)	OD (EIU/mes)	ST (EIU/mes)	pH (EIU/mes)	PT (EIU/mes)	NO3 (EIU/mes)	Impacto Total Mensual
Enero - Abril	Lluviosa	176,36	1454,97	46,44	11,73	169,83	1,54	1860,86
Mayo- Septiembre	Seca	200,85	1453,80	45,91	11,45	216,79	1,77	1930,58
Octubre - Diciembre	Lluviosa	156,56	1183,43	37,57	9,84	160,57	1,59	1549,57

Se realiza la misma consideración que en la sección alta de la UHT descrita para el Oxígeno Disuelto. En la Tabla 23, se observa que para la sección media los mayores impactos ambientales relativos, corresponden a la Demanda Bioquímica de Oxígeno y al Fósforo, seguido por los Sólidos Totales.

En relación al Impacto Ambiental Total, este es mayor para la época seca que para las épocas lluviosas, dicha diferencia es más pronunciada para la sección media que para la sección alta de la UHT.

4.5.3.3. Resultados del Análisis de Ciclo de Vida Corto para la sección baja de la UH del río Tomebamba.

Se presentan los resultados de la evaluación de la importancia relativa de los impactos ambientales para los parámetros analizados en la sección baja de la UH del río Tomebamba.

Tabla 24

Impacto Ambiental Total y para cada parámetro, en la sección baja de la UHT expresado en EIU/mes.

Periodo	Época Lluviosa /Seca	DBO5 (EIU/mes)	OD (EIU/mes)	ST (EIU/mes)	pH (EIU/mes)	PT (EIU/mes)	NO3 (EIU/mes)	Impacto Total Mensual
Enero - Abril	Lluviosa	1372,65	3519,61	129,52	36,19	1564,27	15,70	6637,94
Mayo-Septiembre	Seca	1510,14	3523,66	113,95	13,73	2440,63	15,84	7617,94
Octubre - Diciembre	Lluviosa	1382,88	2842,59	100,84	11,21	2304,81	13,74	6656,07

En la Tabla 24, se observa que el mayor impacto total mensual corresponde al periodo Mayo – Septiembre correspondiente a la época seca. En relación a los Impactos Ambientales mensuales para cada parámetro, aquellos que presentan mayores valores en la época seca corresponden a: DBO, Fósforo y Nitratos, siendo para este último un valor poco distante al presentado en el periodo de Enero – Abril.

Los menores impactos ambientales mensuales obtenidos para la sección baja de la UHT corresponden a Sólidos totales, pH y Nitratos en el periodo de Octubre a Diciembre.

4.5.3.4. Resultados del Análisis de Ciclo de Vida Corto en el curso del río Tomebamba fuera del área de estudio.

Los resultados de la evaluación de la importancia relativa de los impactos ambientales para los parámetros analizados fuera de la UH del río Tomebamba. se denotan a continuación.

Tabla 25

Impacto Ambiental Total y para cada parámetro, fuera de la UHT expresado en EIU/mes.

Periodo	Época	DBO5 (EIU/mes)	OD (EIU/mes)	ST (EIU/ mes)	pH (EIU/ mes)	PT (EIU/mes)	NO3 (EIU/mes)	Impacto Total Mensual
Enero - Abril	Lluviosa	30300	15839	1061	218	47440	111	94968
Mayo- Septiembre	Seca	25287	16130	974	106	43312	108	85918
Octubre - Diciembre	Lluviosa	26370	129734	891	115	48886	134	89370

En la Tabla 25, se muestran los valores del Impacto Total Mensual determinados fuera de la Unidad Hidrográfica de estudio, en los puntos ubicados en el tramo principal del río Tomebamba, observándose el mayor impacto para la época de lluvia (Enero hasta Abril). Los parámetros que aportan con mayor impacto ambiental corresponden al DBO y Fósforo.

Los parámetros DBO y Fósforo presentan mayor impacto ambiental durante los periodos Enero – Abril y Octubre – Diciembre respectivamente, siendo ambos correspondientes a épocas lluviosas.

4.6. Resultados de la priorización de parámetros físico – químicos en los planes de monitoreo de la UH del río Tomebamba

En el presente subcapítulo se detalla el listado de los parámetros físico - químicos priorizados para la Unidad Hidrográfica del río Tomebamba, al conjugar los resultados de: Análisis de Componentes Principales (ACP), Impacto Ambiental determinado a través del Análisis de Ciclo de Vida Corto (ACVC), Comportamiento de la calidad del agua analizado mediante el Criterio de rutas (CR) y su comparación con los criterios de calidad establecidas en las normativas ambientales seleccionadas. En la Tabla 26, se observan los parámetros priorizados considerando al menos una metodología de análisis.

Tabla 26

Parámetros priorizados para los planes de monitoreo de calidad del agua en la UH del río Tomebamba, considerando al menos una metodología de análisis.

Ítem	Parámetros Priorizados	Metodología de Análisis
1	Mercurio	ACVC, CR – SENAGUA
2	pH	CR-ETAPA-INAMHI, ACVC
3	Fenoles	ACVC, CR – SENAGUA
4	Plomo	ACVC, CR-INAMHI -SENAGUA
5	Selenio	ACVC, CR – SENAGUA
6	Sulfuro*	CR – SENAGUA
7	Cobre	ACVC, CR-INAMHI- SENAGUA
8	Cianuro	ACVC
9	Cromo	ACVC
10	Fósforo	ACP,CR-ETAPA-INAMHI
11	Arsénico	ACVC, CR-INAMHI
12	Aluminio	ACVC, CR – SENAGUA
13	Manganeso	ACVC, CR-INAMHI
14	Hierro	ACVC, CR-INAMHI
15	Amonio*	CR – SENAGUA
16	Demanda Bioquímica de Oxígeno	ACVC, CR-ETAPA, CR-INAMHI
17	Demanda Química de Oxígeno	ACVC, CR-INAMHI
18	Calcio*	CR-INAMHI-SENAGUA
19	Nitrato	ACP, CR-ETAPA
20	Alcalinidad*	CR-INAMHI
21	Dureza Total*	CR-INAMHI-SENAGUA
22	Sólidos Totales	CR-ETAPA, ACVC
23	Coliformes Fecales	ACP, CR-ETAPA
24	Turbiedad*	CR-ETAPA-SENAGUA

**Parámetros determinados a través de una sola metodología.*

Los parámetros marcados con un asterisco (*), corresponden a parámetros cuya introducción a Planes de Monitoreo periódicos, deben ser evaluados con mayor información ya que fueron seleccionados al identificar el comportamiento de la calidad del agua a través del criterio de rutas aplicado al plan de monitoreo de cada institución.

Por lo que, sin considerar dichos parámetros, el listado priorizado es el siguiente:

Tabla 27

Tabla final de parámetros priorizados para los planes de monitoreo de calidad del agua en la UH del río Tomebamba.

Ítem	Parámetros Priorizados	Metodología de Análisis
1	Mercurio	ACVC, CR – SENAGUA
2	pH	CR-ETAPA-INAMHI, ACVC
3	Fenoles	ACVC, CR – SENAGUA
4	Plomo	ACVC, CR-INAMHI -SENAGUA
5	Selenio	ACVC, CR – SENAGUA
6	Cobre	ACVC, CR-INAMHI- SENAGUA
7	Cianuro	ACVC
8	Cromo	ACVC
9	Fósforo	ACP,CR-ETAPA-INAMHI
10	Arsénico	ACVC, CR-INAMHI
11	Aluminio	ACVC, CR – SENAGUA
12	Manganeso	ACVC, CR-INAMHI
13	Hierro	ACVC, CR-INAMHI
14	Demanda Bioquímica de Oxígeno	ACVC, CR-ETAPA, CR-INAMHI
15	Demanda Química de Oxígeno	ACVC, CR-INAMHI
16	Nitrato	ACP, CR-ETAPA
17	Sólidos Totales	CR-ETAPA, ACVC
18	Coliformes Fecales	ACP, CR-ETAPA

Cabe indicar que el orden de los parámetros en la Tabla 27, se encuentra en función de los valores de Factores de Contaminación determinados a través del ACVC (A excepción del parámetro Coliformes Fecales). Es importante destacar la importancia

del pH, como parámetro gobernante en el equilibrio de las reacciones químicas en el agua y consecuentemente en la biota acuática.

4.7. Resultados del análisis multicriterio de los planes de monitoreo existentes en el río Tomebamba

En este subcapítulo se indican los resultados del análisis de los planes de monitoreo efectuados por las instituciones que aportaron con información para el presente estudio, es importante considerar que para el caso de ETAPA – EP, se muestran datos posteriores a la depuración de la información entregada.

Los criterios de evaluación para los planes de monitoreo son los siguientes criterios:

- a) Número de parámetros analizados considerando la priorización resultante que se exhibe en el numeral 4.6.

El número total de parámetros priorizados para la UHT es de veinticuatro (24), en la Tabla 28, se presentan los porcentajes correspondientes a los planes de monitoreo establecidos por las instituciones en relación a la priorización efectuada.

Tabla 28

Número y porcentaje de parámetros monitoreados por las instituciones en función de los parámetros priorizados para la UHT.

CANTIDAD/ INSTITUCIÓN	ETAPA - EP	INAMHI	SENAGUA
Número Total de Parámetros Monitoreados	9	39	54
Número Parámetros Monitoreados Priorizados	7	13	14
% Parámetros monitoreados priorizados	77%	33%	26%
% Parámetros en función de Priorización	29 %	54 %	58 %

En la Tabla 28, se observa que de los 24 parámetros priorizados, el 29% de ellos están siendo monitoreados por ETAPA – EP; para INAMHI y SENAGUA este porcentaje corresponde a 54% y 58% respectivamente.

Del total de parámetros monitoreados por ETAPA – EP, el 77% corresponde a parámetros priorizados, para el caso de INAMHI y SENAGUA dichos porcentajes corresponden a 33% y 26%, respectivamente.

En relación a la cantidad de parámetros analizados por campaña de monitoreo, la SENAGUA posee mayor número de parámetros físico – químicos y microbiológicos, seguida por INAMHI y ETAPA-EP.

- b) Número de campañas de monitoreo efectuadas y cantidad de años en los cuales fue levantada la información.

Tabla 29

Campañas de monitoreo y cantidad de años de levantamiento de información.

INSTITUCIÓN/ CANTIDAD	ETAPA – EP	INAMHI	SENAGUA
Número de Campañas	201	42	6
Cantidad de años	28	9	2
Relación Campañas/Año	7	5	3

De la Tabla 29, en relación a la información entregada por las instituciones se identifica que el mayor número de campañas anuales corresponde a ETAPA-EP, seguido de INAMHI y SENAGUA, en orden descendente.

- c) Cobertura de los puntos de monitoreo en las secciones alta, media, baja y fuera de la UHT.

Tabla 30

Número de puntos ubicados en las secciones alta, media, baja y fuera de la UHT por cada institución.

INSTITUCIÓN / SECCIÓN UHT	ETAPA – EP	INAMHI	SENAGUA
Alta	8	0	1
Media	7	1	0
Baja	6	1	1
Fuera de UHT	6	2	2

En la Tabla 30 se observa que el mayor número de campañas anuales corresponde a ETAPA-EP, seguido por INAMHI y SENAGUA.

Es importante considerar que en función de las competencias institucionales y de los objetivos del levantamiento de información de calidad del agua, la cobertura de puntos de monitoreo por sección de la UHT varía. Así por ejemplo INAMHI y SENAGUA presentan un plan de monitoreo cuya red tiene una cobertura a nivel nacional distribuida en los principales ríos de las Unidades Hidrográficas de todo el Ecuador. ETAPA-EP posee una mayor densidad de datos considerando sus competencias institucionales en el área específica de estudio.

d) Frecuencia de monitoreo, considerando como base la evaluación los periodos (Enero – Abril, Mayo – Septiembre, Octubre Diciembre).

Los valores promedios del número de veces (frecuencia) en las que se ejecutan campañas de monitoreo para cada época seca y lluviosa en las secciones de la UHT evaluada se exhiben en la siguiente tabla.

Tabla 31

Frecuencia de monitoreo en función a las épocas seca y lluviosa.

INSTITUCIÓN / SECCIÓN UHT	ETAPA - EP	INAMHI	SENAGUA
Enero – Abril	2	2	0
Mayo – Septiembre	3	2	1
Octubre – Diciembre	2	1	1

En la Tabla 31, se muestra el número de campañas anuales efectuadas por cada institución, la mayor frecuencia de monitoreos de calidad del agua corresponde a ETAPA – EP e INAMHI; sin embargo al procesar la información de calidad del agua se concluye que las entidades no tienen datos generados de manera periódica y continua, ratificándose la necesidad de priorizar parámetros físico – químicos para la ejecución de planes de monitoreo, con el objetivo de contar con información representativa de la calidad ambiental de las aguas superficiales.

e) Costos aproximados de análisis para los parámetros monitoreados.

En la Tabla 32 se observa el costo por muestra estimado, considerando los parámetros actuales monitoreados por las instituciones.

Tabla 32

Costo estimado de análisis de parámetros monitoreados por cada institución

INSTITUCIÓN	ETAPA - EP	INAMHI	SENAGUA
Costo por muestra (U\$SD)	84,97	403,85	748,35

En la Tabla 33, se indica el costo estimado para una muestra de agua, considerando 42 parámetros físico – químicos establecidos en la normativa nacional, en comparación con 24 parámetros priorizados para la de calidad del agua a través del presente estudio.

Tabla 33

Costo estimado para el análisis de parámetros priorizados a través del presente estudio.

PRIORIZACIÓN	NORMATIVA NACIONAL	APLICADA A LA UHT
Costo por muestra (U\$SD)	1021,32	338,11

De la Tabla 33, es importante indicar que la priorización de parámetros físico – químicos para el monitoreo permite disminuir los costos por campaña en 683,21 U\$SD.

Adicionalmente considerando la discusión de resultados efectuada en el numeral 4.6 “*Resultados de la priorización de parámetros físico – químicos en los planes de monitoreo de la UH del río Tomebamba*”, el presupuesto para la ejecución de monitoreos de calidad del agua podría reducirse a un costo por muestra de 291,97 U\$SD, tomando en cuenta 18 parámetros priorizados.

Al comparar los costos estimados de los planes de monitoreo de calidad del agua que ejecuta o ha ejecutado cada institución (Ver Tabla 32), con los costos estimados de monitoreo aplicando la priorización de parámetros presentados en este estudio, se determina que es posible reducir el costo de análisis por campaña de monitoreo.

Se puede afirmar, además, que es necesaria la priorización de parámetros de calidad del agua para la ejecución de campañas de monitoreo a un menor costo que permitan efectuar el levantamiento de información periódica, contribuyendo al seguimiento de la calidad del agua en la UH del río Tomebamba con el objetivo de

preservar, conservar y mejorar los servicios ambientales y de uso y aprovechamiento que brinda dicho recurso hídrico.

4.8. Modelo procedimental para la selección de parámetros físico – químicos en planes de muestreo de agua

En el presente subcapítulo se exhiben los Modelos Procedimentales para la selección de parámetros físico – químicos más representativos en planes de muestreo de calidad del agua de ríos superficiales. Estos modelos se encuentran presentados a manera de matrices lógicas, con los pasos consecutivos para la selección de los parámetros, enfocados en la gestión ambiental e hídrica.

El modelo procedimental presentado en la Tabla 34, está enfocado a la selección de parámetros físico – químicos contando con información de calidad del agua preexistente y en la que se cuenta con una o más redes de monitoreo establecidas para la unidad hidrográfica de interés.

El segundo modelo procedimental referido en la Tabla 35, corresponde a una matriz simplificada considerando la inexistencia tanto de información previamente generada de la calidad del agua como de las redes de monitoreo establecidas para la unidad hidrográfica de interés. Posterior a efectuar lo considerado en la matriz simplificada, se recomienda realizar el modelo procedimental extendido.

Tabla 34
Modelo Procedimental extendido.

1) Planteamiento de los Objetivos del Plan de Monitoreo					
Consideraciones previas	Procesamiento	Limitantes o Condiciones	Productos	Ejemplos	
-El objetivo del Plan de monitoreo como una herramienta para el levantamiento periódico de datos representativos de calidad del agua a fin de que sean procesados y analizados para la toma de decisiones en la gestión integral hídrica y ambiental.	- Determinar el propósito y los objetivos específicos del Plan de Monitoreo	Condiciones: -Enfoque en la gestión integral hídrica y ambiental -Ámbito constitucional del agua como patrimonio nacional estratégico, que constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos.	-Identificación de los Objetivos específicos del Plan de Monitoreo	-Gestión ambiental e hídrica. - Plan de Manejo de cuencas hidrográficas. -Determinar la posibilidad de utilizar el agua para un determinado fin. -Evaluar el comportamiento de la calidad del agua. -Evaluar el efecto del ingreso de contaminantes desde el suelo en la calidad del agua (INEN, 2000).	
2) Selección del Área Hidrográfica en la cual se Planifica el Monitoreo de la Calidad del Agua					
Consideraciones previas	Procesamiento	Limitantes o Condiciones	Productos	Ejemplos	
-Concepto de Unidad Hidrográfica (Asamblea Nacional, 2014) -La escorrentía de las aguas superficiales y confluencia de las aguas que drenan hacia el mismo punto.	-Delimitación y Codificación de la Unidad Hidrográfica a través de la metodología Pfafstetter, establecida por la Autoridad Única del Agua (SENAGUA)	-Software de Sistemas de Información Geográfica -Información cartográfica	-Área de monitoreo delimitada	-UH 4992896 nivel 7 Pfafstetter río Tomebamba	
3) Recopilación y procesamiento inicial de información existente de la calidad del agua y características del Área Hidrográfica					
Consideraciones previas	Procesamiento	Limitantes o Condiciones	Productos	Ejemplos	
3,1) -Instituciones gubernamentales y no gubernamentales que realizan acciones ambientales en la circunscripción del área hidrográfica delimitada - Estudios académicos efectuados en el área hidrográfica delimitada -Levantamiento de información in situ -Información propia de monitoreos de calidad del agua	-Registro de información disponible y/o levantada en formatos preestablecidos y homologados -Homologación de datos (formatos numéricos, unidades) -Depuración de información (datos atípicos, campañas de monitoreo sin registro de datos)	-Software de Sistemas de Información Geográfica -Datos con la ubicación georreferenciada correspondiente -Información cartográfica -Condiciones naturales del agua y actividades antropogénicas en la UH de interés	-Información de calidad del agua identificada para ser utilizada en los análisis del comportamiento de la calidad del agua	-Identificación de usos y/o aprovechamientos del agua en la UH de interés. -Identificación de información que no cumple con los requisitos para ser utilizada en el análisis del comportamiento de la calidad del agua.	
3,2) -Entidades gubernamentales y no gubernamentales que realizan levantamiento de información o mantienen bases de datos de información hidrológica y/o meteorológica en la UH seleccionada.	-Registro de información disponible y/o levantada en formatos preestablecidos	-Datos con la ubicación georreferenciada correspondiente -Información cartográfica	-Área de monitoreo delimitada	- UH 4992896 nivel 7 Pfafstetter río Tomebamba	
4) Análisis de la cantidad del agua en la UH seleccionada					
Consideraciones previas	Procesamiento	Limitantes o Condiciones	Productos	Ejemplos	
-Estudios preexistentes de las épocas hidrológicas de la Unidad Hidrográfica de interés, con datos históricos. -Selección de metodología para la determinación de caudales	Análisis del régimen de precipitaciones de la zona de estudio, con el objeto de determinar cómo varía la precipitación a lo largo del año y de establecer épocas de lluvia y épocas secas. Estimación de caudales en sitios donde se desea establecer la carga contaminante de los parámetros de calidad del agua	a) Análisis del régimen mensual de precipitaciones. b) Análisis de información disponible preexistente. c) Corroboración de la información con bibliografía de estudios antecedentes	épocas lluviosas y secas determinadas para el año		
5) Análisis del comportamiento de la calidad del agua					
Consideraciones previas	Procesamiento	Limitantes o Condiciones	Productos	Ejemplos	

CONTINÚA



Metodologías a aplicarse según el alcance de: -Disponibilidad de datos -Capacidades técnicas y tecnológicas	El procesamiento se puede realizar a través de herramientas: Estadísticas, Criterio de Rutas (Análisis de Gráficas Concentración vs. Puntos de monitoreo; Concentración vs. Tiempo), Determinación de Cargas Contaminantes, Identificación de parámetros que no cumplen con los criterios de calidad del agua	-Análisis en función de las épocas secas y lluviosas existentes en la UH de interés -Calidad natural de las aguas superficiales de la UH de interés -Influencia de factores naturales y antropogénicos	En función de las épocas lluviosas y secas de la UH de interés y de las condiciones naturales y antrópicas: -Determinación de parámetros de comportamiento variable y constante. -Cálculo de carga contaminante	-Identificación de parámetros que presentan concentraciones elevadas en ciertas zonas de la UH de interés. -Identificación de parámetros con concentraciones constantes en la escorrentía.
6) Selección de Parámetros Físico – Químicos priorizados para el Plan de Monitoreo				
Consideraciones previas	Procesamiento	Limitantes o Condiciones	Productos	Ejemplos
-Resultados de los factores de contaminación obtenidos a través del ACVC tanto para parámetros normados a nivel nacional como internacional. (Numeral 4.5 del presente estudio).	-Cálculo del Impacto Ambiental Relativo (EIU/tiempo) (Utilizando los Factores de contaminación y las cargas contaminantes) -Elaboración de presupuesto para la ejecución periódica de las campañas de monitoreo considerando los parámetros priorizados	-Cálculo e interpretación correcta de: Carga contaminante, Interpretación adecuada de los Factores de Contaminación y del Impacto Ambiental Relativo Asociado -Parámetros de los cuales no se dispone información para ser complementada con los Factores de Contaminación	-Selección de parámetros priorizados para la UH de interés	-Listado de parámetros a monitorearse

Tabla 35
Modelo Procedimental simplificado.

1) Planteamiento de los Objetivos del Plan de Monitoreo				
Consideraciones previas	Procesamiento	Limitantes o Condiciones	Productos	Ejemplos
-El objetivo del Plan de monitoreo como una herramienta para el levantamiento periódico de datos de calidad del agua representativos a fin de que sean procesados y analizados para la toma de decisiones en la gestión integral hídrica y ambiental.	- Determinar el propósito o los objetivos específicos del Plan de Monitoreo	Condiciones: -Enfoque en la gestión integral hídrica y ambiental -Enfoque constitucional del agua como patrimonio nacional estratégico, que constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos.	-Identificación de los Objetivos específicos del Plan de Monitoreo	-Gestión ambiental e hídrica, Plan de Manejo de cuencas hidrográficas -Determinar la posibilidad de utilizar el agua para un determinado fin: Estudiar el efecto de los contaminantes atmosféricos en la calidad del agua de lluvia, Evaluar el efecto del ingreso de contaminantes desde el suelo en la calidad del agua. (INEN, 2000)
2) Selección del Área Hidrográfica en la cual se Planifica el Monitoreo de la Calidad del Agua				
Consideraciones previas	Procesamiento	Limitantes o Condiciones	Productos	Ejemplos
-Concepto de Unidad Hidrográfica (Asamblea Nacional, 2014) - La escorrentía de las aguas superficiales y confluencia de las aguas que drenan hacia el mismo punto	-Delimitación y Codificación de la Unidad Hidrográfica a través de la metodología Pfafstetter, establecida por la Autoridad Única del Agua (SENAGUA)	-Software de Sistemas de Información Geográfica -Información cartográfica	-Área de monitoreo delimitada	- UH 4992896 nivel 7 Pfafstetter río Tomebamba
3) Selección de Parámetros Físico - Químicos para el Plan de Monitoreo				
Consideraciones previas	Procesamiento	Limitantes o Condiciones	Productos	Ejemplos
-Establecimiento de la red monitoreo considerando los factores: actividades antrópicas, áreas de conservación, secciones altas, media y baja de la UH de interés. -Resultados de los factores de contaminación obtenidos a través del ACVC tanto para parámetros normados a nivel nacional como internacional. (Numeral 4.5 del presente estudio). -Identificación de las épocas de lluvia y sequía en la UH de interés.	-Levantamiento de información a través de campañas de monitoreo en la que se analicen los parámetros con mayor Factor de Contaminación, establecidos a través del presente estudio y de las épocas de lluvia y sequía identificadas.	-Determinación de épocas secas y lluviosas de la UH de interés (se deberá realizar a través del conocimiento -Presupuesto disponible para la ejecución de campañas de monitoreo.	-Línea base de calidad del agua en función de los parámetros con mayores Factores de contaminación.	

5. CONCLUSIONES

En los siguientes literales se presentan las conclusiones correspondientes al desarrollo del presente estudio:

- a) Se estudió exhaustivamente el comportamiento espacio – temporal de la calidad del agua de la Unidad Hidrográfica del río Tomebamba a través de varias metodologías que permiten considerar la representatividad y márgenes de error de los datos recopilados. De esta forma, se obtuvieron resultados correspondientes a:
- Identificación de épocas lluviosa y seca: dos épocas de lluvia, la primera comprendida entre enero y abril (registra las mayores precipitaciones en el año), y la segunda en periodo octubre a diciembre; se determinó como época seca a los meses de mayo a septiembre. Para cada uno de los periodos señalados se estudió el comportamiento multianual de la calidad del agua.
 - Determinación de los parámetros que revisten mayor importancia para ser considerados en planes de monitoreo debido al riesgo que representan para la calidad tanto ambiental como de los usos y/o aprovechamientos del agua. De este modo los parámetros estipulados en la normativa ambiental nacional que resultaron con los cinco mayores factores de contaminación (riesgo) son: Mercurio, Plata, pH, Cadmio y Fenoles.
 - De manera específica y en función de la información representativa disponible para el río Tomebamba, se determinaron aquellos parámetros que poseen un mayor Impacto Ambiental Relativo (EIU/mes), los cuales son: DBO y Fósforo.

- b) Al evaluar la calidad del agua del río Tomebamba con información levantada por más de 10 años, se determinó:
- La presencia de datos anómalos (llamados outliers) en las series de datos.
 - Parámetros con tendencias específicas en función de las rutas seguidas por el cauce hídrico; y, en función del tiempo. Se detectaron casos de años particulares que alteran el comportamiento estadístico común de los datos. Los resultados indican que existen afectaciones a la calidad del agua inician aguas arriba del punto de confluencia de las aguas a la salida de la sección alta de la UH del río Tomebamba, debido a efectos antropogénicos.
- c) Luego del Análisis de Ciclo de Vida Corto, y los respectivos análisis del comportamiento de la calidad del agua, se encontró que los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno, Coliformes Fecales y pH son comunes en la ejecución de los planes de monitoreo de las tres instituciones y en términos de su riesgo deben permanecer en las campañas de monitoreo. Según corresponda a cada institución, se detectó los siguientes parámetros que deberían ser incluidos en los planes de monitoreo por cuanto representan un riesgo importante, y convendrá evaluar su frecuencia de muestreo: Mercurio, Fenoles, Plomo, Selenio, Cobre, Cianuro, Cromo, Fósforo, Arsénico, Aluminio Manganeso, Hierro, Demanda Química de Oxígeno, Nitrato, Sólidos Totales.
- d) Se encontró que hay un grupo de parámetros incluidos en los planes de monitoreo de la Unidad Hidrográfica del río Tomebamba que no aportan información

relevante por no tener representatividad estacional estadística y/o por no revestir un riesgo al ambiente según el análisis de ciclo de vida corto, estos parámetros son: Dióxido de Carbono, Estaño, Magnesio, Materia Flotante, Potasio, Dióxido de Silicio, Sodio, Salinidad; los cuales conviene sean revisados por cada institución en relación a sus objetivos de levantamiento de información.

- e) El análisis de los planes de monitoreo considerando las campañas efectuadas por las entidades ETAPA - EP, SENAGUA e INAMHI; indica que para tener una mejor aplicabilidad tanto para la toma de decisiones como para el seguimiento en la gestión ambiental e hídrica, dichos planes deben ejecutar campañas de monitoreo periódicas para el levantamiento de información de calidad del agua, pues a través del presente estudio se identificó que en su mayoría, los planes de monitoreo de entidades no permiten tener una representatividad suficiente para dilucidar comportamientos estadísticamente objetivos, ni estacionales de los parámetros físico - químicos con verosimilitud.

Por tanto, se concluye que, un esquema de monitoreo cuyas frecuencias correspondan a los tres periodos identificados como épocas lluviosas y seca, constituye una condición mínima para obtener datos viables para representar las diferentes etapas de calidad de agua a lo largo de un año en la Unidad Hidrográfica del río Tomebamba.

- f) Se ha definido un procedimiento consistente en lineamientos de decisión respecto a: cantidad de parámetros y periodicidad de monitoreo que corresponda a las

épocas lluviosas y seca. De esta manera, el costo de la ejecución de planes de monitoreo puede ser optimizado y obtener información útil para la representación de la calidad de agua en el río Tomebamba.

El modelo procedimental básicamente permite optimizar el levantamiento de información de calidad del agua de las entidades ETAPA-EP, INAMHI y SENAGUA, haciendo que se eviten monitoreos poco representativos a través de la inclusión de ciertos parámetros y descartando otros. Además, el procedimiento para la selección de parámetros físico – químicos establece un orden de prioridad de los parámetros a ser escogidos en campañas de monitoreo. El estudio no ha podido analizar los casos de parámetros que tienen unidades físicas de medición que no se relacionan con unidades de concentración como Unidad de color, cantidad de microorganismos, entre otros.

6. RECOMENDACIONES

- a) Se recomienda a las instituciones generar una base de datos de calidad del agua, en el que se registre información validada y depurada; con el objetivo de que esta se encuentre lista para su procesamiento y aplicación de metodologías que permitan la toma de decisiones en el ámbito de la gestión ambiental e hídrica. Vale la pena considerar que, para la elaboración del presente estudio se invirtieron alrededor de 750, de las cuales aproximadamente el 30% correspondieron únicamente a la organización y validación de los datos de calidad del agua.
- b) Se recomienda a las instituciones gubernamentales competentes, actualizar los criterios de calidad establecidos para compuestos organoclorados y organofosforados totales, de manera que se normen de manera individual los parámetros relacionados a plaguicidas, pesticidas e insecticidas, mismos que representan mayor peligrosidad para la calidad del agua superficial.
- c) Para los planes de monitoreo en la UH del río Tomebamba se recomienda realizar análisis para identificar si existe presencia o no de los quince (15) parámetros identificados en el presente estudio, con mayor peligrosidad para el ambiente y consecuentemente para el ser humano.
- d) Se recomienda a las instituciones que han colaborado con la información correspondiente a calidad del agua para la UH del río Tomebamba, actualizar sus

planes de monitoreo considerando los resultados de priorización de parámetros presentados en este estudio.

- e) Se recomienda a las instituciones la implementación de bases de datos para la adecuada gestión de la información, pues la inversión en el levantamiento de datos de calidad del agua es considerable y se requiere contar con las herramientas adecuadas para el análisis y evaluación de los resultados, caso contrario los mismos no resultan representativos y no constituirán una herramienta eficiente y eficaz para la toma de decisiones.

- f) Con el objetivo de evitar duplicidad de esfuerzos y lograr el ahorro de recursos, se recomienda a las instituciones competentes, tanto de emitir lineamientos relacionados a planes de monitoreo como entidades responsables del levantamiento de información, ejecutar de manera coordinada y articulada el levantamiento de datos, la misma que esté accesible para los diferentes actores de la gestión de la calidad del agua.

- g) Para obtener información representativa del comportamiento de la calidad del agua, es necesario planificar monitoreos periódicos cuya frecuencia debe ser determinada en función de las épocas lluviosa y seca para la unidad hidrográfica a evaluar. Adicionalmente es importante contar con muestras compuestas de agua que aseguren la homogeneidad de la muestra en relación a la fecha de muestreo.

- h) Generar, a partir del presente estudio una guía para selección de parámetros físico – químicos, aplicada a otras unidades hidrográficas.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, F. (2007). Técnicas para la evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos. *Guía Metodológica para el desarrollo del Inventario Nacional de Humedales de México*, versión 2.0.
- ANA. (S/f). *Repositório Agencia Nacional de Águas*. Recuperado el 2019, de https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/105/1/apostila_espanhol.pdf
- Asamblea Nacional. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Registro Oficial 449 de 20-oct-2008.
- Asamblea Nacional. (2014). *LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA*. Quito.
- Asamblea Nacional. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. Quito: Registro Oficial No.983- Miércoles 12 de Abril de 2017.
- Ávila, R. (2013). *Publicaciones Universidad de Cuenca*. Obtenido de Revista Galileo: <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/galileo/article/view/175>
- Burgess & Webster. (1980). Recuperado el Marzo de 2019, de Journal of Soil Science: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1980.tb02084>
- Carrasco, M., Pineda, R., & Pérez, R. (Julio - Diciembre de 2010). *Calidad del hábitat en los ríos Tomebamba y Yanuncay en Ecuador*. *Digital Ciencia@UAQro*.

Recuperado el 2018, de
http://www.uaq.mx/investigacion/revista_ciencia@uaq/ArchivosPDF/v3-n2/Calidad.pdf

CEPAL. (2012). *Diagnóstico de la Estadística del Agua en Ecuador*.

Climate-Data.Org. (2012). *Climate-Data.Org*. Recuperado el Marzo de 2019, de
<https://es.climate-data.org/>

Condo & Juella. (2017). *Análisis del comportamiento hidrológico y estado actual del recurso hídrico en las cuencas del río Tomebamba y Yanuncay durante el año 2015*. Cuenca: Universidad de Cuenca.

Cruz, J. (2014). *Ecología Industrial y la Sinergia entre empresas*. México D.F.

Dos Santos, M. (S/f). *Estadística Básica: un enfoque no paramétrico*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Duitama & Moreno. (2015). *Estimación de Caudales en la cuenca media del río Magdalena, empleando el Método de Transposición de Caudales*. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Espinoza, A. (2015). *Caracterización preliminar de dos microcuencas en el cantón Zaruma (Ecuador) y elaboración de propuestas de seguimiento de la Calidad del agua*. Unidad Politécnica de Valencia.

Espíritu, C. (2010). *Evaluación de la calidad del agua del río Rimac mediante el análisis multivariado*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

- ETAPA EP. (2018). *Gestión Ambiental*. Obtenido de <http://www.etapa.net.ec/Gestion-ambiental/Proteccion-fuentes/Informacion-General>
- ETAPA-EP. (2007). *Expediente para la inscripción del Parque Nacional Cajas en la lista de patrimonio mundial - UNESCO*. Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, agua potable, alcantarillado y saneamiento, Cuenca.
- ETAPA-EP. (2016). Red de monitoreo de calidad del agua. Cuenca.
- ETAPA-EP. (2017). *Estudio Ambiental (ExPost) del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable para la ciudad de Cuenca*. Consultor Ing. Alexandra Piedra Aguilera.
- ETAPA-EP. (2018). *Agua Potable*. Recuperado el 2018, de <http://www.etapa.net.ec/Agua-potable/Planes-maestros/Factibilidad-Tecnica>
- Farnham, Ashok, Singh, Klaus, Stetzenbach, Kevin & Johannesson. (2002). *Treatment of nondetects in multivariate analysis of groundwater geochemistry data*.
- Geek, A. (Ed.). (Marzo de 2018). *GISGeography*, En español traducido . Recuperado el Marzo de 2019, de <https://gisgeography.com/kriging-interpolation-prediction/>
- Gómez & Peñuela. (Enero - Junio de 2016). Revisión de los métodos estadísticos multivariados usados en el análisis de calidad de agua. *MUTIS*, 6((1)), 54-63.
- Hair, Anderson, Tatham, & Black. (2000). *Análisis Multivariante* (Quinta ed.). Madrid, España: Prentice Hall.

Hammer& Harper. (2019). *Paleontological statistics software package for education and data analysis*. (N. H. Museum, Productor, & University of Oslo) Recuperado el Abril de 2019, de <https://folk.uio.no/ohammer/past/>

INAMHI. (2015). Red de monitoreo de Calidad del Agua. Quito.

INAMHI. (2016). Costos Prestación de Servicios Laboratorio Nacional de Agua y Sedimentos - Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Ecuador.

INEC. (2016). *Ecuador en cifras*. Obtenido de Encuesta Edificaciones: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2016/2016_EDIFICACIONES_PRESENTACION.pdf

INEC. (Diciembre de 2017). Recuperado el 2018, de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/EMPLEO/2017/Diciembre/122017_M.Laboral.pdf

INEC. (Junio de 2017). *Ecuador en cifras*. Obtenido de Informe pobreza y desigualdad: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/POBREZA/2017/Junio/Informe%20pobreza%20y%20desigualdad%20-%20jun%202017%2014072017.pdf>

INEC. (Noviembre de 2017). *Ecuador en cifras*. Obtenido de Conozcamos a Cuenca a través de sus cifras: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/conozcamos-cuenca-a-traves-de-sus-cifras/>

- INEC. (S/f). *Ecuador en cifras*. (I. N. CENSOS, Ed.) Recuperado el 2019, de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Sistema_Estadistico_Nacional/Objetivos_Desarrollo_Sostenible_ODS/Categorizacion_Nacional_Indicadores_ODS.xlsx
- INEN. (2000). *NTE INEN 2 226. Calidad del agua. Muestreo. Diseño de los programas de muestreo*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- Luna & Lavado. (2015). Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenca Jetepeque. *Revista Tecnológica ESPOL-RTE*, 28(3), 42-52.
- MAE. (2015). *Reforma al Texto Unificado de Legislación Secundaria, Acuerdo Ministerial 097-A, Registro Oficial Nro. 387*. Quito, Ecuador.
- MAE. (Abril de 2018). (M. d. Ambiente, Ed.) Recuperado el 2019, de http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/04/informe_nro_1__indicadores_ambientales_ods_avances_marzo_2018.pdf
- Maldonado, G. (2010). *Estado de la población de Atelopus exiguus en el bosque protector Mazán*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Maronna, A. (1995). *Probabilidad y estadísticas elementales para estudiantes de ciencias*. (F. d. exactas, Ed.) Universidad Nacional de la Plata.

- Morán, A., & Bianchi, G. (2006). Toma de Decisiones Ambientales, Marco Conceptual y Metodológico para su Estudio. *Revista APORTES para el Estado y la Administración Gubernamental*, 24.
- Muñoz, Á. G., Macías, S., & García, M. B. (2010). *Informe Final de Caracterización Hidrológica*. PROYECTO INAMHI-MAE-SCN-PRAA-PACC, Quito.
- Mustapha & Abdu. (2012). Application of Principal Component Analysis & Multiple regression Models in Surface Water Quality Assessment. *Journal of Environment and Earth Science*, 2((2)), 16-23.
- ONU-DAES. (Octubre de 2014). *Decenio Internacional para la Acción "El Agua fuente de vida" 2005 - 2015*. (D. d. Unidas, Editor) Recuperado el Junio de 2019, de <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
- PNUD. (2018). *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Recuperado el 08 de Octubre de 2018, de <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- PNUMA. (2017). *Estrategia sobre el agua dulce 2017-2021*. Nairobi, Kenya: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Presidencia de la República del Ecuador. (2019). *Reglamento al Código Orgánico del Ambiente*. Quito: Decreto Ejecutivo No. 752, de 21 de mayo de 2019.

pS-Eau. (2018). *Programme Solidarité Eau*. Recuperado el Octubre de 2018, de https://www.pseau.org/outils/ouvrages/un_water_presentation_des_cibles_et_de_s_indicateurs_mondiaux_de_l_odd_6_April_2016_es.pdf

Rienzo, J. (S/f). *Estadísticas para las ciencias agropecuarias*.

Rodriguez, Moraña & Salusso. (2012). Evaluación de la calidad del agua mediante análisis de componentes principales, localidad de Vaqueros, Salta. Salta, Argentina: Universidad Nacional de Salta.

Ruiz R. & Torres H. (2008). *UICN SUR*. Recuperado el 2019, de http://75.98.169.113/uploads/documentos/Anexo_3_MANUAL_DE_DELIMITACION_Y_CODIFICACION_UH_Sudamerica_UICN_CAN.pdf

Ruiz, J. (2016). *Evaluación de metodologías indirectas para la estimación de caudales medios mensuales en la zona del Piedemonte del Departamnto del Casanare*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Saldívar, M. (2005). *Estadística descriptiva*. Salvador: Instituto Politécnico Nacional.

Schaltegger, S. a. (1994). *Ökologieorientierte Entscheidungen in Unternehmen*. Basel, Switzerland: University of Basel.

SENAGUA. (2015). Red nacional de monitoreo de calidad del agua. *Plan Nacional del Agua*. Quito.

SENAGUA. (15 de Noviembre de 2017). *Registro Público del Agua*. Obtenido de rpa.senagua.gob.ec

SENPLADES. (Julio de 2014). (S. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, S. T. Pobreza, S. Secretaría Nacional del Agua, & B. Banco del Estado, Edits.) Recuperado el 2018, de <http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/09/FOLLETO-Agua-SENPLADES.pdf>

SENPLADES. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 "Toda una Vida"*. Quito, Ecuador: Resolución N.º CNP-003-2017.

Sotomayor, G. (2016). *Evaluación de la calidad de las aguas superficiales mediante técnicas de estadística multivariante; Un caso de estudio en la cuenca del río Paute, al Sur del Ecuador*. La Plata, Argentina: Universidad Nacional de La Plata.

Spiegel & Stephens. (1991). *Estadística* (Segunda ed.). MC GrawHill.

Terrádez, M. (S/f). *Universitat Oberta de Catalunya*. Recuperado el Mayo de 2019, de www.uoc.edu

UN ENVIRONMENT. (2018). *Progress on integrated water resources management. Global baseline for SDG 6 indicator 6.5.1: degree of IWRM implementation*.

UN WATER. (2016). *Towards a Worldwide Assessment of Freshwater Quality A UN-Water Analytical Brief*.

UN WATER. (Enero de 2017). (U. N. Water, Ed.) Obtenido de www.unwater.org/.../ES_G2_SDG-6-targets-and-indicators_Version-2017-07-14.pdf

UN WATER. (2018). *UN WATER - UNITED NATIONS*. Recuperado el Octubre de 2018, de <http://www.unwater.org>

UNEP. (2016). *A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a global assessment*. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme.

University of Oslo. (2019). *Manual de Referencia "Past-Paleontological Statistics Version 3.2"*. Oslo: Natural History Museum.

Vallejo. (2014). *Análisis de las crecidas presentadas en los ríos Tarqui, Yanuncay y Tomebamba desde 1997 hasta 2011*. Cuenca: Universidad de Cuenca.

Vignes. (2001). Use Limited Life-Cycle Analysis for Environmental Decision - Making. *American Institute of Chemical Engineers*, 40.

Wunderlin, Díaz, Amé, Pesce, Hued & Bistoni. (2000). *Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case of study: Suquía river basin*. Córdoba, Argentina.

Zamora & Escalona. (2015). *Análisis factorial y análisis de componentes principales*. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile.

8. ANEXOS

Anexo 1.- Ejemplos Fichas de Inspección

Anexo 2.- Sustento Ampliado de Aplicación de Métodos Estadísticos.

Anexo 3.- Línea de Tiempo Datos ETAPA - EP.

Anexo 4.- Ejemplos de Análisis Gráficos de Información Disponible.

Anexo 5.- Ejemplo de Identificación de Outliers.

Anexo 6.- Matriz de factores analizados para la eliminación o conservación de datos identificados como outliers.

Anexo 7.- Resultados Estadística Descriptiva

Anexo 8.- Resultados Análisis de Normalidad.

Anexo 9.- Valores de varianza del ACP.

Anexo 10.- Análisis CR, datos ETAPA – EP, Concentración vs. Puntos monitoreo.

Anexo 11.- Análisis CR, datos ETAPA – EP, Concentración vs. Años monitoreo.

Anexo 12.- Análisis CR, datos proporcionados por INAMHI

Anexo 13.- Análisis CR, datos proporcionados por SENAGUA

Anexo 14.- Criterios de calidad del agua considerados para su análisis.

Anexo 15.- Factores de contaminación de parámetros físico - químicos.

Anexo 16.- Abreviaturas