

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**Maestría en Ciencias con Mención en Ingeniería Ambiental**



**Tesis**

**Evaluación de la calidad de los recursos hídricos en la cuenca Tumbes a  
través de la metodología ICARHS, 2016- 2020**

**para obtener el grado académico de:**

**Maestra en Ciencias con Mención en Ingeniería Ambiental**

**Autora: Bach. Deyci Yanet Guerrero Frias**

<https://orcid.org/0009-0004-1565-9577>

**Asesor: Dr. Jaime Lucho Cieza Sánchez**

<https://orcid.org/0000-0002-9519-3604>

**Lambayeque, Perú**

**2023**

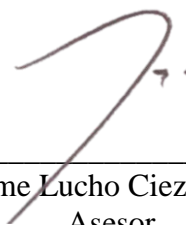
I

**Evaluación de la calidad de los recursos hídricos en la cuenca Tumbes a  
través de la metodología ICARHS, 2016- 2020**



---

Bach. Deyci Yanet Guerrero Frias  
Autora



---

Dr. Jaime Lucho Cieza Sánchez  
Asesor

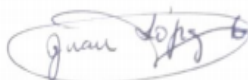
Tesis presentada para optar el grado académico de:  
Maestra en Ciencias con Mención en Ingeniería Ambiental

Aprobado por:



---

Dr. Arnulfo Cieza Ramos  
Presidente del jurado



---

Dr. Segundo Juan López Cubas  
Secretario del jurado



---

Dr. Américo Celada Becerra  
Vocal del jurado

Lambayeque, Perú  
2023

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

174

Siendo las 11:30 a.m. del martes 27 de junio de 2023, se dio inicio a la Sustentación Virtual de Tesis soportado por el sistema Google Meet, preparado y controlado por la Unidad de Tele Educación de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque, con la participación en la Video Conferencia de los miembros del Jurado, nombrados con Resolución N°982 – 2021 de fecha 05 de noviembre de 2021, conformado por:

Dr. ARNULFO CIEZA RAMOS	Presidente
Dr. SEGUNDO JUAN LOPEZ CUBAS	secretario
Dr. AMERICO CELADA BECERRA	Vocal
Dr. JAIME LUCHO CIEZA SANCHEZ	Asesor

Para evaluar el informe de tesis de la tesista DEYCI YANET GUERRERO FRIAS, candidata a optar el grado académico de MAESTRA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL, con la tesis titulada "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA TUMBES A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA ICARHS", 2016- 2020".

El Sr. presidente, después de transmitir el saludo a todos los participantes en la Video Conferencia de la Sustentación Virtual ordenó la lectura de la Resolución N°559-2023-EPG de fecha 22 de junio de 2023, que autoriza la Sustentación Virtual del Informe de tesis correspondiente, luego de lo cual autorizó a la candidata a efectuar la Sustentación Virtual, otorgándole 35 minutos de tiempo y autorizando también compartir su pantalla.

Culminada la exposición de la candidata, se procedió a la intervención de los miembros del jurado, exponiendo sus opiniones y observaciones correspondientes, posteriormente se realizaron las preguntas a la candidata.

Culminadas las preguntas y respuestas, el Sr. presidente, autorizó el pase de los miembros del Jurado a la sala de video conferencia reservada para el debate sobre la Sustentación Virtual del Informe de tesis realizada por la candidata, evaluando en base a la rúbrica de sustentación y determinando el resultado total de la tesis con **18** puntos, equivalente a

**Muy Bueno**, quedando la candidata apta para optar el Grado académico MAESTRA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL.

Se retornó a la Video Conferencia de Sustentación Virtual, se dio a conocer el resultado, dando lectura del acta y se culminó con los actos finales en la Video Conferencia de Sustentación Virtual.

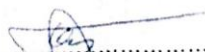
Siendo las 13:30 p.m. se dio por concluido el acto de Sustentación Virtual.



Dr. ARNULFO CIEZA RAMOS  
PRESIDENTE



Dr. SEGUNDO JUAN LÓPEZ CUBAS  
SECRETARIO



Dr. Américo Celada Becerra  
VOCAL



Dr. JAIME LUCHO CIEZA SANCHEZ  
ASESOR

**CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD**

Yo, **Dr. Jaime Lucho Cieza Sánchez**, usuario revisor de tesis

Trabajo de suficiencia profesional  y/o Trabajo académico

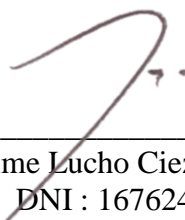
**Titulado Evaluación de la calidad de los recursos hídricos en la cuenca Tumbes a través de la metodología ICARHS, 2016- 2020**

Cuya autora es: **Bach. Devci Yanet Guerrero Frias** con DNI N°**72401234**; declaro que la evaluación por el programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud **20** % verificables en el resumen del reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó el reporte y concluyo que cada una de las coincidencias dentro del porcentaje de similitud no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos,

Se cumple con adjuntar el recibo digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 09 de febrero de 2023



Dr. Jaime Lucho Cieza Sánchez  
DNI : 16762439

Defina modalidad con (X)

Adjunta:

Resumen de Reporte automatizado de similitudes

Recibo digital


## “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA TUMBES A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA ICARHS”, 2016- 2020.

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>20%</b>	<b>20%</b>	<b>3%</b>	<b>10%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	 Dr. Jaime Lucho Cieza Sanchez Asesor	<b>4%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet		<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>tesis.ucsm.edu.pe</b> Fuente de Internet		<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>www.gub.uy</b> Fuente de Internet		<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.ana.gob.pe</b> Fuente de Internet		<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.unh.edu.pe</b> Fuente de Internet		<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.ucp.edu.pe</b> Fuente de Internet		<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.lamolina.edu.pe</b> Fuente de Internet		<b>1%</b>

  
**Dr. Jaime Lucho Cieza Sánchez**  
**DNI : 16762439**  
**ASESOR**

9	<a href="http://repositorio.untumbes.edu.pe">repositorio.untumbes.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
10	<a href="http://crhc.ana.gob.pe">crhc.ana.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://repositorio.unsm.edu.pe">repositorio.unsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://extwprlegs1.fao.org">extwprlegs1.fao.org</a> Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
14	<a href="http://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	<1 %
16	<a href="http://www.ana.gob.pe:8093">www.ana.gob.pe:8093</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://procurement-notices.undp.org">procurement-notices.undp.org</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="http://repositorio.unasam.edu.pe">repositorio.unasam.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://repositorio.concytec.gob.pe">repositorio.concytec.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %



**Dr. Jaime Lucho Cieza Sánchez**  
DNI : 16762439  
ASESOR

20	Submitted to Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) - Sede Ecuador Trabajo del estudiante	<1 %
21	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %
22	fr.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
23	www.mef.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
24	www.ana.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
28	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
29	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
30	silob.tips Fuente de Internet	<1 %



**Dr. Jaime Lucho Cieza Sánchez**  
DNI : 16762439  
ASESOR

31	<a href="http://www.unas.edu.pe">www.unas.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
32	<a href="http://documents.mx">documents.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
33	<a href="http://agua.org.mx">agua.org.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
34	<a href="http://repositorio.uancv.edu.pe">repositorio.uancv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
35	<a href="http://iwrnzarumilla.iwlearn.org">iwrnzarumilla.iwlearn.org</a> Fuente de Internet	<1 %
36	<a href="http://www.ambiente.gob.ec">www.ambiente.gob.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="http://www.congreso.gob.pe">www.congreso.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
38	<a href="http://files.pucp.education">files.pucp.education</a> Fuente de Internet	<1 %
39	<a href="http://polodelconocimiento.com">polodelconocimiento.com</a> Fuente de Internet	<1 %
40	<a href="http://www.oefa.gob.pe">www.oefa.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
41	<a href="http://archivo.uagraria.edu.ec">archivo.uagraria.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
42	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	<1 %



**Dr. Jaime Lucho Cieza Sánchez**  
DNI : 16762439  
ASESOR



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Deyci Yanet Guerrero Frias
Título del ejercicio:	"EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS E...
Título de la entrega:	"EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS E...
Nombre del archivo:	Informe_de_Tesis_Parafraseado_01-02-2023_1.docx
Tamaño del archivo:	5.43M
Total páginas:	148
Total de palabras:	29,479
Total de caracteres:	153,025
Fecha de entrega:	02-feb.-2023 03:04p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre...	2005000142



  
Dr. Jaime Lucho Cieza Sanchez  
Asesor

  
**Dr. Jaime Lucho Cieza Sánchez**  
**DNI : 16762439**  
**ASESOR**

### **Dedicatoria**

Esta investigación está dedicada en primer lugar a Dios Padre, a Jesucristo y a la Virgen María quienes supieron guiarme por el buen camino y estar siempre conmigo. A mi familia porque me han brindado las herramientas para ser quien soy como persona, inculcándome valores, principios y forjando mi carácter con empeño, perseverancia y coraje para conseguir mis metas. De manera muy especial, a mi madre Liliana Frías Huamán, mi esposo Miguel Ángel Zuloeta Malca y a mi princesita Luhana Ximena Zuloeta Guerrero por su apoyo, amor y ayuda con los recursos necesarios para salir adelante día a día. A ti papá Alfonso Guerrero Castillo, que desde el cielo me guías por el buen camino y me das la fortaleza necesaria para lograr mis metas y luchar por ser cada día mejor como profesional, como persona, como hija y en especial como madre.

## **Agradecimiento**

Al Dr. JAIME LUCHO CIEZA SÁNCHEZ,  
por su valioso tiempo, análisis, contribución  
y revisión del tema.

A la plana docente de la escuela de Posgrado  
de la Universidad Nacional Pedro Ruiz  
Gallo, por sus enseñanzas y su importante  
contribución en las diferentes áreas del  
conocimiento.

A la Autoridad Nacional del Agua- ALA  
Tumbes, por brindarme los medios  
necesarios para el desarrollo de la tesis.

## Resumen

Evaluación de la calidad de los recursos hídricos en la cuenca Tumbes a través de la metodología ICARHS, 2016- 2020

La investigación tuvo por finalidad evaluar la calidad del agua en la cuenca del río Tumbes a través de una escala del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales [ICARHS]. Se realizaron monitoreos del 2016 al 2020 por parte de la ANA y el ALA de Tumbes para establecer en que nivel se encuentran los niveles de agua; como resultado, considerando la clasificaron de acuerdo a las condiciones climáticas en que se lleven a cabo (sequía y época de lluvias) y por tipo de contaminación (materia orgánica, elementos físicos y químicos y metales) para obtener el puntaje final en la escala del ICARHS (excelente, bueno, regular, pobre, malo o pésimo).

La data recolectada fue analizada mediante la utilización de la metodología ICARHS de la ANA. Con esta metodología se pudo llegar a un indicador de la calidad del recurso hídrico para monitorear cada punto, además, los mapas que ilustran la calidad del agua y un instrumento de planificación que ayude a rescatar la calidad de este recurso en los puntos donde se registraron bajos valores.

Se concluyó que mediante la aplicación esta metodología, la calidad del agua a diferentes puntos ubicados en el río Puyango y Tumbes, desde la cabecera de cuenca pasando por la zona media hasta la desembocadura de la cuenca, presentó una valoración de la calidad de agua pésimo, interpretándose que calidad de este recurso en la cuenca del río Tumbes no alcanza los niveles óptimos de calidad establecidos, a menudo está comprometida o deteriorada, lo que hace necesario tratarla antes de su uso para la vida acuática, población y agricultura. Esto limita su uso potencial en estas áreas y restringe el desarrollo en la cuenca, entre otros; precisar que, esta baja calificación viene dada por el subíndice 2, es decir, por los incumplimientos de parámetros físico químicos, debido a la presencia de metales; lo cual estaría relacionado principalmente con los vertimientos de la minería que vade las normas formales del sector en la cabecera de cuenca transfronteriza (ríos Calera y Amarillo en el Ecuador), que generan lixiviados con componentes de sulfuros como la pirita (Fe), la calcopirita (Cu), la galena (Pb), la arsenopirita (As) y la esfalerita (Zn).

Por otro lado, las principales quebradas tributarias al río Tumbes (Quebrada Cabuyal y Cazaderos), presentan una calificación de calidad de agua buena, lo cual se interpreta que la

dista de la calidad natural que posee este recurso. No obstante, las condiciones óptimas pueden también involucrar amenazas o daños mínimos.

Así mismo, se concluye que la representación del cálculo del ICARHS realizado en los 13 hitos donde se coleccionarán las muestras, mismos que se encuentran comprendidos en la parte alta, media y baja de la Cuenca Tumbes; el 15% presentan calificación de calidad buena; el 8% presenta calificación de calidad mala y el 77% presentan valoración de la calidad de recurso hídrico en la zona como pésimo, siendo la mayor afectación de estos estándares en los puntos de muestrales: RPuya1, RPuya2, RTumb1 y RTumb2 (parte alta de la cuenca); y persiste en los puntos de muestreo RTumb11, RTumb3, RTumb9 y RTumb5 (parte media de la cuenca Tumbes).

En el punto de monitoreo RTumb6, que corresponde a la parte baja del río Tumbes; por medio de la aplicación de la metodología del ICARHS se conoció que la calidad de agua presenta una valuación de pésimo con una puntuación de 25; lo cual estaría principalmente relacionado con los vertimientos directos del agua residual no tratada proveniente de la cámara de rebombeo “Coloma” la ciudad de Tumbes; asociado a parámetros de materia orgánica.

***Palabras Claves:*** Recurso Hídrico; fuentes contaminantes; metales pesados; estándares de calidad ambiental; materia orgánica ICARHS.

### **Abstract**

Assessment of the quality of water resources in the Tumbes basin through the ICARHS methodology, 2016-2020

The purpose of the research was to evaluate water quality in the Tumbes River basin through a scale of the Environmental Quality Index of Surface Water Resources [ICARHS]. Monitoring was conducted from 2016 to 2020 by ANA and the Tumbes ALA to establish what level the water levels are at; as a result, considering it was classified according to the climatic conditions in which they are carried out (drought and rainy season) and by type of contamination (organic matter, physical and chemical elements and metals) to obtain the final score on the ICARHS scale (excellent, good, regular, poor, poor, bad or lousy).

The data collected was analyzed using ANA's ICARHS methodology. With this methodology it was possible to arrive at a water quality indicator to monitor each point, as well as maps that illustrate water quality and a planning tool that helps to rescue the quality of this resource at the points where low values were recorded.

It was concluded that by applying this methodology, the water quality at different points located in the Puyango and Tumbes rivers, from the headwaters of the basin through the middle zone to the mouth of the basin, presented a very poor water quality rating, which means that the quality of this resource in the Tumbes River basin does not reach the optimum levels of quality established, it is often compromised or deteriorated, which makes it necessary to treat it before its use for aquatic life, population and agriculture. This limits its potential use in these areas and restricts development in the basin, among others; to specify that this low qualification is given by subindex 2, that is, by the non-compliance of physical-chemical parameters, due to the presence of metals; This would be mainly related to mining discharges that violate the formal standards of the sector in the headwaters of the transboundary basin (Calera and Amarillo rivers in Ecuador), which generate leachates with sulfide components such as pyrite (Fe), chalcopyrite (Cu), galena (Pb), arsenopyrite (As) and sphalerite (Zn).

On the other hand, the main tributary streams of the Tumbes River (Cabuyal and Cazaderos streams) have a good water quality rating, which is interpreted to be far from the natural quality of this resource. However, optimal conditions may also involve minimal threats or damage.

Likewise, it is concluded that the representation of the ICARHS calculation carried out in the 13 landmarks where the samples will be collected, which are located in the upper, middle

and lower part of the Tumbes Basin; 15% present a good quality rating; 8% present a poor quality rating and 77% present an evaluation of the water resource quality in the zone as very poor, with the greatest affectation of these standards in the mustral points: RPuya1, RPuya2, RTumb1 and RTumb2 (upper part of the basin); and persists in sampling points RTumb11, RTumb3, RTumb9 and RTumb5 (middle part of the Tumbes basin).

At monitoring point RTumb6, which corresponds to the lower part of the Tumbes River, by applying the ICARHS methodology, it was found that the water quality was rated as very poor with a score of 25, which would be mainly related to the direct discharge of untreated wastewater from the "Coloma" pumping chamber in the city of Tumbes, associated with organic matter parameters.

**Key words:** Water resources; contaminant sources; heavy metals; environmental quality standards; organic matter ICARHS.

## ÍNDICE

<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	4
1.2. Formulación del problema de investigación .....	4
1.3. Objetivos de la investigación .....	4
1.3.1.    Objetivo general .....	4
1.3.2.    Objetivos específicos .....	4
1.4. Justificación de la investigación.....	5
1.5. Limitaciones del estudio.....	5
1.6. Fundamentos y formulación de la hipótesis.....	6
1.7. Identificación de las variables .....	6
1.8. Operacionalización de variables.....	7
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
2.1. Antecedentes .....	10
2.1.1.    Nivel internacional .....	10
2.1.2.    Nivel nacional.....	10
2.1.3.    Nivel local.....	11
2.2. Marco teórico .....	12
2.3. Definiciones conceptuales.....	14
2.3.1.    Índice de calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales (ICARHS) ..	14
2.3.2.    Escala de valoración del ICARHS. ....	14
2.3.3.    Categorización de los cuerpos de agua en relación a su uso. ....	15
2.3.4.    Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales .....	15
2.3.5.    Calidad de agua .....	16
2.3.6.    Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua). ....	16
2.3.7.    Fuentes contaminantes.....	16
2.3.8.    Aguas residuales .....	16
2.3.9.    Aguas residuales domesticas .....	16
2.3.10.    Aguas residuales industriales.....	17

2.3.11.	Aguas residuales municipales.....	17
2.3.12.	Cuenca hidrográfica:.....	17
2.3.13.	Cuencas transfronterizas.....	17
2.3.14.	Conservación de los recursos hídricos.....	17
2.3.15.	Tratamiento de aguas residuales.....	18
2.3.16.	Demanda bioquímica de oxígeno .....	18
2.3.17.	Demanda Química de Oxígeno (DQO): .....	18
2.3.18.	Coliformes .....	18
2.3.19.	Coliformes Termotorelantes .....	18
2.3.20.	Oxígeno disuelto.....	19
2.3.21.	Fósforo total:.....	19
2.3.22.	Nitrógeno Amoniacal .....	19
2.3.23.	Nitratos .....	19
2.3.24.	Potencial de Hidrógeno (pH).....	20
2.3.25.	Arsénico:.....	20
2.3.26.	Aluminio.....	20
2.3.27.	Manganeso:.....	21
2.3.28.	Hierro:.....	21
2.3.29.	Cadmio.....	21
2.3.30.	Plomo:.....	21
2.3.31.	Cobre: .....	22
2.3.32.	Mercurio: .....	22
2.3.33.	Zinc:.....	22
2.3.34.	Sólidos suspendidos totales (SST).....	23
2.4.	Características del área de estudio .....	23
2.4.1.	Ubicación Geográfica .....	23
2.4.2.	Hidrografía.....	24
2.4.3.	Población .....	26
2.4.4.	Actividades productivas, extractivas y de servicios. ....	28
2.4.5.	Áreas naturales protegidas (ANP) .....	30
2.5.	Fuentes contaminantes en el área de estudio.....	31

<b>CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>37</b>
3.1. Tipo de investigación .....	38
3.2. Método de investigación .....	38
3.3. Descripción del área de estudio.....	38
3.4. Población, muestra y muestreo.....	39
3.4.1. Población .....	39
3.4.2. Muestra .....	40
3.5. Técnicas, instrumentos, equipos y materiales de recolección de datos.....	42
3.6. Procesamiento y análisis de datos .....	44
3.6.1. Determinación de la zona de estudio .....	44
3.6.2. Recopilación de información.....	44
3.6.3. Resultados de los monitoreos de calidad de agua.....	44
3.6.4. Cálculo del ICARHS .....	46
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>49</b>
4.1. Calidad el agua del rio tumbes de acuerdo con la metodología ICARHS .....	50
4.1.1. Punto de muestreo RPuya1 .....	51
4.1.2. Punto de muestreo RPuya2.....	56
4.1.3. Punto de muestreo QCaza1 .....	61
4.1.4. Punto de muestreo RTumb1 .....	66
4.1.5. Punto de muestreo RTumb2 .....	71
4.1.6. Punto de muestreo RTumb11 .....	76
4.1.7. Punto de muestreo QCabu1 .....	81
4.1.8. Punto de muestreo RTumb9 .....	87
4.1.9. Punto de muestreo RTumb3 .....	92
4.1.10. Punto de muestreo RTumb5 .....	98
4.1.11. Punto de muestreo RTumb6 .....	104
4.1.12. Punto de muestreo RTumb7 .....	110
4.1.13. Punto de muestreo RTumb8 .....	116
4.2. Resumen de la aplicación del icarhs en la cuenca tumbes. ....	121

<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>129</b>
5.1. Conclusiones .....	130
5.2. Recomendaciones.....	133
Bibliografía .....	135

## Introducción

Conocer los niveles de pureza del agua es uno de los problemas más importantes que enfrentan las comunidades hoy en día. La degradación de la calidad del agua tiene consecuencias directas medioambientales, sociales y económicas. Además, la disponibilidad de agua está disminuyendo producto de los agentes contaminantes, que es causada por el uso inadecuado de los desperdicios líquidos, residuos poblacionales, residuos agroquímicos, pasivos ambientales mineros, minería no formal y deforestación, así como por factores ambientales y características naturales que provienen de la calidad del agua (UNESCO, 2015).

En el Perú existe un total de 159 unidades hidrográficas dividida en tres importantes regiones hidrográficas: Pacífico con un total de 62 unidades hidrográficas abarcando el 39%, Amazonas con un total de 84 unidades hidrográficas abarcando el 52.8%, y Titicaca con un total de 13 unidades hidrográficas abarcando el 8.2% del total. La calidad del recurso hídrico en estas cuencas viene afectando en gran medida por las acciones humanas sobre el medio ambiente. Estas acciones pueden tener impactos positivos o negativos, lo que altera los estándares de las aguas terrestres y costero marinas. Esto es causado principalmente por las actividades económicas y la creciente población.

La Unidad Hidrográfica 1394 - Cuenca Tumbes, es una de las que más importa en la vertiente del Pacífico debido a su morfología principalmente, que constituye un delta geográfico constituyendo meandros que consecuentemente persiguen procesos de sedimentación naturales y que con el transcurrir del tiempo han terminado en la formación de un ecosistema rico en biodiversidad, así mismo, debido a la recolección de cuerpos de agua importantes, el río Tumbes es el principal recurso hídrico en la cuenca, su gran cantidad de agua permite sostener una gran población y una extensa área de cultivo en los valles de ambas orillas del río. Este es un importante recurso para la agricultura y para la vida humana en la zona. Sin embargo, esta cuenca también es afectada por el problema de la contaminación ambiental, siendo una de las cuencas del norte con mayor grado de afectación de la calidad del recurso hídrico, por ser una cuenca transfronteriza que aparece en el Ecuador, pero bajo la denominación de río Puyango – Tumbes, y en donde existe una gran explotación minera formal e informal asentada en las comunidades de Portovelo y Zaruma que pertenecen a la provincia de El Oro en Ecuador, actividades antropogénicas que concentran metales pesados y en cuantía considerable en las aguas; así mismo, existen actividades antropogénicas en la parte media y baja de la Cuenca Tumbes que generan afectación a los niveles estándares del recurso hídrico

entre las cuales se encuentran fuentes contaminantes antrópicas; como la mala práctica en los residuos sólidos, generación de efluentes industriales, acuícolas, domésticas y municipales que en su mayoría son vertidos al cauce del río Tumbes sin ningún tipo de tratamiento.

Es importante, precisar, que los pobladores que se han asentado en las márgenes del río Tumbes utilizan el agua de este recurso para consumo humano, la cual muchas veces es tratada de forma ineficiente, quedando la población expuesta a consumir un agua insalubre que en el tiempo puede repercutir en su salud. Además, según estudios realizados por Bermejo y Cruz (2007) y Feijoo (2007) este escenario ya ha causado problemas en la zona inferior de la cuenca, causando contaminación en los campos donde se cultiva arroz, de la orilla izquierda del río Tumbes y en los manglares de Tumbes, afectando a fuentes de subsistencia de manera directa a los pobladores y colocando algunas veces en peligro la salud humana.

En 2020, la ANA demostró la metodología del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales a través de la Resolución Jefatural N°084-2020-ANA. Esta metodología tiene como objetivo evaluar de manera simplificada y comprensible el status de los niveles estándares del recurso hídrico en los cuerpos naturales; además, esta herramienta ayuda a la toma de decisiones y la gestión de los recursos hídricos.

Ante el contexto situacional presentado, se hace necesario evaluar la calidad del recurso hídrico en la cuenca Tumbes, mediante la metodología ICARHS, que permitirá ofrecer trascendencia sobre el estado situacional de la calidad de agua para la toma de decisiones, medidas de mejoramiento, recuperación y protección de la calidad del agua.

## **CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

La Cuenca Tumbes se ve afectada por agentes contaminantes por metales en la zona alta, causada por las actividades mineras formales e informales en las comunidades de Portovelo y Zaruma, pertenecientes a la provincia de El Oro en Ecuador (en la fuente del río Puyango-Tumbes); además, las actividades antropogénicas en las localidades de “San Jacinto”, “San Juan de La Virgen”, “Pampas de Hospital”, “Corrales” y “Tumbes” en la zona media y de desembocadura de la cuenca contribuyen a la degradación de la calidad del agua, especialmente debido a la no adecuada de la disposición de los residuos sólidos, la generación de efluentes industriales, acuícolas, domésticos y municipales que en gran parte son vertidos al río Tumbes sin tratamiento alguno.

### **1.2. Formulación del problema de investigación**

¿Cuál es la calidad de los recursos hídricos de la Cuenca Tumbes de acuerdo a la metodología del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales ICARHS?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar la calidad de los recursos hídricos en la cuenca Tumbes a través de la metodología ICARHS, 2016- 2020.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Sistematizar y analizar la información disponible en la Autoridad Nacional del Agua, de la Cuenca Tumbes en el periodo 2016-2020.
- Interpretar y comparar los resultados de la calidad del agua de la Cuenca Tumbes con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, aprobados por el Ministerio del Ambiente.
- Calificar el estado de la calidad del recurso hídrico superficial de la Cuenca Tumbes, a través de la escala de valoración establecida por la metodología de índice de calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales (ICARHS).
- Cuantificar y calificar las presiones ambientales que influyen directa o indirectamente en la calidad del agua.

#### **1.4. Justificación de la investigación**

La investigación que se presenta tiene su origen en la experiencia del equipo en trabajar en la Administración Local de Agua Tumbes, donde se conoció de primera mano la contaminación por metales en la zona naciente de la cuenca, causada por actividades extractivas formales e informales en “Portovelo” y “Zaruma”, en la provincia ecuatoriana de El Oro (en la fuente del río Puyango-Tumbes), así como por las actividades antropogénicas en “San Jacinto”, “San Juan de La Virgen”, “Pampas de Hospital”, “Corrales” y “Tumbes” en la zona media y de desembocadura de la cuenca, provoca degradación en la calidad del agua, especialmente debido a la disposición impropia de residuos sólidos y la generación de efluentes industriales, acuícolas, domésticos y municipales que en gran parte son vertidos al río Tumbes sin tratamiento alguno. En este sentido, se utilizará la metodología ICARHS admitido por la ANA mediante Resolución Jefatural N°084-2020-ANA. Sin embargo, No existe información relevante disponible sobre el estado actual de la calidad de los recursos hídricos de la cuenca Tumbes.

El análisis de la investigación servirá para dar a conocer el estado situacional de la calidad del agua en la “Cuenca Tumbes”, que permita a los tomadores de decisiones de nivel nacional, regional y local, plantear estrategias y planes orientados a la “gestión de la calidad de los recursos hídricos”, establecer medidas de mejoramiento, recuperación y protección de la calidad del agua en la Cuenca Tumbes. Así mismo, dar a conocer la metodología ICARHS; lo cual servirá como fuente para el acervo bibliográfico para futuros estudios.

#### **1.5. Limitaciones del estudio**

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, se utilizarán los Informes Técnicos de resultados de los monitoreos de calidad de los recursos hídricos de la Cuenca Tumbes, ejecutados por la Administración Local de Agua (ALA) de Tumbes entre los años 2016 al 2020; sin embargo, cabe precisar que durante estos años la cantidad de puntos evaluados no han sido constantes variando en cada monitoreo realizado. Y de acuerdo con la metodología ICARHS, se podrá realizar la evaluación utilizando información histórica de los monitoreos anteriores, con la condición mínima de 4 monitoreos para cada punto de muestreo; por lo que se evaluará el ICARHS por años diferentes para cada punto.

### **1.6. Fundamentos y formulación de la hipótesis**

- H1: Si se emplea la metodología ICARSH, se logra una mejor interpretación de la evaluación de la calidad del agua en la cuenca Tumbes
- H2: Si se emplea la metodología ICARSH, no se logra una mejor interpretación de la evaluación de la calidad del agua en la cuenca tumbes

### **1.7. Identificación de las variables**

- Interpretación de los resultados de la calidad de los recursos hídricos en la Cuenca Tumbes.
- Metodología ICARHS.

## 1.8. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 1.** Operacionalización de Variables

Variables	Tipo de variable	Dimensión	Indicadores	Instrumento
<p><b>Variable Dependiente:</b></p> <p>Interpretación de los resultados de la calidad de los recursos hídricos en la Cuenca Tumbes</p>	<p>Se encuentra establecida por medio de la comparación de los rasgos físicos, químicos y microbiológicos de una muestra de agua en comparación con los niveles estándares de calidad Ambiental de Agua vigente aprobado conforme a la categoría correspondiente del cuerpo de agua superficial.</p>	<p>Calidad de los recursos hídricos en la Cuenca Tumbes</p>	<p><b>Escalas de valoración.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Excelente</li> <li>- Bueno</li> <li>- Regular</li> <li>- Malo</li> <li>- Pésimo</li> </ul>	<p>Resolución Jefatural N° 084-2020- ANA.</p>
<p><b>Variable Independiente:</b></p> <p>Metodología ICARHS</p>	<p>Herramienta matemática que integra una cantidad de medidas, las cuales a través del análisis lograr transformarlos en valores cualificables del estado de calidad de los recursos hídricos en un punto de muestreo.</p>	<p>Clasificación del cuerpo de agua – Río Tumbes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Categoría 4; Subcategoría E2.</li> <li>- Categoría 1; Subcategoría A2.</li> <li>- Categoría 3; Subcategoría D1/D2</li> </ul>	<p>Resolución Jefatural N° 056-2020- ANA.</p>
		<p>Parámetros a evaluar en el ICARHS.</p>	<p><b>Materia orgánica:</b></p> <p>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)</p> <p>Demanda química de oxígeno (DQO)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resolución Jefatural N° 084-2020- ANA.</li> </ul>

		<p>Oxígeno disuelto          Coliformes termotolerantes          Fósforo total          Amoniac - N          Nitratos (NO<sub>3</sub>-)          Hidrocarburos totales de petróleo</p> <p><b>Físico-químico</b>          Potencial de hidrógeno          Arsénico, Aluminio          Manganeso. Hierro          Cadmio, Plomo, Boro, Cobre          Mercurio, Zinc          Sólidos suspendidos totales</p>	<p>- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAN.</p> <p>- Resultados de los monitoreos participativos de Calidad de Aguas Superficial de la Cuenca Tumbes (año 2016-2020).</p>
--	--	---	---

**Nota:** Elaboración propia.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

## **2.1. Antecedentes**

### **2.1.1. Nivel internacional**

En el estudio de Caho & López (2017) se emplean las “metodologías UWQI y CWQI”, y del análisis realizado a los cuatro (04) puntos de muestreo; se obtuvo una variación espacial del “Índice de Calidad Ambiental” (ICA) para cada punto, en relación a los objetivos de la calidad del recurso hídrico en el canal Torca que constituye parte del humedal Torca-Guaymaral. Los resultados indicaron que el punto con el menor Índice de Calidad Ambiental fue el número 1 (24.343), seguido del número 3 (30.711) y del número 2 (37.443). Sin embargo, el punto número 4 (75,77) superó en más de dos veces los valores de los demás puntos de demostración. Los valores más inadecuados que se hallaron en el análisis realizado se encuentran en el cuerpo principal de agua que se ubica en el sector Guaymaral (puntos 1, 2 y 3), lo que sugiere que las condiciones en estos puntos de fotografía no son adecuadas para sostener una dinámica saludable.

En su tesis "Determinación del índice de calidad de agua ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindilig en la Cuenca de Ecuador", Carrillo y Urgiles (2016) mencionan que el ICA es uno de los mecanismos que sirven para evaluar la calidad de los organismos acuáticos. Para esta investigación se usó el modelo ICA - NSF de la Fundación Nacional de Saneamiento de U.S.A. basado en nueve parámetros para evaluar la calidad del agua en los ríos Mazar y Pindilig de mayo a noviembre de 2015. De este estudio, se encontró que los resultados permiten evaluar los niveles actuales de los ríos, y de esta forma la corporación CELEC EP-HIDROPAUTE las analice y tome decisiones informadas sobre el manejo de estos recursos hídricos y gestionar adecuadamente estas subcuencas hidrográficas.

### **2.1.2. Nivel nacional**

El estudio de Puerta (2019) evaluó la calidad del agua en los ríos Mayo y Huallaga usando el método ICA-PE en tres estaciones de monitoreo. Los resultados mostraron que la estación "Rmayo1" en el río Mayo tuvo una calidad regular (71.84), mientras que las estaciones en el río Huallaga (Rhual1 y Rhual2) tuvieron una calidad buena (83.05 y 86.74). Aunque la influencia humana en los ríos afecta su calidad, ambos permanecen con elevada habilidad para auto-depurar sus aguas.

En su investigación, Pérez (2017) analizó datos de los años 2014 y 2015 obtenidos de la ALA, la institución encargada de prestar los servicios, la GERESA y el Proyecto Especial Regional Pasto Grande. Con el objetivo de determinar las fluctuaciones temporales y espaciales en la calidad del agua, calcular el Índice de Calidad Brown-NSF en el río Moquegua antes y después del vertimiento de aguas residuales. Pérez concluyó que el punto de muestreo antes del llenado con este tipo de aguas presentó un ICA-NSF de 51,44 y una calificación de calidad media, mientras que el punto de muestreo después del vertimiento tuvo un ICA-NSF de 44,18 y una calificación de calidad mala.

También, Triveño (2016) evaluó once factores para establecer el nivel de la calidad del agua. Al final, concluyó que el río Mariño afecta al agua del río Pachachaca significativamente. Las medidas más influyentes en el estudio son la turbidez, los sólidos totales disueltos, la capacidad de conductividad, aceites y grasas, DQO, coliformes fecales y coliformes termotolerantes.

### **2.1.3. Nivel local**

Ana-Crhct (2019) en su investigación titulada "Análisis de la contaminación de las aguas del río Puyango-Tumbes y su efecto en la problemática socioeconómica en la región Tumbes" llegó a la conclusión de que la problemática central en la cuenca transfronteriza Puyango-Tumbes es producto de contaminantes originados principalmente en la zona alta-media de la cuenca. Estas fuentes añaden importantes cantidades de metales pesados al agua, incluyendo la contaminación causada por las actividades extractivas, como la minería en las comunidades de "Portovelo" y "Zaruma" en la provincia El Oro, así como la generación y vertido de aguas residuales y residuos sólidos por parte de los pobladores que ubican a lo largo del río en cuestión.

Según la investigación de Silva (2018) llamada "Evaluación del Grado de Afectación de la Calidad del Agua del Río Tumbes y Propuesta de Recuperación Sector Peruano - AÑO 2011 AL 2014", el agua del Río Tumbes tiene un nivel de calidad mala y no apta para su uso debido a factores físico-químicos y microbiológicos. Según el Índice de Calidad del Agua (ICA-PE) de la ANA, los parámetros que más preceden la calidad son coliformes tolerantes a extremas temperaturas y a elementos como el Pb, Cd, Al, As, Fe y Mn, algunos de los cuales son resultado de la composición geológica de la cuenca.

Según Puño (2015) en el desarrollo de su estudio denominado "Plan de manejo ambiental del recurso hídrico de la cuenca del Río Puyango-Tumbes", el agua que fluye por el

Río Tumbes no se encuentra apta para ser consumida directamente por seres humanos y animales, ni para el riego de cultivos, y si se desea utilizar para potabilización debe ser tratada y filtrada con sistemas avanzados. También concluyó que las fuentes de contaminación incluyen la minería informal en la parte alta de la cuenca, la agricultura en la zona de desembocadura de esta cuenca, residuos domésticos y sólidos urbanos en ciudades como “Portovelo”, “Zaruma” y “Tumbes”, y los efluentes de la industria de la langosta.

Otiniano (2008) realizó un trabajo de investigación, en el cual busco evaluar la conducta de las aguas del río Puyango ubicado en el departamento tumbesino, entre los años de 1963 a 2005, y llegó a la conclusión que existen metales pesados como As, Cd, Cu, Zn, Hg y Pb, en la cuenca mencionada.

En su estudio "Evaluación del contenido de metales pesados en los suelos cultivados con arroz en la margen izquierda del Río Tumbes", Bermejo & Cruz (2007) determinaron que los sedimentos y agroquímicos son las dos fuentes de metales pesados principales que se encuentran en el suelo de uso agrícola al lado izquierdo del Río Tumbes. Además, se encontró que el agua que se emplea para riego, el agua ubicada en la parte subterránea y el agua de drenaje tenían niveles de metales solubles por debajo de los límites permisibles establecidos por la Ley General de Aguas del Perú. (para Arsénico: un punto por debajo de los 0.3mg/L, para Cadmio: un punto por debajo del 0.06mg/L, para Cromo: igual a un mg/L, para Cobre: un punto medio por debajo del 0.6mg/L, para Mercurio: un punto promedio abajo del 0.02mg/L, para Plomo: un punto abajo del 0.2mg/L y para Zinc: equivalente a 25mg/L).

## **2.2. Marco teórico**

El “Índice de Calidad del Agua”, más conocido por sus siglas ICA, el cual es una herramienta que consiente el evaluar y determinar la calidad del recurso hídrico en cuerpos superficiales o subterráneos de agua en un momento específico. Por lo que en suma, el ICA combina información de varias medidas físico-químicas y biológicas en una fórmula matemática para evaluar el estado del agua (Yogendra y Puttaiah, 2008). Con la ayuda de este índice, es posible efectuar una evaluación global de la calidad del agua en diversos niveles, además de determinar en que medida el cuerpo de agua que se analiza es vulnerable ante la figura de potenciales amenazas (Soni y Thomas, 2014). Esta es una opción que permite evaluar los cuerpos de agua, lo cual permite que los procesos de creación e implementación de políticas en el sector público y monitoreos de impactos lleguen a ser más eficientes (Torres, Cruz y Patiño, 2009).

En el 2020, la ANA presentó una metodología para determinar el “Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales” mediante Resol. de Jefatura N°084-2020-ANA. Esta metodología contribuirá para evaluar el status de la calidad de los cuerpos hídricos naturales de una manera sencilla y fácil de entender.

El ICARHS es una herramienta matemática que combina varios parámetros para evaluar la calidad del agua en un punto de prueba específico. Este índice utiliza 20 parámetros agrupados según su naturaleza (orgánica, físico-química y metales) y las categorías establecidas para los cuerpos naturales de agua continentales. De esta manera, permite simplificar y clasificar los datos recogidos en un solo valor que indica el estado de la calidad del recurso hídrico.

En 2017, se aprobaron las normas nacionales para la calidad del agua a través del D.S. N°004-2017-MINAN (ver anexo 1). Estas normas definen el “Estándar de Calidad Ambiental” [ECA] como aquella medida que fija los niveles concentrados o grados de elementos, sustancias o parámetros físico-químicos o biológicos en el aire, agua o tierra, y que no simbolizan significativamente un riesgo de salubridad para los seres humanos o del entorno ambiental. Lo niveles estandarizados que han sido aprobados y se pueden aplicar a los cuerpos hídricos en cualquiera de sus presentaciones y en su estado natural en todo el territorio peruano, por lo que su aplicación es obligatoria para los que diseñan las leyes y políticas públicas, siendo un referente también de cumplimiento obligatorio para que sean aplicados en todos los instrumentos para la gestión ambiental. Además, estos estándares se dividen en cuatro categorías diferentes: para uso comunitario y recreativo, de extracción, de cultivo y para actividades marítimas, riego y alimentación animal y conservación del medio ambiente acuático.

Para esta investigación se utiliza el documento de clasificación, aprobado el mediante un dispositivo legal de la ANA del 2018, el cual clasifica al río Tumbes en tres (03) categorías: “Categoría 4” que va desde el punto de muestreo con código RPuya1 (Puesto de control hito Cóndor Flores) hasta la localidad de Rica Playa, esta categoría hace referencia a la conservación del entorno marino y se encuentra la Subcategoría E2 relacionada con ríos de la costa y serranía; “Categoría 1 A2” la cual va desde la estación hidrometeorológica El Tigre hasta la bocatoma de captación de la EPS Atusa, esta categoría hace referencia a la población y recreación y se encuentran las sub categorías A correspondiente a las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable y A2 que son aquel aguas potabilizables con tratamiento convencional; y la “Categoría 3” que va desde aguas abajo de la casa de bombeo

de aguas servidas Coloma (río Tumbes) hasta su desembocadura al mar de Tumbes, y está relacionada con el riego de vegetales y bebida de animales (Resol. Jefatural N°056-2018-ANA)

## 2.3. Definiciones conceptuales

### 2.3.1. Índice de calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales (ICARHS).

Es la herramienta matemática del ICA combina varios parámetros con los cuales se evalúa la calidad del agua en un punto específico mediante la transformación de los datos obtenidos en un valor numérico. (Resolución Jefatural N° 084-2020-ANA.)

### 2.3.2. Escalas de valoración del ICARHS.

La metodología ICARHS presenta su resultado en forma de un número sin unidades, que va de 0 a 100, lo que admite clasificar el estatus de la calidad del agua en cinco categorías: “Pésimo, Malo, Regular, Bueno y Excelente” (Resolución Jefatural N° 084-2020-ANA.)

**Tabla 2.** Valoración del ICARHS

Valor ICARHS	Calificación ICARHS	Color (RBG)	Interpretación
95-100	Excelente	0 112 255	La calidad del agua es excelente y se encuentra cerca de los niveles naturales o deseables sin amenazas o daños.
80-94	Bueno	0 197 255	La calidad del agua no es óptima, pero puede haber algunas amenazas o daños leves. Está lejos de los niveles naturales o deseables.
65-79	Regular	85 255 0	La calidad del agua es inestable y frecuentemente es amenazada o dañada. Se encuentra alejada de los valores deseables y requiere tratamiento para muchos usos.
45-64	Malo	255 170 0	La calidad del agua es mala y está amenazada o dañada en gran medida. Se encuentra lejos de los objetivos de calidad y requiere tratamiento para muchos usos.
0-44	Pésimo	255 0 0	La calidad del agua es muy mala y está casi siempre amenazada o dañada. Todos los usos requieren tratamiento.

**Nota:** Resolución Jefatural N° 084-2020-ANA.

### **2.3.3. Categorización de los cuerpos de agua en relación a su uso.**

El D.S. N°004 del Ministerio del Ambiente aprobado en el año 2017, en su Art. 3° establece que la aplicación de los ECA para agua y disposiciones complementarias implica tener en cuenta precisiones en cuatro categorías principales:

#### **Categoría 1: “Poblacional y recreacional”**

- a. Subcategoría A.** “Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable”, esta a su vez está dividida en tres sub subcategorías: A1, aquella que se puede potabilizar solamente mediante la desinfección; A2, aquella que se potabiliza con tratamiento mínimo y tradicional; y A3, aquella que para potabilizarse debe pasar por un tratamiento de mayor complejidad.
- b. Subcategoría B.** “Aguas superficiales destinadas para recreación”, incluye dos sub subcategorías: B1, de contacto primario, y B2, de contacto secundario.

#### **Categoría 2: “Extracción, cultivo y otras actividades marino - costeras y continentales”:**

Esta categoría incluye cuatro subcategorías: C1, donde se extraen y/o cultivan moluscos, equinodermos y tunicados en aguas continentales; C2, donde el aguas marino-costeras se extraen principalmente especies hidrobiológicas; C3, priman las actividades portuarias, industriales o saneamiento; y C4, donde se extraen principalmente especies marinos provenientes de lagos o lagunas.

**Categoría 3: “Riego de vegetales y bebida de animales”:** Esta categoría incluye dos subcategorías. La subcategoría D1, "Riego de vegetales", misma que incluye dos elementos: las que no se encuentran restringidas y aquellas que se encuentran restringidas para el riego; mientras que la subcategoría D2 se denomina "Bebida de animales".

**Categoría 4: “Conservación del ambiente acuático”:** En esta categoría se incluyen tres subcategorías; la primera E1, "Lagunas y lagos"; la segunda subcategoría E2, "Ríos", dividida en cuatro elementos: ríos de la costa y sierra, ríos de la selva, estuarios y marinos; y la tercera subcategoría E3 denominada "Ecosistemas costeros y marinos".

### **2.3.4. Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales**

Esta clasificación se encuentra en el siguiente dispositivo legal de la ANA: Resol. Jefatural N°056 de la ANA, emitida en el 2018, en la cual se describen tres categorías:

"Categoría A1 2, Categoría 3 y Categoría 4". Hasta que la ANA no asigne una categoría específica a un cuerpo hídrico mediante el proceso de categorización, se utilizará la condición del recurso al que está asociado, previa evaluación por parte de la Autoridad.

### **2.3.5. Calidad de agua**

En el 2019, la ANA, en su Resolución de Jefatura N°300 indicó que la calidad del recurso hídrico se mide a través de las propiedades físicas, químicas, biológicas y organolépticas del agua.

### **2.3.6. Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua).**

En el D.S. N°004 del 2017 del Ministerio del Ambiente se encuentra que los niveles de concentración máxima de sustancias, elementos o parámetros físico-químicos y/o biológicos que se hallan en cuerpos receptores a base de agua no presentan significativamente un riesgo al bienestar de los individuos, ni tampoco del entorno.

### **2.3.7. Fuentes contaminantes**

En la Resol. de Jefatura N°136 emitida en el 2018 por la ANA se precisa que la contaminación de los recursos hídricos es causada por la introducción de sustancias sólidas o líquidas al cuerpo de agua, ya sea de manera directa o indirecta, lo que puede perturbar las condiciones naturales (físicas, químicas y biológicas) y poner en riesgo su uso y el ecosistema acuático a corto, mediano o largo plazo.

### **2.3.8. Aguas residuales**

Son aquellas generadas por actividades humanas, que necesitan un proceso de limpieza antes de ser usadas nuevamente, liberadas en un cuerpo de agua o al sistema de alcantarillado de acuerdo al Decreto Supremo N°001-2020-AG.

### **2.3.9. Aguas residuales domésticas**

Las aguas residuales producidas en los hogares, negocios e instituciones, tienen una composición alterada debido a los desechos biológicos y otros derivados de las actividades de los seres humanos, requiriendo para ello ser tratadas previamente a ser reutilizadas, liberadas en cuerpos naturales de agua o vertidas al sistema de alcantarillado, según lo cual se establece en la Resolución Jefatural N°300-2019-ANA.

### **2.3.10. Aguas residuales industriales**

Aguas que surgen debido al funcionamiento de un proceso productivo, incluyendo las del sector minero, agrícola, pesquero, agroindustrial, y otros similares. (Resolución Jefatural N°300-2019-ANA).

### **2.3.11. Aguas residuales municipales**

Son las que tienen posibilidad de mezclarse con agua de lluvia o aguas residuales industriales, siempre y cuando se efectúen de acuerdo a los requisitos para ser aceptadas en sistemas de alcantarillado combinados.. (Resolución Jefatural N°300-2019-ANA).

### **2.3.12. Cuenca hidrográfica:**

Es un área donde las aguas drenan a un solo destino natural a través de un solo río o lago sin salida, delimitado por la línea de crestas o divisoria de agua (Resolución Jefatural N°300-2019-ANA).

### **2.3.13. Cuencas transfronterizas**

Son aquellas aguas que están ubicadas en la frontera entre dos o más países, ya sea en la superficie o subterráneas. Para este recurso natural que culminan de forma directa en el océano, por lo que su límite se define como una línea imaginaria recta que pasa a través de la desembocadura en el momento de la marea baja, entre los extremos de las orillas (Resolución Jefatural N°300-2019-ANA).

### **2.3.14. Conservación de los recursos hídricos**

Se refiere a una serie de estrategias y técnicas que se implementan con el objetivo de reducir el consumo de agua y proteger su calidad. Estas medidas incluyen la conservación de la cantidad de agua utilizada en diferentes actividades, la implementación de prácticas de riego eficiente, la promoción del uso de tecnologías que admitan el uso más eficiente del agua, y la regulación de las actividades que realizan los seres humanos que pueden dañar la calidad del agua (Resolución Jefatural N°300-2019-ANA).

### **2.3.15. Tratamiento de aguas residuales**

Los procesos de purificación de aguas residuales son una combinación de técnicas físicas, químicas y biológicas diseñadas para limpiar las aguas residuales hasta un punto en el que cumplan los estándares necesarios para ser descartadas o reutilizadas (Resolución Jefatural N°300-2019-ANA).

### **2.3.16. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Según Penn, Pauer, & Mihelcic (2004) es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por microorganismos para oxidar sustancias reducidas presentes en las formaciones de aguas y desechos. Estos compuestos, como el carbono orgánico biodegradable y el amoníaco, son comunes en desechos animales y humanos, como aguas residuales domésticas e industriales.

### **2.3.17. Demanda Química de Oxígeno (DQO):**

Para Montero & Agurto (2009) la DQO es un indicador de la cuantía de oxígeno necesario para descomponer en su totalidad la materia orgánica de la que se componen las aguas residuales. Además, es un parámetro relacionado con la contaminación de materia orgánica y un indicador importante en la regulación de descargas, ya que refleja el nivel de toxicidad de la descarga.

### **2.3.18. Coliformes**

El término coliformes se refiere a una categoría de bacterias que son utilizadas como indicadores de contaminación en el agua debido a sus características bioquímicas y microbiológicas típicas y su relación con fuentes potenciales de patógenos (Montero y Agurto, 2009).

### **2.3.19. Coliformes Termotolerantes**

Se sabe que las coliformes son bacterias, y entre ellas se encuentra la *E. coli*, y se ubican en el sistema digestivo de los animales, principalmente. Estas bacterias son liberadas junto con su defecación y podrían colonizar a otros sujetos (de su misma especie) u otras especies diferentes a su huésped original. Este tipo de coliformes también son conocidos como “coliformes totales” ya que son muy resistentes a temperaturas hasta 45°C y son de origen fecal. Además de *E. coli*, otros tipos de menor frecuencia como el *Citrobacter freundii* y el *Klebsiella pneumoniae* también están presentes en el medioambiente, pero están más asociados

con la flora y solo ocasionalmente se encuentran en el tracto intestinal. Los coliformes fecales son un parámetro preciso para medir la salubridad hidrológica y alimenticia, ya que contrastan indicios de contaminación por presencia de excrementos, ya sea de origen humano o animal (Gómez, Peña, & Vásquez, 1999).

#### **2.3.20. Oxígeno disuelto (OD)**

Este es un elemento crucial en el agua, ya que es esencial para la vida marina. La cantidad de oxígeno disuelto presente en un cuerpo de agua puede indicar la presencia de contaminación o la calidad del agua. Una cantidad mayor de oxígeno disuelto significa una mejor calidad del agua. La medición del oxígeno disuelto (OD) se puede hacer en el sitio utilizando dos métodos diferentes: el método de Winkler o un electrodo calibrado (Montero y Agurto 2009).

#### **2.3.21. Fósforo total**

El fósforo es un nutriente esencial en los ecosistemas acuáticos que impulsa el crecimiento de plantas y algas acuáticas y proporciona alimento y refugio a especies como peces, moluscos y otros organismos acuáticos. Sin embargo, cuando se produce una concentración excesiva de nitrógeno y fósforo, generalmente como resultado de actividades humanas, el aire y el agua pueden estar contaminados. El exceso de nitrógeno y fósforo hace que las algas crezcan de forma descontrolada y pueden afectar negativamente la calidad del agua, los alimentos y los hábitats, así como reducir el oxígeno disponible para la vida acuática (EPA, 2017).

#### **2.3.22. Nitrógeno Amoniacal**

Para Crespi (2008) incluye tanto la forma molecular combinada ( $\text{NH}_3 - \text{N}$ ) como la forma ionizada ( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ), ambas expresadas en términos de N. Para comparar de manera efectiva, los datos siempre deben proporcionarse como "nitrógeno amoniacal total", indicando también el pH, la temperatura y la salinidad.

#### **2.3.23. Nitratos**

Los nitratos son una forma de nitrógeno que se encuentran en ecosistemas acuáticos y terrestres en diferentes formas, como el Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y Nitritos ( $\text{NH}_2$ ). Aunque la necesidad del crecimiento de la flora son importantes, las cantidades excesivas

pueden dañar la calidad del agua. Con el fósforo, el exceso de nitratos puede causar la eutrofización, aumentando el crecimiento de las plantas acuáticas y cambiando la biodiversidad. Niveles elevados de nitratos (10 mg/l o más) pueden causar hipoxia y ser tóxicos para animales de sangre caliente en ciertas condiciones (Drinan y Spellman 2000).

#### **2.3.24. Potencial de Hidrógeno (pH)**

Según Lorena Bonilla de Torres (2015) el pH es la medida de los niveles de acidez o alcalinidad de una solución, en este caso del agua, y puede tener un impacto en algunos procesos que ocurren en el agua, y una agua con un pH inferior a 6,0 se considera corrosiva para los metales, sin embargo no necesariamente un pH bajo indica la presencia de ácidos, pueden ser causados por sales como las de aluminio. El pH es fundamental en los procesos de tratamiento de agua, especialmente en la coagulación, desinfección y estabilización.

#### **2.3.25. Arsénico (As)**

Es un metaloide se encuentra en el agua y en el suelo en forma natural, pero también es liberado por actividades económicas extractivas producto de la explotación de los recursos, como la actividad minera, la extracción petrolera, gasífera, maderera y combustión del carbón. Si bien es cierto que se puede encontrar en la naturaleza, es poco probable que se encuentre como un elemento puro, sin embargo existe en formas inorgánicas y orgánicas comúnmente en diferentes estados de oxidación, incluyendo (+3 y +5) que se encuentran presentes en suelo, agua y flora (Raisbeck, 2008). En cuanto a su toxicidad, es muy perjudicial y causante de cáncer, incluso en concentraciones bajas, lo que puede resultar letal. También puede causar efectos a largo plazo en la salud a través del consumo de agua a concentraciones bajas durante períodos prolongados (de Esparza, 2006).

#### **2.3.26. Aluminio (Al)**

Según Delhaize & Ryan (1995) el aluminio es un metal que representa cerca del 7% de la masa de la corteza terrestre; y aunque la exposición oral a este elemento usualmente no es perjudicial, algunos estudios desarrollados han demostrado evidencia de vinculación entre la forma de vida en zonas con alta presencia de aluminio en el agua potable y un riesgo mayor de enfermedad de Alzheimer (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2008). Sin embargo, en otros estudios no han encontrado este tipo de vinculación, por lo que se mantiene

el riesgo de padecer algún tipo de condiciones médicas a largo plazo en las personas expuestas a este elemento.

### **2.3.27. Manganeseo (Mn)**

Este elemento, es un metal y es considerado entre los más abundantes de nuestro planeta, y se ha demostrado que cuando su presencia está vinculado al hierro; el manganeso es empleado para fabricar aleaciones de hierro y acero, también como un oxidante para limpiar, blanquear y desinfectar (en la forma de permanganato de potasio), así como un insumo para fabricar otros proyectos (World Health Organization).

### **2.3.28. Hierro (Fe)**

Este elemento es el metal más común (en términos de masa) en nuestro planeta, componiendo la mayoría del núcleo interno; además es el segundo metal que más abunda en el planeta y es el cuarto más común en la corteza terrestre (Acevedo & Frías, 2018). Debido a que el cuerpo humano no posee maneras efectivas de excretar grandes cantidades de hierro (Forrellat, Gautier du Défaix, & Fernández, 2000), se puede encontrar en el agua en forma de “hierro orgánico quelatado”, “bicarbonato ferroso”, “hidróxido ferroso” o “sulfato ferroso”. Además, el hierro es un elemento esencial y no dañino para el metabolismo, sin embargo es recomendable consumir entre 7 y 35 mg al día (Romero, 2002).

### **2.3.29. Cadmio (Cd)**

Para Nordberg, (2012) este elemento es conocido por su resistencia a la corrosión, lo que lo hace adecuado para ser utilizado en la electrodeposición de metales como hierro y acero. Para prevenir la corrosión, elementos como pestillos, tornillos, automóviles y algunas de las partes de las aeronaves comerciales son fabricadas con este elemento.

### **2.3.30. Plomo (Pb)**

Para Juberg (1997) es considerado como uno de los metales pesados, de tonalidad gris plateado, ubicuo y se puede detectar de varias formas en la naturaleza, ya sea en el aire, agua y suelo, e inclusive puede estar presente en gran parte de los sistemas biológicos; además, es uno de los elementos más comunes junto con otros metales, pero es poco probable que se encuentre de forma natural.

En tanto, para Tiwari, Tripathi, & Tiwari (2013) los efectos tóxicos del plomo en el ambiente y la salud son un problema debido a su estabilidad en el lugar infectado y la complejidad en la toxicidad biológica, de manera especial cuando ha sido catalogado como un elemento peligroso para los infantes, lo que puede resultar en problemas intelectuales cuando hayan concentraciones fuera de lo normal en los fluidos corporales.

### **2.3.31. Cobre (Cu)**

Entre las fuentes de contaminación de agua más comunes que producen las actividades económicas extractivas son la creación de aguas ácidas, como resultado de la asociación entre minerales sulfuros con H<sub>2</sub>O y el O<sub>2</sub> en el aire. La oxidación de la pirita (uno de los minerales sulfuros) de las operaciones de la minería, la superficie de roca, las arenas de los vertederos, las balsas de lodos con disolución de metales; genera contaminación por metales como hierro, manganeso, zinc y cobre. (Ciencia y la Cultura - UNESCO).

### **2.3.32. Mercurio (Hg)**

Este elemento se suele encontrar en su forma más natural en la corteza terrestre, proviene mayormente de fuentes naturales geológicas como la actividad volcánica y la erosión rocosa, asimismo puede ser causado por la actividad de los seres humanos, como la quema de carbón que se da en las centrales eléctricas y calefactores, también producto de los procesos industriales, de la incineración de residuos y de las actividades extractivas de mercurio, oro y otros metales; por ello la actividad humana se consolida como la principal fuente de emisiones de mercurio al ambiente, pero también la minería artesanal del oro suele ser la principal causa de la contaminación por mercurio en muchos lugares (EPA - Mercury and Health).

### **2.3.33. Zinc (Zn)**

La solución de este elemento en H<sub>2</sub>O es función de la concentración de carbono inorgánico total y el pH, por lo que analógicamente el carbonato básico de zinc disminuye cuando se incrementa el peróxido de hidrógeno y la concentración carbónica; en tanto en aguas donde el pH es más alcalino (bajo), un incremento de este a una media de 8.5 debe ser suficiente para disolver el zinc (World Health Organization).

### **2.3.34. Sólidos suspendidos totales (SST)**

El material suspendido en una muestra de agua se determina mediante la ósmosis de la misma por medio de un filtro con un tamaño de poro por debajo de las dos micras (Perez, 2010). Los SST son útiles para evaluar la cantidad de contaminantes presentes en el agua, así como para medir la eficacia de las unidades de tratamiento en especial las etapas de sedimentación primaria, pudiendo identificar la cantidad de la carga de contaminantes en las etapas biológicas del tratamiento (Vargas, 2010).

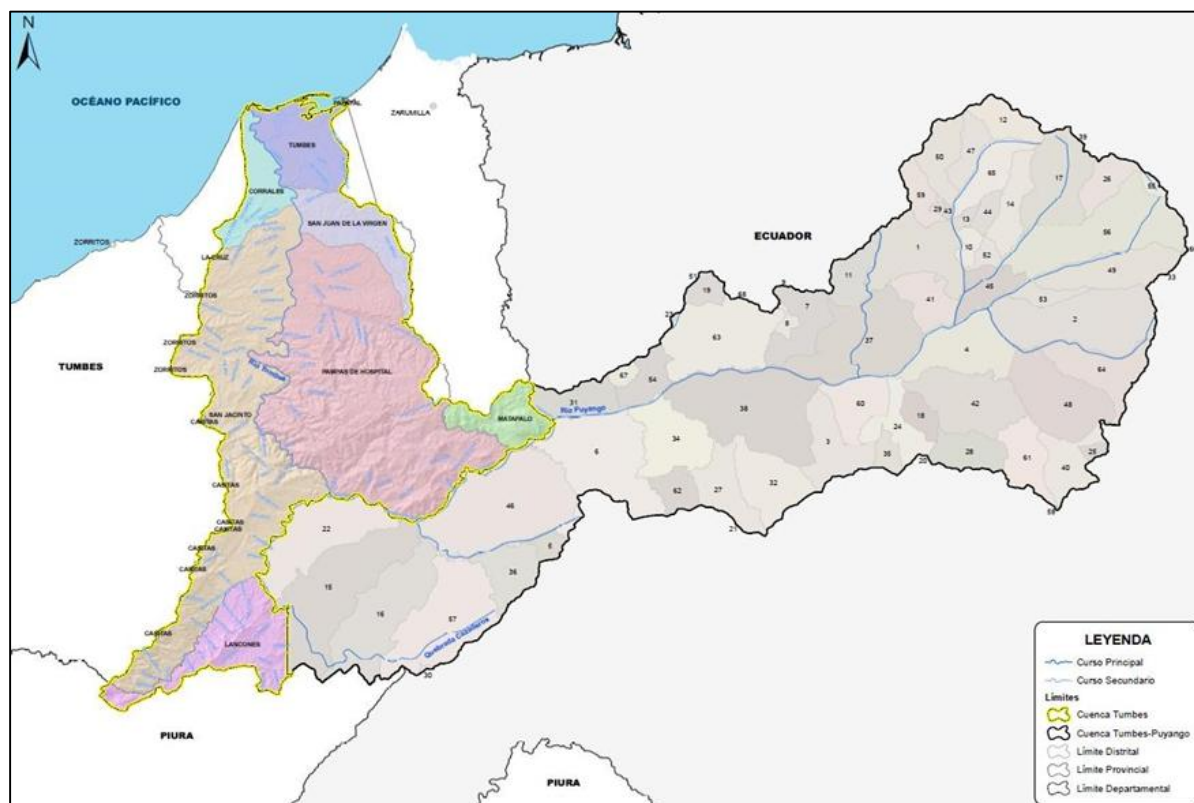
## **2.4. Características del área de estudio**

### **2.4.1. Ubicación Geográfica**

La cuenca hidrográfica transfronteriza Puyango-Tumbes, se ubica en la zona noreste del Perú y suroeste de Ecuador, geográficamente el área de la cuenca se localiza entre los paralelos 3° 38' a 4° 15' de latitud sur y 79°22' a 80°40' de longitud norte, de acuerdo con el sistema de coordenadas geográficas WGS 1984. Esta cuenca posee un área de 5 443,996 km<sup>2</sup>, de los cuales el 67 % (3 637,843 km<sup>2</sup>) se encuentran en territorio ecuatoriano y 33 % (1 806,1527 km<sup>2</sup>) en el Perú. Comprende de lado peruano los territorios de las regiones de Tumbes y Piura, y por el lado ecuatoriano, las provincias de “El Oro” y “Loja”.

La unidad hidrográfica Tumbes (1394), posee un área de 1 806,1527 km<sup>2</sup> y un perímetro de 372,518 km. Limita por el norte con el océano Pacífico; por el sur, con la cuenca Chira (138); por el este, con la Intercuenca 13951, cuenca Zarumilla (13952) y el Ecuador, y por el oeste, con las cuencas Fernández (13932) y Bocapán (13936) y la Intercuenca 13939.

**Figura 1.** Distritos que comprende la cuenca hidrográfica transfronteriza Puyango-Tumbes



**Nota:** Extraído de ANA (2012). Instituto Geográfico Nacional al 2020 adaptado a la U.H. Tumbes. Elaborado por ANA-DCERH, 2022.

## 2.4.2. Hidrografía

La cuenca hidrográfica Puyango-Tumbes está en una región compartida por Perú y Ecuador con un área de drenaje de aproximadamente 5.443.996 km<sup>2</sup>, de los cuales el 33% está en territorio nacional. La longitud del río principal que registra esta cuenca transfronteriza es de 253.01 km en total (desde su nacimiento hasta su desembocadura), de los cuales 170.09 km está en Perú. La cuenca presenta una densidad de drenaje de 1,05 km/km<sup>2</sup>, con una pendiente colinada promedio del 31%. El terreno varía desde relieves montañosos generalmente encontrados en la cabecera de las cuencas hasta plano en las zonas bajas, y el cauce principal tiene una pendiente baja de 0.002 m/m, lo que hace que sea probable a inundaciones (SENAGUA/ANA/GEF/PNUD, 2020)

La cuenca del río Tumbes comienza en las cordilleras de Chilla y Cerro Negro en el Ecuador, a una altitud de 3.500 metros sobre el nivel del mar. A medida que se desplaza hacia abajo, recibe el agua de varios arroyos y ríos, como el río Pindo o Grande. Cuando se llega a unir con el caudal del río Yaguachi, se le pasa a denominar como río Puyango. A medida que continúa su curso, recibe la quebrada Cazaderos, cambiando su nombre a río Tumbes y gira

hacia el norte, recorriendo 92.48 km antes de desembocar en el océano Pacífico en territorio peruano.

Los arroyos y ríos que más aportan agua al río Tumbes son, por su orilla derecha, las quebradas La Angostura, Las Peñas, Cabuyal, Guanábano y Garzas; mientras que por su orilla izquierda, las quebradas Colorado, Vaquería, Higuierón, Ucumares y Jardín. La quebrada Cazaderos es la fuente de agua más importante durante los periodos de lluvia.

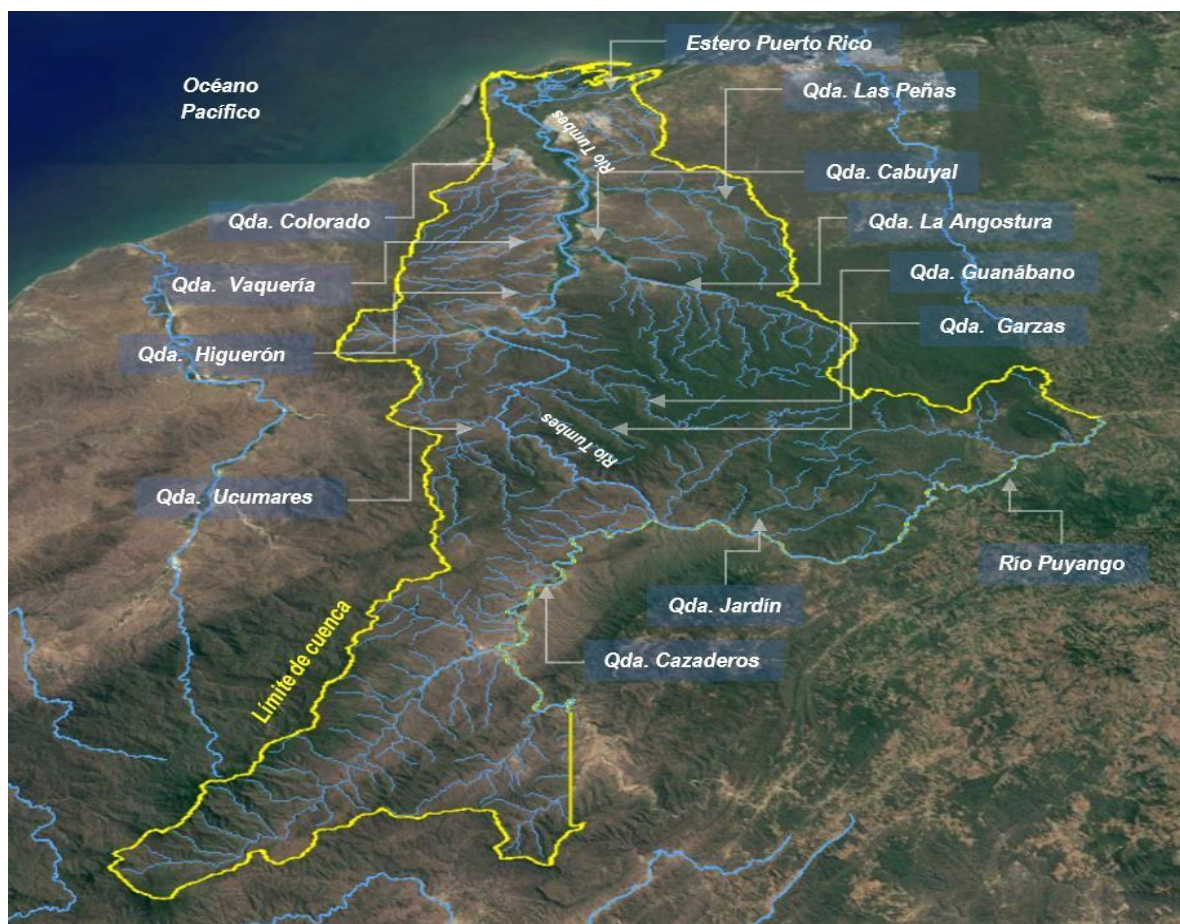
**Tabla 3.** *Unidad Hidrográfica Cuenca Tumbes: Características generales*

Características	Descripción
Vertiente hidrográfica	Pacífico
Nombre de la Unidad Hidrográfica Mayor	<b>Unidad Hidrográfica Cuenca Tumbes</b> (código Pfafstetter <b>1394</b> )
Superficie (km <sup>2</sup> )	1 806 km <sup>2</sup>
Código Pfafstetter de la Unidad Hidrográfica mayor	1394
Ámbito Administrativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AAA de Jequetepeque Zarumilla V</li> <li>• ALA de Tumbes</li> </ul>
Limites departamentales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Norte:</b> Océano Pacifico.</li> <li>• <b>Sur:</b> Ecuador.</li> <li>• <b>Este:</b> Con la provincia de Tumbes y los distritos de Pampas de Hospital y San Juan de la Virgen.</li> <li>• <b>Oeste:</b> Con los distritos de Corrales y San Jacinto.</li> </ul>
Ámbito de influencia político	Región Tumbes
Río Principal	Río Tumbes
Longitud del río principal	230 km
Principales tributarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Margen derecha:</b> “Quebradas las Peñas, Angostura, Guanábano y Garzas”.</li> <li>• <b>Margen izquierda:</b> “Quebradas Colorado, Cristales. La Jardina, Vaquería, Higuierón y Ucumares, siendo la fuente más importante en la época de avenidas la quebrada de Cazaderos”.</li> </ul>

**Nota:** *Elaboración propia.*

En la Figura 2 se puede observar una vista panorámica de la unidad hidrográfica Tumbes (1394) lado peruano, en donde se aprecia la variación topográfica que predomina en la zona, los cursos de agua naturales y el límite de cuenca.

**Figura 2.** Vista general de la unidad hidrográfica Tumbes (1394) lado peruano



**Nota:** Earth Google, 2022; ANA, Catálogo de Metadatos, 2022.

### 2.4.3. Población

Para la estimación poblacional de la unidad hidrográfica Tumbes, se utilizó como fuente la información procesada de los datos finales de la población censada en el “XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas” publicados por el INEI (2017), la cual fue adaptada al ámbito territorial de la U.H., en función de los centros poblados que se ubican dentro de ella.

Alrededor de 139 843 personas habitan en la unidad hidrográfica Tumbes (1394). En el Cuadro 4 se muestra la distribución de la población por distrito que contiene centros poblados identificados por el INEI. Se puede observar que, el 86 % de la población (120 031 habitantes)

se encuentra en los distritos de Tumbes y Corrales; mientras que, los distritos de “Pampas de Hospital”, “San Jacinto” y “San Juan de la Virgen” solo albergan el 14% (19 812 habitantes) del total de la unidad hidrográfica. Los distritos mencionados pertenecen a la provincia y departamento de Tumbes; sin embargo, la unidad hidrográfica Tumbes, abarca además parte de los distritos de Lancones en la provincia de Sullana y departamento de Piura; y Zarumilla en la provincia de Zarumilla, departamento de Tumbes, en los cuales no se registraron habitantes en estas zonas.

En el departamento de Tumbes, la población total es de 224,863 personas. A lo largo del tiempo, la distribución poblacional por zonas geográficas ha cambiado; ya que en los años 40, la mayoría de la población vivía en zonas rurales, representando el 58.4% de la población total del país. Sin embargo, en el año 2017 esta cifra resultará significativamente, y solo el 6,3% de la población total vive en áreas rurales. Debido a esto, el Banco Central de Reserva del Perú (2021) indicó que Tumbes es el segundo departamento con mayor población urbana, solo después de Lima. La población en la cuenca Tumbes (1394 hab.), perteneciente al departamento de Tumbes, representa el 62 % de la población censada en el departamento. Cabe señalar que de los 7 distritos que comprenden la U. H. Tumbes, solo 3 de ellos cuentan con población identificada dentro de la cuenca.

**Tabla 4.** Población por distrito, U. H. Tumbes (1394)

Departamento	Provincia	Distrito	Población censada INEI (Hab.) 1/	Población censada en la U. H. (Hab.) 2/	Porcentaje (%) Hab. en la U. H. 3/
Piura	Sullana	Lancones	12 119	0	0 %
Tumbes	Tumbes	Corrales	23 337	19 036	81,6 %
		Pampas de Hospital	6 728	6 728	100 %
		San Jacinto	8 512	8 512	100 %
		San Juan de La Virgen	4 572	4 572	100 %
		Tumbes	102 306	100 995	98,7 %
	Zarumilla	Matapalo	3 428	0	0 %
<b>Total</b>				<b>139 843</b>	

**Nota:** Adaptado a la unidad hidrográfica Tumbes. 1/ Población determinada en el distrito. 2/ Población determinada por el cruce de información del distrito y la unidad hidrográfica. 3/ Relación que tiene (2/) con respecto de (1/), es decir, el porcentaje de población determinada por el cruce de información

*del distrito y la U. H. con la población total del distrito. Fuente: INEI, 2017. Elaborado por: Elaboración Propia.*

#### **2.4.4. Actividades productivas, extractivas y de servicios.**

Dentro de las actividades económicas primarias se encuentran la agropecuaria, pesquera y acuícola, y como actividades secundarias, destacan la construcción e industria. Así mismo, se resalta la actividad turística ya que existen importantes recursos naturales como playas, estéreos, manglares, áreas naturales protegidas, flora, fauna, aguas termales-medicinales, entre otros, para el desarrollo de este sector. Su límite con el Ecuador favorece su economía que en parte se sustenta en la agricultura y comercio.

Según las características de empleo formal a enero 2021, la mayor parte de la población económicamente activa en el departamento de Tumbes se enfoca en el ofrecimiento de servicios como salud, educación, y seguridad, así como en el comercio tanto al por mayor como al por menor, la industria alimentaria, la industria hotelera y de la restauración, el transporte, la comunicación y las finanzas. El sector primario es el segundo con mayor ocupación de mano de obra: agricultura, ganadería, pesca, caza, silvicultura y minería; y el tercero en importancia es el sector secundario: construcción y manufactura (MTPE, 2021).

Cabe precisar, que muchas de las actividades económicas dependen en gran medida del recurso hídrico, ya sea por su uso primario, poblacional o productivo, siendo estos ejercidos a través de los derechos del uso del recurso hídrico por la ANA.

##### **2.4.4.1. Agricultura**

En el “IV Censo Nacional Agropecuario” del 2012 se indica que en el departamento de Tumbes hay 22,8 mil hectáreas destinadas a actividades agropecuarias, de las cuales el 92,1% (21 mil hectáreas) está sembrado. Unas 200 hectáreas se utilizan para pastos naturales, 1.400 hectáreas para bosques y montes, y otras 200 hectáreas se destinan a otros usos. Tumbes es el octavo productor nacional de cultivos como arroz, plátano y limón, y su mayor proporción de tiene como destino el mercado peruano en lugares como la ciudad blanca, la ciudad del eterno sol, la tierra del kin kon y la capital nacional (BCR, 2021)

#### **2.4.4.2. Pesca y acuicultura**

Según PRODUCE (2022), Tumbes es reconocido nacional e internacionalmente por su producción de especies hidrobiológicas como langostinos, calamares, cangrejos y conchas negras (la actividad acuícola se basa en la extracción de langostinos).

#### **2.4.4.3. Comercio**

Esta actividad se constituye como el segundo sector de mayor importancia en el departamento de Tumbes es el comercio, debido a la ubicación estratégica que tiene, ha permitido la recepción de turistas extranjeros que solicitan bienes y servicios. Además, el comercio en los últimos 10 años se ha impulsado e incrementado en la zona fronteriza ecuatoriana, lo que se ha convertido en una actividad bidireccional (BCR, 2021).

#### **2.4.4.4. Turismo**

En 2020, el Banco Central de Reserva (2021) el número de turistas en Tumbes disminuyó un 62,0% con respecto a 2019 debido a la contención de la propagación del COVID-19. Este indicador creció en promedio un 11,5% anual en el período 2010-2019. La cuenca es rica en patrimonio natural, cultural y paisajístico que atrae a turistas locales y extranjeros; algunos de los principales atractivos turísticos son: el paisaje a orillas del río Tumbes, sí como los paseos en bote por este río y la vista de los manglares en Puerto Pizarro y El Algarrobo. Algunas de las zonas en las que se puede practicar la caza y la pesca como son “Puerto Pizarro, Zorritos, Caleta Grau, Caleta Acapulco, Punta Sal, Punta Mero, Cancas, Bosque Nacional, Parque Nacional Cerros de Amotape (Casitas), Aguas Termales de Santa Clarita (Casitas) y el Complejo Cabeza de Vaca”.

#### **2.4.4.5. Minería**

Un total de 45 concesiones mineras otorgadas por el Ministerio de Energía y Minas [MINEM], se encuentran distribuidas en su totalidad en la parte baja de la cuenca, sobre la unidad hidrográfica de nivel 5 - Bajo Tumbes. Se puede identificar que 53,15 km<sup>2</sup> (3%) del área de cuenca se encuentra concesionados. Los minerales predominantes son los no metálicos (agregados de construcción -material para afirmado). Las actividades de explotación de estos minerales son esporádicas, las cuales dependen de la demanda para su comercialización y de

las condiciones climáticas. En el departamento de Tumbes, el potencial minero se encuentra en áreas protegidas, como el “Parque Nacional de Cerros de Amotape” y por lo mismo donde se sitúan no se puede explotar y no tiene potencial económico formal en esta actividad.

Esta actividad, es representativa y significativa en la cuenca desarrollándose principalmente en espacio ecuatoriano (parte alta de la Cuenca Puyango - Tumbes), específicamente en los cantones “Zaruma”, “Portovelo”, “Piñas” y “Atahualpa”, pertenecientes a la provincia de El Oro. Cabe resaltar que la minería metálica consiste, fundamentalmente, en explotar la tierra que se ha comprobado tiene minerales como el oro, plata y cobre, que tienen un valor elevado en la industria. (SENAGUA/ANA/GEF/PNUD, 2020)

#### 2.4.5. Áreas naturales protegidas (ANP)

Las reservas naturales son áreas terrestres y/o marinos ubicados en territorio nacional, claramente reconocidas y declaradas, las cuales incluyen categorización y zonificación para proteger la diversidad biológica y otros valores culturales, paisajísticos y científicos relacionados, así como en reconocimiento a su contribución sostenible al desarrollo del país.

En el ámbito de la unidad hidrográfica Tumbes Cuenca Tumbes, se localizan parte de 4 áreas Naturales Protegidas, cuyas extensiones abarcan un 79% del área de la cuenca. Se identifican: 01 parque nacional, 01 reserva nacional, 01 área de conservación regional y 01 coto de caza.

- **Parque Nacional Cerros de Amotape.** Aprobado por D.S. N°0800-75-AG, el 22 de julio de 1975, el cual solo el 48,7 % se sitúa dentro de la U.H. Tumbes.
- **Reserva Nacional de Tumbes.** Aprobado por Decreto Supremo N.° 046-2006-AG, el 07 de julio de 2006, el cual se emplaza al 100 % dentro de la U. H. Tumbes.
- **Coto de caza El Angolo.** Aprobado por Decreto Supremo N.° 0264-1975-AG, el 01 de julio de 1975, el cual solo el 0,61 % se sitúa dentro de la U. H. Tumbes.
- **Área de conservación regional Angostura Faical.** Aprobado por Decreto Supremo N.° 006-2011-MINAM, el 18 de marzo de 2011, el cual solo el 47,24 % se emplaza dentro de la U. H. Tumbes.

**Tabla 5.** Áreas Naturales protegidas, unidad hidrográfica Tumbes

Área Natural Protegida (ANP)	Área (Km <sup>2</sup> )	Área de la ANP en la U.H.(Km <sup>2</sup> )	Porcentaje del Área en la U. H. (%)
------------------------------	-------------------------	---	-------------------------------------

<b>Área De Conservación Regional</b>	87,94	41,55	47,2
<b>Total</b>	<b>87,94</b>	<b>41,55</b>	<b>47,2</b>
<b>Coto de Caza El Angolo</b>	492,61	0,27	0,1
	153,33	3,71	2,4
<b>Total</b>	<b>645,93</b>	<b>3,98</b>	<b>0,6</b>
<b>Parque Nacional Cerros de Amotape</b>	253,46	188,09	74,2
	607,16	314,37	51,8
	3,21	3,21	100,0
	83,40	77,69	93,2
	5,99	5,24	87,6
	564,45	313,11	55,5
	918,05	285,01	31,0
<b>Total</b>	<b>2435,73</b>	<b>1186,73</b>	<b>48,7</b>
<b>Reserva Nacional de Tumbes</b>	124,54	124,41	100,0
	4,67	4,67	100,0
	7,93	7,93	100,0
	52,90	52,90	100,0
	2,63	2,63	100,0
<b>Total</b>	<b>192,67</b>	<b>192,54</b>	<b>99,9</b>

**Nota:** *Elaboración propia; extraído de GEO ANP SERNANP, 2022.*

## 2.5. FUENTES CONTAMINANTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Una Fuente de Contaminante (FC) de los recursos hídricos es toda contaminación que, llegando directa o indirectamente a las aguas superficiales o subterráneas, puede alterar el estado natural de las especies (físico, químico y biológico), lo que afecta su capacidad de uso e influencia en las condiciones acuáticas.

La identificación actualizada de las fuentes de contaminación en el contexto de la Unidad Hidrológica Tumbes se encuentra documentada en el Informe Técnico N.º 002-2021-ANA-AAA.JZ-ALA.T/DYGF cumpliendo los “Lineamientos para la Identificación y Seguimiento de Fuentes Contaminantes relacionadas a los Recursos Hídricos” aprobado por Resol. Jefatural N°136-2018-ANA, que categoriza las fuentes de contaminación según su origen, naturaleza y tipo (ver cuadros 06, 07 y 08), también especifica que se deben codificar estas fuentes para ser ubicadas eficazmente en las unidades hidro geográficas correspondientes.

**Tabla 6.** *Clasificación de las fuentes contaminantes*

Por su origen	Por su naturaleza	Por su tipo
F.C. Natural	Aguas Naturales	Aguas mineromedicinales (termales, minerales, termo-minerales) que provienen de los derretimientos de glaciales y aguas de drenaje pluvial.
	Depósitos Naturales	Depósitos no minerales como sal y carbón
F.C. Antropogénica	Aguas Residuales	Aguas usadas en diversos sectores, como el agroindustrial, agropecuario, doméstico, energético, hospitalario, industrial, minero-metalúrgico, municipal, de rechazo (salmuera), de limpieza y mixtas
	Residuos Sólidos	Aguas residuales que pueden ser gestionadas por el municipio o no, y que pueden ser consideradas peligrosas o no peligrosas
	Sustancias descargadas insitu	Aguas residuales resultantes de diversas actividades, como el lavado de ropa, vehículos, agregados (no metálicos), material de acarreo, cilindros, plásticos, alimentos, incorporación de alimentos para peces en jaulas de cultivo, descarga y trasiego de combustible, y descargas fortuitas (derrames)

**Nota:** *Lineamientos para la identificación de fuentes contaminantes relacionado a los recursos hídricos, aprobada con RJ. N°136-2018-ANA.*

**Tabla 7.** *Fuentes contaminantes de origen antropogénico según su tipo*

Naturaleza	Tipo	Ejemplos
<b>Aguas residuales</b>	A.R. Agropecuarias	Aquellas que provienen cuando se drenan las aguas de riego, o aquellas que vienen de las granjas

	A.R. Agroindustrial	Aquellas que son producto del lavado de las verduras, frutas, e inclusive del lavado de algunos empaques, depósitos o jabas.
	A.R. Domésticas	Aquellas que tienen su origen en edificaciones residenciales, comerciales o institucionales.
	A.R. Municipal	Aquellas aguas residuales provenientes de PTAR de municipios distritales principalmente, que incluyen mezcla de aguas de drenaje pluvial e industriales.
	A.R. Industrial	Aquellas que tienen como origen las empresas industriales, entre las cuales están los camales, la industria surtida, bebidas, siderúrgicas, textiles, químicos, etc.
	A.R. Minero metalúrgica	Aquellas que provienen de operaciones en los campamentos mineros (en cualquiera de sus fases, tajo, generación o depósito de relaves, etc.)
<b>Residuos sólidos</b>	R.S. De Gestión municipal	Aquellos que son producto de las actividades del hogar, como los restos de alimentos, papelería, plásticos, descartables, etc. Aquellos que provienen del sector comercial, en sus distintos rubros y los que son producto de actividades que generan residuos sólidos similares al papel, embalaje, aseo, etc.
	R.S. Peligrosos de Gestión no Municipal.	Aquellos residuos metálicos que tengan compuestos de Pb o Hg. Aquellos residuos provenientes de hospitales, clínicas o pasivos mineros. Aquellos plaguicidas, herbicidas o los provenientes de fabricas de productos químicos.
	R.S. No Peligroso de Gestión no Municipal.	Aquellos desechos de construcción y demolición; residuos eléctricos y electrónicos; residuos industriales, siendo fiscalizados por el sector competente.
<b>Sustancias descargas in situ (I.S)</b>		Aquellos que son producto de ciertas actividades que se realizan a orillas de los cuerpos de agua, como el lavado de autos, ropa, etc. así como también aquellos materiales producto de derrames y descargas de combustibles.

**Nota:** Lineamientos para la identificación de fuentes contaminantes relacionado a los recursos hídricos, aprobada con R.J. N°136-2018-ANA.

**Tabla 8.** Naturaleza y tipo de fuentes contaminantes

Naturaleza de la FC	Tipo de la FC
AN: Aguas Naturales	MT: Aguas termales (minero medicinal) MM: Aguas minerales (minero medicinal) TM: Agua termo-mineral (minero medicinal)

DN: Depósitos Naturales	MS: Minas de sal MC: Minas de carbón DN: Depósitos no metálicos
AR: Aguas Residuales	AI: Aguas agroindustriales AP: Aguas agropecuarias DO: Aguas domesticas EN: Aguas energéticas HO: Aguas hospitalarias IN: Aguas industriales MM: Aguas minero metalúrgicas MU: Aguas municipales
RS: Residuos Solidos	GM: Gestión municipal GP: Gestión no municipal peligrosos GN: Gestión no municipal no peligrosos
IS: Sustancias dispuestas “In situ”	Se condificacrán indicando las iniciales de las actividades registradas “in situ”, por ejemplo: LR: Lavado de ropa LV: Lavado de vehículos DH: Derrame de hidrocarburos LN: Lavado de material no metálico, etc.

**Nota:** Lineamientos para la identificación de fuentes contaminantes relacionado a los recursos hídricos, aprobada con RJ. N°136-2018-ANA.

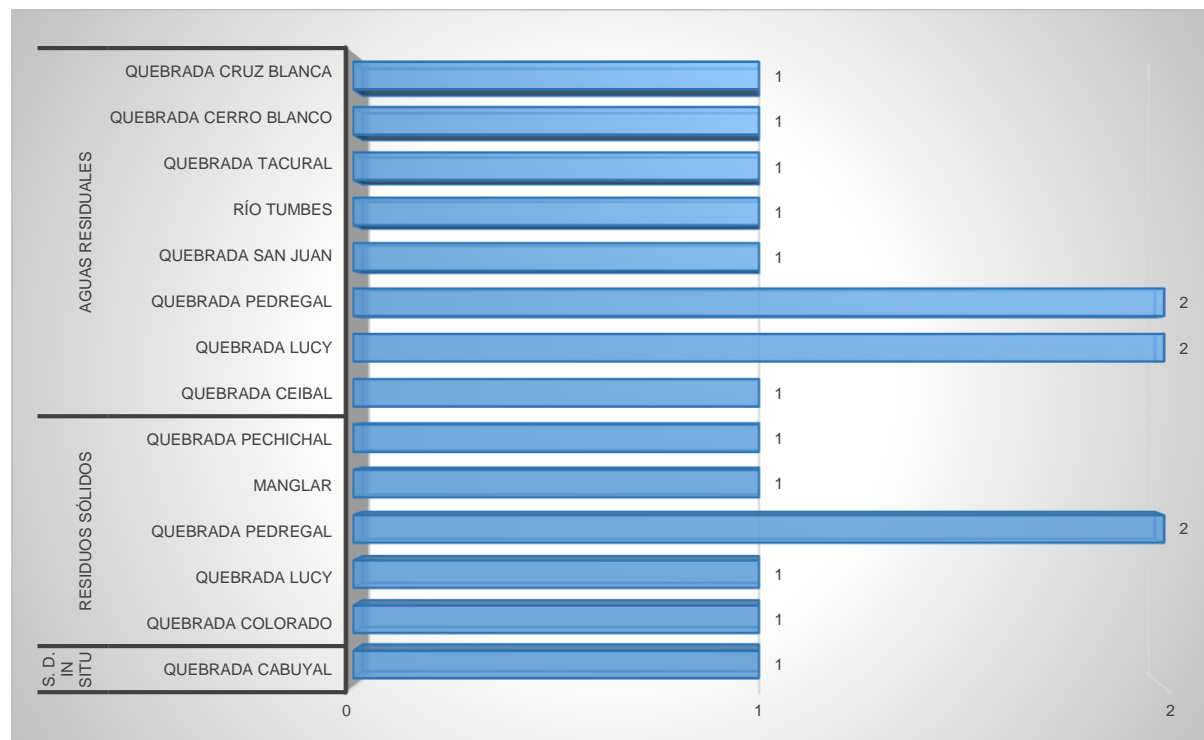
En ese contexto, en la cuenca Tumbes, se han identificado 17 fuentes contaminantes (basado en el acta de uniformización de fuentes contaminantes de la U. H. Pampas, al 2019) las cuales se presentan en el Tabla 9 y Figura 3.

**Tabla 9.** Fuentes contaminantes por naturaleza y tipo en la UH 1394, Cuenca Tumbes, 2019

Naturaleza y tipo de fuente contaminante	Número
<b>Aguas residuales</b>	<b>10</b>
Domésticas	6
Municipales	4
<b>Residuos sólidos</b>	<b>6</b>
Gestión municipal	5
Gestión no municipal no peligrosos	1
<b>Sustancias dispuestas <i>in situ</i></b>	<b>1</b>
Lavado de vehículos	1
<b>Total</b>	<b>17</b>

**Nota:** Elaboración propia; extraído de Autoridad Nacional del Agua- ALA Tumbes.

**Figura 3.** Fuentes contaminantes por Recurso Hídrico, 2019

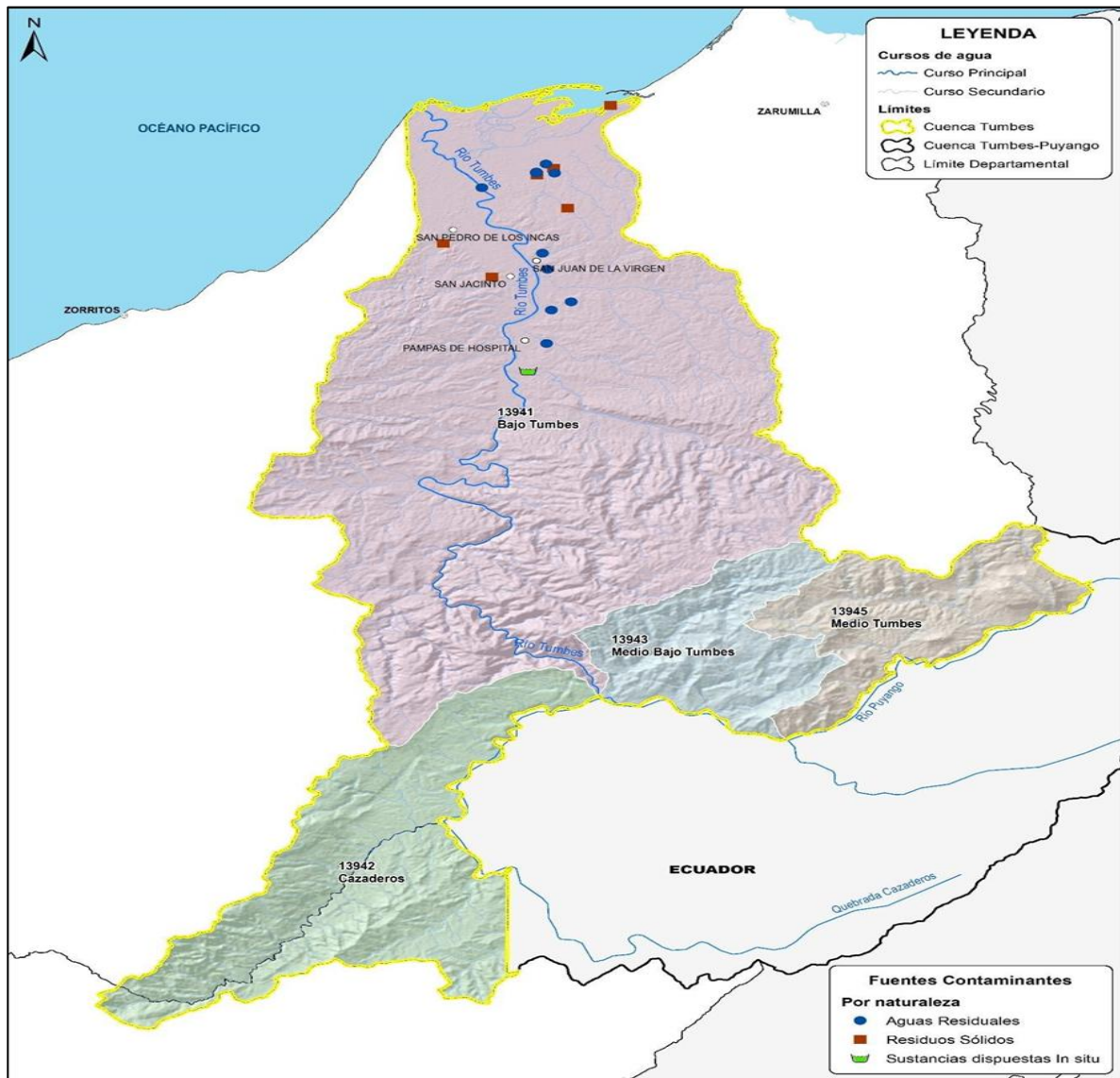


**Nota:** Elaboración propia; extraído de Autoridad Nacional del Agua- ALA Tumbes.

En la Figura 4, se esquematiza la distribución de las fuentes contaminantes; el cual describe que, del total de 17 fuentes contaminantes, el 58.82 % corresponde a aguas residuales, el 35.29 % corresponde a residuos sólidos y el 5.88 % corresponde a sustancias descargadas in situ.

Es importante mencionar que, respecto a vertimientos de aguas residuales, tanto municipales y domésticas, la mayoría tienen sistemas de tratamiento ineficientes y no cuentan con instrumentos de gestión ambiental aprobado por el sector correspondiente. Así mismo, de las fuentes contaminantes asociadas a residuos sólidos, estos en su mayoría son dispuestos en lugares inadecuados como, en las riberas y cauces de los cuerpos naturales de agua superficial.

**Figura 4.** Fuentes contaminantes por naturaleza, Cuenca Tumbes



**Nota:** Elaborado por ANA-DCERH, 2022. Extraído del Acta de uniformización de fuentes contaminantes de la U. H. Tumbes, al 2019.

### **CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1. Tipo de investigación**

Este estudio es de carácter aplicada, ya que pretende conocer el proceso de aplicación de la metodología del ICARHS.

### **3.2. Método de investigación**

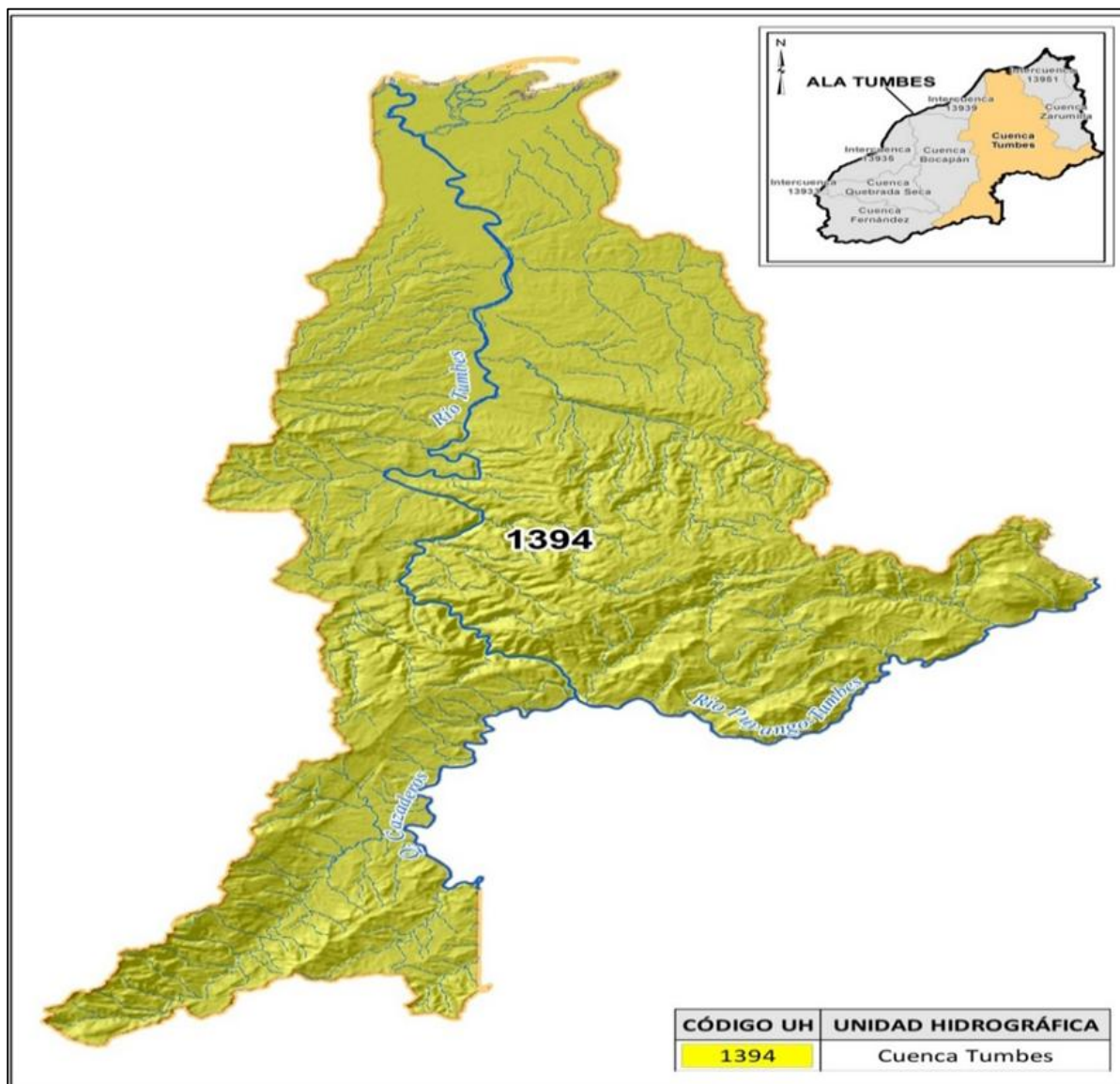
Siguiendo el tipo de investigación, el diseño se orienta por ser descriptivo, ya que se pretende describir aquellos parámetros medioambientales en un determinado tiempo y espacio, para lo cual se empleará la metodología ICARHS con la finalidad de evaluar la información resultante de los monitoreos de la “calidad del agua superficial” de la cuenca de Tumbes resultante de las actividades de control y vigilancia a cargo de la Administración local del agua Tumbes periodo del 2016 – 2020.

### **3.3. Descripción del área de estudio**

La Unidad Hidrográfica (U.H.) Tumbes, está localizada en la zona norte del país y abarca los distritos tumbesinos de Corrales, San Juan de la Virgen, San Jacinto y Pampas de Hospital. Forma parte de la cuenca transfronteriza Puyango-Tumbes (Ecuador-Perú), abarcando un área de 4,850 km<sup>2</sup>, y de estos alrededor de 1,800.00 km<sup>2</sup> se sitúan en nuestro país. Nace con el nombre de Río Pindo a una altura de 3,500msnm en las mesetas de Chilla y Cerro Negro (Portovelo); en la cabecera existen varias quebradas que recorren comenzando con la cordillera de Chilla y Cerro Negro en el país ecuatoriano, principalmente. Posteriormente, cuando junta su cauce con el Río Yaguachi se comienza a llamar Río Puyango, y 100km más adelante se junta con la quebrada Cazaderos para constituir el Río Tumbes.

La zona alta de la cuenca del río Puyango-Tumbes se conforma de los ríos tributarios “Calera”, “Moro Moro”, “Amarillo” (por el lado derecha), “Yaguachi”, “Ambocas” y “Cazaderos” (por el lado izquierdo), en tanto en territorio nacional, los afluentes son las quebradas: “Las Peñas”, “Angostura”, “Guanábano”, “Grazas” (por la parte derecha), “Colorado”, “Cristales”, “La Jardina”, “Vaqueríam Higuierón” y “Ucumares” (por la margen izquierda), de las cuales la más importante es la Quebrada Cazaderos. Sus aguas constituyen la principal fuente de abastecimiento para la ejecución de las actividades productivas, de servicios y consumo poblacional de las provincias de Tumbes en Perú, y El Oro en Ecuador.

**Figura 5.** Unidad hidrográfica 1394 – Cuenca Tumbes



**Nota:** Autoridad Nacional del Agua (ANA) – Autoridad Administrativa del Agua Jequetepeque Zarumilla V – Administración Local de Agua Tumbes.

### 3.4. Población, muestra y muestreo

#### 3.4.1. Población

La unidad de análisis son los registros de información disponible en la “Autoridad Nacional del Agua”, y la “Administración Local de Agua” de Tumbes, relacionado con los Informes Técnicos que han sido resultado de los monitoreos de Calidad de los Recursos Hídricos en la cuenca Tumbes realizados entre los años 2016 al 2020.

### 3.4.2. Muestra

Se constituye con el conjunto de 13 puntos de muestreo establecida en la cuenca Tumbes y los resultados de las veinte (20) medidas fisicoquímicas y microbiológicas, requeridos según la clasificación del cuerpo de agua (Cuenca Tumbes), asignada por la Autoridad Nacional del Agua.

Conforme a la Resolución Jefatural N°056-2018-ANA, que aprueba la “Clasificación de los Cuerpos de Aguas Continentales Superficiales”; en la cuenca Tumbes se tienen tres categorías de clasificación: “Categoría 4: Conservación del ambiente acuático”, “Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales” y “Categoría 1-A2: Poblacional y recreacional”, de acuerdo con lo establecido en el siguiente cuadro:

**Tabla 10.** *Unidad Hidrográfica Cuenca Tumbes: Clasificación de la U. H. Tumbes según la Autoridad Nacional del Agua, 2018*

Nombre del cuerpo de agua	Clasificación	Longitud del cuerpo de agua (km)	Código de la Unidad Hidrográfica	Nombre de la unidad hidrográfica
Río Tumbes	Categoría 4	44,5	1394	Cuenca Tumbes
	Categoría 3	11,5		
	Categoría 1 A2	36,5		
Quebrada Cazaderos	Categoría 4	33,4		
Río Puyango	Categoría 4	14,4		
	Categoría 4	29,8		

**Nota:** Autoridad Nacional del Agua (ANA) – Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA.

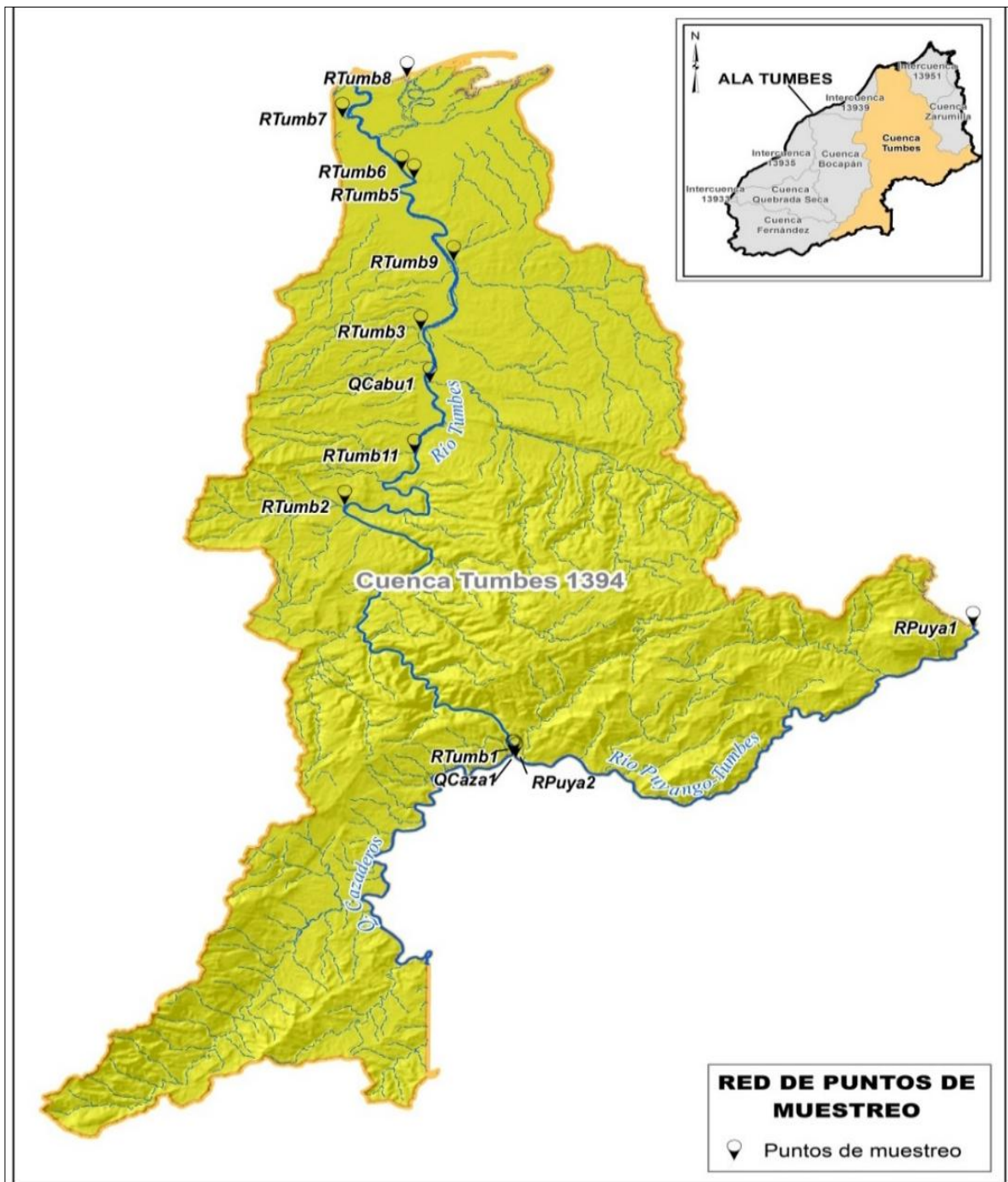
**Tabla 11.** *Red de puntos de muestreo en la Cuenca Tumbes y su clasificación*

Cuenca	Clasificación	Código final	Descripción	Este	Norte	Altitud
Tumbes	Cat.4-E2	RPuya1	Ubicado en el Hito “Cóndor Flores” a 200m río abajo de la quebrada “Linda Chara”	596655	9569934	266
		RPuya2	Situado aprox. A 200m antes de la confluencia con la Q Caza (Cabo Inga)	566844	9559748	143
		QCaza1	Ubicada a 50m antes de confluencia con el RPuya	566750	9559875	141

		RTumb1	Situado después de la unión con la QCaza	566754	9560045	146
		RTumb2	Se encuentra a 400m del puesto de salud de “Rica Playa”.	555893	9579583	56
<b>Cat.1-A2</b>		RTumb11	Ubicada en la Estación Hidrometeorológica El Tigre	560307	9583404	38
		QCabu1	Situada a 300m antes de unirse con el RTumb	561320	9588985	21
		RTumb3	Se localiza en la Bocatoma “La Peña”	560717	9593075	20
		RTumb9	Se encuentra río debajo de la Qda. “Las Peñas”	562706	9598555	19
		RTumb5	Ubicada en la Bocatoma de la captación de la EPS ATUSA (altura Parque El Beso)	560265	9604882	14
<b>Cat.3-D1/D2</b>		RTumb6	Se sitúa a 300m aprox. Después de la “caseta de bombeo de aguas servidas Coloma” de la ciudad de Tumbes (Canal Aductor La Tuna)	559457	9605611	3
		RTumb7	Localizada a 2km aprox. Antes de desembocar en el mar “Boca Mal Pelo”.	555611	9609685	3
		RTumb8	Se encuentra en la desembocadura “Boca Cherres”	559817	9612882	0

**Nota:** Autoridad Nacional del Agua – Administración Local de Agua Tumbes. De los códigos finales se sabe que RPuya: Río Puyango; QCaza: Quebrada Cazaderos; RTumb: Río Tumbes; QCabu: Quebrada Cabuyal.

**Figura 6.** Red de puntos de muestreo - Cuenca Tumbes



**Nota:** Autoridad Nacional del Agua – Administración Local de Agua Tumbes.

### 3.5. Técnicas, instrumentos, equipos y materiales de recolección de datos

La colecta de información se realizará a partir de información secundaria generada por la entidad competente, siendo esta la ANA, además de extraer datos relevantes de los monitoreos participativos referente a la “calidad de las aguas superficiales” del río Tumbes en

un período de cinco años hidrológicos: 2016 – 2020 (Ver Figura 7), la misma que es de carácter público al encontrarse en el Observatorio de la ANA.

**Figura 7.** Relación de Informes de monitoreos año 2016 - 2020

N°	Informe técnico	Año	Fecha de ejecución	Observación
01	I.T. N° 025-2016-ANA-AAA.JZ-V/FAY	2016	Del 28 de marzo al 01 de abril del 2016	1° monitoreo participativo sobre la calidad de las aguas superficiales en la cuenca de los ríos Tumbes y Zarumilla.
02	I.T. N° 047-2016-ANA-AAA.JZ-SDGCRH/FZAY	2016	Del 29 de agosto al 02 de setiembre del 2016	2° monitoreo participativo sobre la calidad de las aguas superficiales en la cuenca de los ríos Zarumilla y Tumbes
03	I.T. N° 039-2017-ANA-AAA.JZ-SDGCRH	2017	Del 07 al 11 de agosto del 2017	1° monitoreo participativo sobre la calidad de las aguas superficiales en la cuenca de los ríos Tumbes y Zarumilla.
04	I.T. N° 039-2018-ANA-AAA.JZ-TAVM	2018	Del 21 al 25 de noviembre del 2017	2° monitoreo participativo sobre la calidad de las aguas superficiales en la cuenca de los ríos Zarumilla y Tumbes
05	I.T. N° 057-2018-ANA-AAA.JZ-ALA.T-OEVZ	2018	Del 21 al 25 de mayo del 2018	1° monitoreo participativo sobre la calidad de las aguas superficiales en la cuenca de los ríos Tumbes y Zarumilla.
06	I.T. N° 111-2018-ANA-AAA.JZ- ALA.T-OEVZ	2018	Del 22 al 26 de octubre del 2018	2° monitoreo participativo sobre la calidad de las aguas superficiales en la cuenca de los ríos Zarumilla y Tumbes
07	I.T. N° 059-2019-ANA-AAA.JZ-ALA.T-OEVZ	2019	Del 15 al 24 de mayo del 2019	1° monitoreo participativo sobre la calidad de las aguas superficiales en la cuenca de los ríos Tumbes y Zarumilla.
08	I.T. N° 015-2019-ANA-AAA.JZ-ALA.T/DYGF	2019	Del 19 al 28 de agosto del 2019	2° monitoreo participativo complementario sobre la calidad de las aguas superficiales en la cuenca de los ríos Zarumilla y Tumbes
09	I.T. N° 016-2020-ANA-AAA.JZ-ALA.T/DYGF	2020	Del 15,16 y 21 de julio del 2020	1° monitoreo de la calidad de las aguas superficiales en la U.H. 13952, cuenca Zarumilla
10	I.T. N° 028-2020-ANA-AAA.JZ-ALA.T/DYGF	2020	Del 09 al 12 de octubre del 2021	2° monitoreo de la calidad de las aguas superficiales en la U.H. 13952, cuenca Zarumilla

**Nota:** Autoridad Nacional del Agua – Administración Local de Agua Tumbes.

### **3.6. Procesamiento y análisis de datos**

El procedimiento del “Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales, ICARHS”, se conforma de tres fases, las cuales se describen en seguida:

#### **3.6.1. Determinación de la zona de estudio**

Para calcular el ICARHS, se desarrollarán cursos de aguas superficiales lóticos empleando información del punto muestral (donde se recolectarán los datos), para ello se considerarán los datos históricos de los monitoreos que se han realizado con anterioridad, tomando mínimamente cuatro del mismo punto muestral. Su determinación se constituye como parte de la elaboración de los “Diagnósticos de la calidad de los recursos hídricos superficiales”, los cuales serán mostrados para la U.H. de interés.

#### **3.6.2. Recopilación de información**

Considerando el método ICARHS y sus determinantes, es necesario conocer sus diferentes condiciones, las cuales se explican en lo sucesivo:

#### **3.6.3. Resultados de los monitoreos de calidad de agua**

Estos resultados son producto de la evaluación del status de los estándares del recurso hídrico en la cuenca Tumbes, contrastados con los vigentes “Estándares de Calidad Ambiental (ECA)” para el agua. Para la metodología a emplear es necesario considerar como mínimo con un punto de muestreo de los que se localizan en el cuerpo natural e agua, conforme al “Protocolo Nacional de Monitoreo” vigente.

La información histórica que se recopile de los monitoreos de la calidad del agua deberá ser ordenada, para lo cual se requiere al menos cuatro monitoreos para un punto de muestreo.

##### **3.6.3.1. Parámetros**

La metodología descrita incluye veinte diferentes parámetros que son organizados según su naturaleza, siendo estos dos tipos de parámetros: materia orgánica y físico-químico Metal. Estos parámetros son asignados según las categorías de los cuerpos de agua que son

naturales, basados en la “clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales” según la Resolución Jefatural N°056 del año 2018 de la ANA. En la Tabla 12, se describen los datos necesarios para establecer el ICARHS (Índice de Calidad de Aguas para la Recuperación y Conservación de Hábitat) utilizando información histórica, necesidades específicas y condiciones. El cálculo se realiza utilizando información disponible en la cuenca del río Tumbes.

**Tabla 12. Parámetros a evaluar en el ICARHS**

		<b>Categoría 1: Subcategoría A2 (1/)</b>	<b>Categoría 3 (2/)</b>	<b>Categoría 4: Subcategoría E2 (3/)</b>
<b>Materia Orgánica</b>	Cantidad de oxígeno necesario para la oxidación biológica de la materia orgánica presente en un agua residual (DBO5)	X	X	X
	Cantidad de oxígeno requerida para oxidar sustancias químicas en una solución acuosa (DQO)	X	X	
	Cantidad de oxígeno en solución en agua	X	X	X
	Coliformes (Bacteria termotolerante en el agua)	X	X	X
	Concentración de fósforo en una solución de agua	X		X
	Concentración de amonio en solución acuosa	X		
	Cantidad de iones nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) presentes en una solución acuosa			X
	Cantidad total de hidrocarburos en petróleo 4/			X
<b>Físico- químico Metal</b>	Medida de acidez en solución acuosa	X	X	X
	Arsénico (As)	X	X	X
	Aluminio (Al)	X	X	
	Manganeso (Mn)	X	X	
	Hierro (Fe)	X	X	
	Cadmio (Cd)	X	X	
	Plomo (Pb)	X	X	X
	Boro (B) 5/	X	X	
Cobre (Cu)		X	X	

Mercurio (Hg)			X
Zinc (Zn)			X
Concentración de partículas en suspensión en agua			X

**Nota:** 1/ Poblacional y recreacional: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional. 2/ Riego de vegetales y bebida de animales. 3/ Conservación del ambiente acuático ( Ríos de la Costa, Sierra y Selva), 4/ Aplica para la vertiente del Amazonas con categoría E2 ríos de la selva. 5/ Aplica para la vertiente del pacífico. (zona sur). Fuente: Resolución Jefatural N° 084-2020-ANA.

### 3.6.4. Cálculo del ICARHS

#### 3.6.4.1. Fórmula base del ICARHS

La fórmula aplicada, es la desarrollada por el “Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente” (CCME WQI).

$$CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right) \quad \text{Ecuación (1)}$$

**F1- Alcance:** Simboliza el número de parámetros de calidad que incumplen con los valores referenciales establecidos en las “Normas de Calidad Ambiental del Agua” (ECA por Agua) vigentes, en relación a la totalidad de parámetros que se van a evaluar.

$$F1 = \frac{\text{N° de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{N° total de parametros a evaluar}}$$

**F2- Frecuencia:** Simboliza el número de datos que incumplen con los dispositivos legales ambientales respectivas (ECA de Agua) en relación a la totalidad de los datos de las medidas que se van a valorar (datos correspondientes al resultado mínimo de cuatro monitoreos).

$$F2 = \frac{\text{N° de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{N° total de datos evaluados}}$$

**F3- Amplitud:** Se refiere al desvío que existe con los datos entre sí, y que está determinada por la suma normalizada de excedencias, en otras palabras, el exceso de todos los casos con relación a la totalidad de datos.

$$F3 = \left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$$

### Suma Normalizada de Excedentes (SNE)

$$\text{Suma normalizada de Excedentes} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente } i}{\text{Total de datos}} \right)$$

**EXCEDENTE**, se presenta para cada parámetro, donde el valor está representado por el valor del ECA menos el valor del dato respecto al valor del ECA para Agua.

**Caso 1:** “Cuando el valor de concentración del parámetro supera al valor establecido en el ECA- Agua, el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera”:

$$\text{Excedente} = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$$

**Caso 2:** “Cuando el valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en el ECA para Agua, incumpliendo la condición señalada en el mismo, como ejemplo: el Oxígeno Disuelto (> 4), pH (>6.5, <8.5), el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera”:

$$\text{Excedente} = \left( \frac{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}}{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}} \right) - 1$$

Cuando se hayan conseguido que la valoración de los factores (F1, F2, y F3) se puedan realizar los cálculos de cada subíndice:

#### **3.6.4.2. Escalas de valoración**

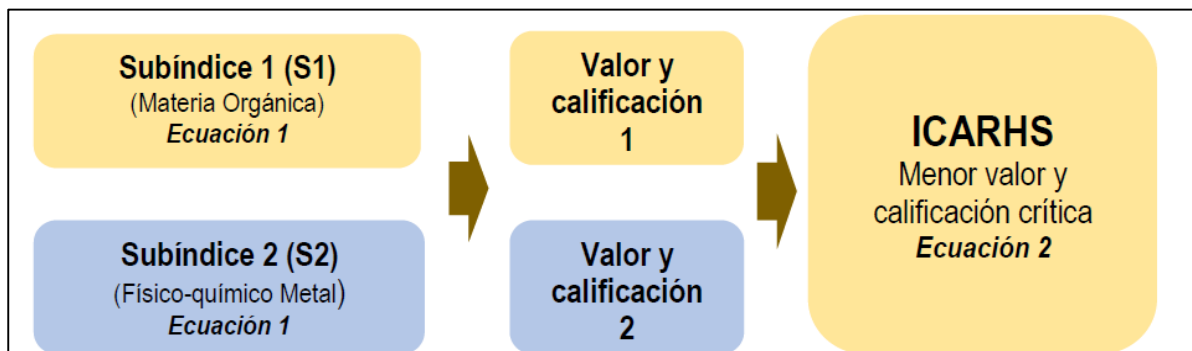
El ICARHS se muestra como un número “adimensional” que varía de 0 a 100 y se clasifica en cinco categorías: “Pésimo, Malo, Regular, Bueno y Excelente”, para valorar la calidad del recurso hídrico (Ver Tabla 2).

#### **3.6.4.3. Determinación de subíndices**

El ICARHS se basa en dos subíndices, llamados S1 y S2, y se determina por parámetros relacionados entre sí, por lo que la clasificación final es la crítica y de menor valor, según se muestra en la Figura 8.

<b>Ecuación (2)</b> $ICARHS = \text{mín.} (S1, S2)$	<b>mín.</b> : mínimo
	<b>S1</b> : Subíndice 1
	<b>S2</b> : Subíndice 2

**Figura 8.** *Determinación de Subíndices del ICARHS*



**Fuente:** Resolución Jefatural N° 084-2020-ANA.

## **CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### 4.1. Calidad el agua del rio tumbes de acuerdo con la metodología ICARHS

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de calidad de agua en la cuenca Tumbes fueron obtenidos por la Administración Local de Agua Tumbes (ALA-Tumbes); entre los años 2016 al 2020.

En esta sección para realizar el cálculo final del ICARHS en los 13 puntos de muestreo descritos en la Tabla 11<sup>1</sup> aplicando la formula base del ICARHS elaborada por el “Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente” (CCME WQI); se realizará primeramente el cálculo de los siguientes subíndices:

- Subíndice 1 (S1) que agrupa parámetros asociados a materia orgánica<sup>2</sup>.
- Subíndice 2 (S2) que agrupa a parámetros físicos-químicos y metales<sup>3</sup>.

El cálculo de los dos subíndices, se evaluará de acuerdo a la categoría que tiene cada punto de muestreo. Una vez obtenidos los valores de cada subíndice y realizar el cálculo final del ICARHS; se procederá a determinar que calificación le corresponde (excelente, bueno, regular, malo y pésimo); de acuerdo con el rango de valoración ICARHS presentada en la Tabla 2<sup>4</sup>.

A continuación, se muestran los resultados por cada punto de muestreo de acuerdo con la red de monitoreo de la Cuenca Tumbes:

---

<sup>1</sup> **Cuadro N° 03:** Red de puntos de muestreo en la Cuenca Tumbes y su clasificación.

<sup>2</sup> **Parámetros de materia orgánica:**

- **Categoría 1-A2:** DBO5, DQO, OD, coliformes termotolerantes, fosforo total y Amoniac – N.
- **Categoría 3:** DBO5, DQO, OD y coliformes termotolerantes.
- **Categoría 4-E2:** DBO, OD, coliformes termotolerantes, fosforo total, nitratos (NO3-) y TPH.

<sup>3</sup> **Parámetros físicos-químicos y metal:**

- **Categoría 1-A2:** pH, arsénico, aluminio, manganeso, hierro, cadmio y plomo.
- **Categoría 3:** pH, arsénico, aluminio, manganeso, hierro, cadmio, plomo y cobre.
- **Categoría 4-E2:** pH, arsénico, plomo, cobre, mercurio, zinc y solidos suspendidos totales.

<sup>4</sup> **Cuadro N° 01- Valoración del ICARHS**  
Resolución Jefatural N° 084-2020-ANA.

#### 4.1.1. Punto de muestreo RPuya1

Descripción	Registro Fotográfico
Río Puyango, ubicado en el “Hito Cóndor Flores” a 200m río abajo de la Qda. Linda Chara, clasificado como Categoría 4-E2.	

**Tabla 13.** Resultados de los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2016 al 2019 en el punto de muestreo RPuya1

PARÁMETROS		Cat.4-E2	2016-I	2016- II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II
<b>Materia Orgánica</b>	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	<=10	9	< 3	< 2	2	< 2	< 2	< 2	2
	<b>Fósforo Total</b>	<=0,05	<b>0,146</b>	0,05	<b>0,094</b>		0,044	<b>0,247</b>	0,022	<b>0,08</b>
	Nitratos (NO3-)	<=13			2,446	5,623	1,098	7,711	1,317	3,079
	Oxígeno Disuelto	= 5	8,08	8,14	7,82	8,14	7,586	7,043	8,252	8,12
	<b>Coliformes Termotolerantes</b>	<=2000	<b>230000</b>	130	1700	<b>17000</b>	940	79	700	<b>3500</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, los parámetros fosforo total y coliformes termotolerantes No cumplen el ECA Agua para la categoría 4 subcategoría E2; siendo un total de siete (07) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2016 al 2019.

**Tabla 14.** Resultados de los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2016 al 2019 en el punto de muestreo RPuya1

PARÁMETROS		Cat.4-E2	2016-I	2016- II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II
Físico – Químicos / Inorgánicos	pH	6,5 a 9,0	8,2	8,23	8,01	8,199	7,92	8,05	7,9	7,69
	TSS	= 100	<b>2151</b>	32	<b>110</b>	<b>110</b>	51			
	Arsénico	<=0,15	0,022	0,036	<b>0,1577</b>	0,00309	0,00857	<b>0,21343</b>	0,04095	0,1061
	Cobre	<=0,1	<b>0,176</b>	<b>0,189</b>	<b>0,23051</b>	0,00658	0,02262	<b>0,28791</b>	0,07689	<b>0,1734</b>
	Mercurio	<=0,0001	<b>0,0005</b>	<b>0,0007</b>	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00005
	Plomo	<=0,0025	<b>0,133</b>	<b>0,077</b>	<b>0,2976</b>	0,0007	<b>0,0227</b>	<b>0,2232</b>	<b>0,0553</b>	<b>0,179</b>
	Zinc	<=0,12	<b>0,347</b>	0,112	<b>0,3436</b>	0,0235	0,0441	<b>0,2589</b>	0,0551	<b>0,28</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, los parámetros solidos suspendidos totales, arsénico, cobre, mercurio, plomo y zinc No cumplen el ECA Agua para la “categoría 4 subcategoría E2”; siendo un total de veintitrés (23) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2016 al 2019.

a) **Cálculo del subíndice 1 (S1) - Parámetros asociados a materia orgánica.**

De acuerdo con la información descrita en las Tabla 13 se realizará el cálculo del subíndice 1 para los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2016 al 2019.

**Tabla 15.** Cálculo del subíndice 1 para el punto de muestreo RPuya1 según la metodología ICARHS

PUNTO		RPuya1							
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua		2							
Cantidad total de parámetros a evaluar		5							
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua		7							
Total de Datos		37							
$Excedente = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$									
Parámetros	Cat.4-E2	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II
(DBO5)	<=10								
Fósforo Total	<=0,05	1,92		0,88			3,94		0,6
Nitratos (NO3-)	<=13								
Oxígeno Disuelto	= 5								
Coliformes Termotolerantes	<=2000	114			7,5				0,75
Suma normalizada de Excedentes = $\left( \frac{\sum_{i=1}^n Excedente\ i}{\text{Total de datos}} \right)$		3,50							
$F1 = \frac{\text{N° de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{N° total de parametros a evaluar}}$		40							
$F2 = \frac{\text{N° de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{N° total de datos evaluados}}$		18,91							
$F3 = \left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$		77,78							
		48							

<b>Valor de la Calificación Sub Índice 1</b> $CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)$	
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>Malo</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 1 para parámetros asociados a materia orgánica es malo, lo cual se interpreta como las muestras de agua no cumple con los respectivos objetivos de la calidad, por lo que recurrentemente los escenarios óptimos se encuentran amenazados o dañados, y por lo tanto muchos de los usos necesitan tratamiento.

**b) Cálculo del subíndice 2 (S2) - Parámetros Físico- Químicos.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 13 se realizará el cálculo del subíndice 2 para los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2016 al 2019.

**Tabla 16.** Cálculo del subíndice 2 para el punto de muestreo RPuya1 según la metodología ICARHS

PUNTO		RPuya1							
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua		6							
Cantidad total de parámetros a evaluar		7							
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua		23							
Total de Datos		53							
$Excedente = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$									
Parámetros	Cat.4-E2	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II
pH	6,5 a 9,0								
TSS	= 100	20,51		0,1	0,1				
Arsénico	<=0,15			0,0513			0,4228		
Cobre	<=0,1	0,76	0,89	1,3051			1,8791		0,734
Mercurio	<=0,0001	4	6						
Plomo	<=0,0025	52,2	29,8	118,04		8,08	88,28	21,12	70,6
Zinc	<=0,12	1,8916		1,8633			1,1575		1,333
						8,13			

Suma normalizada de Excedentes = $\left( \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente } i}{\text{Total de datos}} \right)$	
$F1 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de parametros a evaluar}}$	85,71
$F2 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de datos evaluados}}$	43,39
$F3 = \left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$	89,05
<p>Valor de la Calificación Sub Índice 1</p> $CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)$	24
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>PÉSIMO</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 2 para parámetros físico – químicos es pésimo, lo cual se interpreta que la calidad del agua incumple con los objetivos de calidad, por lo que casi siempre se encuentra dañada o bajo amenaza latente. Para todos los casos de uso se necesita de un tratamiento.

#### 4.1.2. Punto de muestreo RPuya2

Descripción	Registro Fotográfico
Río Puyango, aprox. A 200m antes de la confluencia con la quebrada Cazaderos (Cabo Inga), clasificado como Categoría 4-E2.	

**Tabla 17.** Resultados de los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2018 al 2020 en el punto de muestreo RPuya2

PARÁMETROS		Cat.4-E2	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
<b>Materia Orgánica</b>	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	<=10	< 2	< 2	< 2	< 2	2	3
	<b>Fósforo Total</b>	<=0,05	0,047	<b>0,102</b>	< 0,01	<b>0,071</b>	<b>0,176</b>	<b>0,186</b>
	Nitratos (NO3-)	<=13	0,049	< 0,009	1,409	3,329	2,21	4,482
	Oxígeno Disuelto	= 5	8,619	9,265	7,506	7,506	6,853	6,792
	<b>Coliformes Termotolerantes</b>	<=2000	<b>2800</b>	<b>11000</b>	1700	330		

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, los parámetros fosforo total y coliformes termotolerantes No cumplen el ECA Agua para la “categoría 4 subcategoría E2”; siendo un total de siete (06) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2018 al 2020.

**Tabla 18.** Resultados de los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2018 al 2020 en el punto de muestreo RPuya2

PARÁMETROS		Cat.4-E2	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
Físico – Químicos / Inorgánicos	pH	6,5 a 9,0	7,92	7,913	7,95	7,87	8,782	8,257
	TSS	= 100	56					
	Arsénico	<=0,15	0,01447	<b>0,16037</b>	0,04723	0,0819	<b>0,3036</b>	<b>0,3015</b>
	Cobre	<=0,1	0,02954	<b>0,21455</b>	0,08047	<b>0,1172</b>	<b>0,4668</b>	<b>0,2661</b>
	Mercurio	<=0,0001	< 0,00003	<b>0,0013</b>	< 0,00003	<b>0,00042</b>	<b>0,00155</b>	<b>0,00285</b>
	Plomo	<=0,0025	<b>0,0349</b>	<b>0,1564</b>	<b>0,1174</b>	<b>0,1453</b>	<b>0,4598</b>	<b>0,3255</b>
	Zinc	<=0,12	0,0508	<b>0,194</b>	<b>0,1601</b>	<b>760,5</b>	<b>0,686</b>	<b>0,384</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, los parámetros arsénicos, cobre, mercurio, plomo y zinc No cumplen el ECA Agua para la categoría 4 subcategoría E2; siendo un total de veintitres (22) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2018 al 2020.

a) **Cálculo del subíndice 1 (S1) - Parámetros asociados a materia orgánica.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 17 se realizará el cálculo del subíndice 1 para los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2018 al 2020.

**Tabla 19.** Cálculo del subíndice 1 para el punto de muestreo RPuya2 según la metodología ICARHS

PUNTO		RPuya2					
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua		2					
Cantidad total de parámetros a evaluar		5					
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua		6					
Total de Datos		28					
$Excedente = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$							
Parámetros	Cat.4-E2	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II
(DBO5)	<=10						
Fósforo Total	<=0,05		1,04		0,42	2,52	2,72
Nitratos (NO3-)	<=13						
Oxígeno Disuelto	= 5						
Coliformes Termotolerantes	<=2000	0,4	4,5				
Suma normalizada de Excedentes = $\left( \frac{\sum_{i=1}^n Excedente\ i}{\text{Total de datos}} \right)$						0,41	
$F1 = \frac{\text{N° de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{N° total de parametros a evaluar}}$						40	
$F2 = \frac{\text{N° de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{N° total de datos evaluados}}$						21,42	
$F3 = \left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$						29,29	
						69	

<b>Valor de la Calificación Sub Índice 1</b> $CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)$	
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>Regular</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 1 para parámetros asociados a materia orgánica es regular, lo cual se interpreta como que la calidad del recurso hídrico en condiciones naturales de vez en cuando es amenazada o dañada, por lo que ocasionalmente se aleja de los valores anhelados, y así, muchos de los posibles usos necesitan de un adecuado tratamiento.

**b) Cálculo del subíndice 2 (S2) - Parámetros Físico- Químicos.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 17 se realizará el cálculo del subíndice 2 para los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2018 al 2020.

**Tabla 20** Cálculo del subíndice 2 para el punto de muestreo RPuya2 según la metodología ICARHS


PUNTO		RPuya2					
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua		<b>5</b>					
Cantidad total de parámetros a evaluar		<b>7</b>					
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua		<b>22</b>					
Total de Datos		<b>37</b>					
$Excedente = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$							
Parámetros	Cat.4-E2	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II
pH	6,5 a 9,0						
TSS	= 100						
Arsénico	<=0,15		0,0691			1,024	1,01
Cobre	<=0,1		1,1455		0,172	3,668	1,661
Mercurio	<=0,0001		12		3,2	14,5	27,5
Plomo	<=0,0025	12,96	61,56	45,96	57,12	182,92	129,2
Zinc	<=0,12		0,6166	0,3341	6336,5	4,7166	2,2
					186,48		

$\text{Suma normalizada de Excedentes} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente } i}{\text{Total de datos}} \right)$	
$F1 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de parámetros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de parámetros a evaluar}}$	71,42
$F2 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de datos evaluados}}$	59,45
$F3 = \left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$	99,46
<p>Valor de la Calificación Sub Índice 1</p> $CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)$	21
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>PÉSIMO</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 2 para parámetros físico – químicos es pésimo, lo cual se interpreta que la calidad del agua incumple con los objetivos de calidad, ya que casi siempre se encuentra amenazada o con daños. Así, todos los posibles usos necesitan de tratamiento.

### 4.1.3. Punto de muestreo QCaza1

Descripción	Registro Fotográfico
Quebrada Cazaderos, 50 m antes de confluencia con el río Puyango, clasificado como Categoría 4-E2.	

**Tabla 21.** Resultados de los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2016 al 2020 en el punto de muestreo QCaza1

PARÁMETROS		Cat.4-E2	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
<b>Materia Orgánica</b>	(DBO5)	<=10	3	< 3	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	2	< 2
	<b>Fósforo Total</b>	<=0,05	< 0,009	< 0,009	<b>0,104</b>		< 0,007	<b>0,144</b>	< 0,01	< 0,01	<b>0,101</b>	<b>0,082</b>
	Nitratos (NO <sub>3</sub> -)	<=13			< 0,009	< 0,009	0,154	4,929	< 0,009	3,874	0,072	< 0,009
	Oxígeno Disuelto	= 5	7,59	9,62	9,41	8,28	9,36	560	7,034	8,228	8,792	7,896
	Coliformes Termotolerantes	<=2000	1300	11	< 1,8	13	13	110	33	22		

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, el parámetro fosforo total No cumplen el ECA Agua para la categoría 4 subcategoría E2; siendo un total de cuatro (04) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2016 al 2020.

**Tabla 22.** Resultados de los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2016 al 2020 en el punto de muestreo QCaza1

PARÁMETROS		Cat.4-E2	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
Físico – Químicos / Inorgánicos	pH	6,5 a 9,0	8,26	8,29	8,23	8,06	8,216	8,253	8,13	8,13	8,093	7,636
	TSS	= 100	12	2	436	578	7					
	Arsénico	<=0,15	< 0,007	< 0,007	< 0,00003	0,00045	0,00327	0,00738	0,00041	0,0005	0,0039	0,007
	Cobre	<=0,1	< 0,004	< 0,002	< 0,00003	< 0,00003	0,00098	0,00131	0,00058	0,0005	0,0032	0,003
	Mercurio	<=0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003	< 0,0005	< 0,00005	< 0,00005
	Plomo	<=0,0025	0,003	< 0,001	< 0,0002	< 0,0002	0,0014	0,0008	< 0,0002	0,0003	0,0039	0,0032
	Zinc	<=0,12	0,008	0,005	< 0,01	< 0,01	0,0162	0,0177	< 0,01	0,041	0,014	< 0,008

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, los parámetros solidos suspendidos totales y plomo No cumplen el ECA Agua para la “categoría 4 subcategoría E2”; siendo un total de cinco (05) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2016 al 2020.

a) **Cálculo del subíndice 1 (S1) - Parámetros asociados a materia orgánica.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 21 se realizará el cálculo del subíndice 1 para los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2016 al 2020.

**Tabla 23.** Cálculo del subíndice 1 para el punto de muestreo QCaza1 según la metodología ICARHS

PUNTO		QCaza1									
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua		1									
Cantidad total de parámetros a evaluar		5									
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua		4									
Total de Datos		45									
$Excedente = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$											
Parámetros	Cat.4-E2	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
(DBO5)	<=10										
Fósforo Total	<=0,05			1,08			1,88			1,02	0,64
Nitratos (NO3)	<=13										
Oxígeno Disuelto	= 5										
Coliformes Termotolerantes	<=2000										
Suma normalizada de Excedentes = $\left( \frac{\sum_{i=1}^n Excedente\ i}{\text{Total de datos}} \right)$								0,10			
$F1 = \frac{\text{N° de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{N° total de parametros a evaluar}}$								20			
$F2 = \frac{\text{N° de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{N° total de datos evaluados}}$								8,88			
$F3 = \left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$								9,31			
Valor de la Calificación Sub Índice 1								86			

$CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)$	
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>BUENO</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 1 para parámetros asociados a materia orgánica es bueno, lo cual se interpreta como que la calidad de agua se aleja de los niveles de calidad del agua natural, y en el escenario ideal aún hay presencia de amenazas o efectos dañinos, pero de poca magnitud.

**b) Cálculo del subíndice 2 (S2) - Parámetros Físico- Químicos.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 21 se realizará el cálculo del subíndice 2 para los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2016 al 2020.

**Tabla 24.** Cálculo del subíndice 2 para el punto de muestreo QCaza1 según la metodología ICARHS


PUNTO		QCaza1									
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua		2									
Cantidad total de parámetros a evaluar		7									
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua		5									
Total de Datos		65									
$Excedente = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$											
Parámetros	Cat.4-E2	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018- I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
pH	6,5 a 9,0										
TSS	= 100			3,36	4,78						
Arsénico	<=0,15										
Cobre	<=0,1										
Mercurio	<=0,0001										
Plomo	<=0,0025	0,2								0,56	0,28
Zinc	<=0,12										
Suma normalizada de Excedentes = $\left( \frac{\sum_{i=1}^n Excedente i}{\text{Total de datos}} \right)$		0,141230769									
$F1 = \frac{\text{Nº de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Nº total de parametros a evaluar}}$		28,571429									

$F2 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de datos evaluados}}$	7,692308
$F3 = \left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$	12,375303
<p>Valor de la Calificación Sub Índice 1</p> $CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)$	81
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>BUENO</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 2 para parámetros físico – químicos es bueno, lo cual se interpreta como que los niveles de calidad actuales se alejan de los estadares naturales del recurso hídrico, y los escenarios deseables pueden estar considerando algunas amenazas aunque minimas.

#### 4.1.4. Punto de muestreo RTumb1

Descripción	Registro Fotográfico
Río Tumbes, después de la unión con la quebrada Cazaderos, clasificado como Categoría 4-E2.	

**Tabla 25.** Resultados de los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2016 al 2020 en el punto de muestreo RTumb1

PARÁMETROS		Cat.4-E2	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
<b>Materia Orgánica</b>	(DBO5)	≤10	< 3	5	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	2	2
	<b>Fósforo Total</b>	≤0,05	< 0,009	<b>0,06</b>	< 0,007		<b>0,051</b>	<b>0,2</b>	0,041	<b>0,076</b>	<b>0,178</b>	<b>0,139</b>
	Nitratos (NO <sub>3</sub> -)	≤13			1,82	3,261	0,53	5,017	1,432	< 0,009	2,103	3,044
	Oxígeno Disuelto	= 5	7,55	8,4	7,65	8,23	7,568	7,37	6,847	6,865	6,806	6,604
	<b>Coliformes Termotolerantes</b>	≤2000	<b>3300</b>	< 1,8	7,8	170	490	17	1300	490		

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, el parámetro fosforo total y coliformes termotolerantes No cumplen el ECA Agua para la “categoría 4 subcategoría E2”; siendo un total de nueve (09) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2016 al 2020.

**Tabla 26.** Resultados de los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2016 al 2020 en el punto de muestreo RTumb1

PARÁMETROS		Cat.4-E2	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
Físico – Químicos / Inorgánicos	pH	6,5 a 9,0	8,15	8,334		8,261	7,654	8,248	7,76	7,98	8,217	8,24
	TSS	= 100	<b>106</b>	55	<b>142</b>	<b>128</b>	63					
	Arsénico	<=0,15	< 0,007	0,039	0,04044	<b>0,16893</b>	0,01104	<b>0,15859</b>	0,06052	0,0995	<b>0,4614</b>	<b>0,1978</b>
	Cobre	<=0,1	0,017	<b>0,134</b>	<b>0,1005</b>	<b>0,14403</b>	0,03399	<b>0,21522</b>	0,09381	<b>0,1686</b>	<b>0,4898</b>	<b>0,1798</b>
	Mercurio	<=0,0001	< 0,0001	<b>0,0003</b>	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003	<b>0,00147</b>	< 0,00003	<b>0,0005</b>	<b>0,00093</b>	<b>0,00162</b>
	Plomo	<=0,0025	<b>0,01</b>	<b>0,075</b>	<b>0,1728</b>	<b>0,1317</b>	<b>0,0312</b>	<b>0,1565</b>	<b>0,1206</b>	<b>0,197</b>	<b>0,4266</b>	<b>0,2026</b>
	Zinc	<=0,12	0,03	<b>0,126</b>	<b>0,164</b>	<b>0,1801</b>	0,0666	<b>0,1895</b>	<b>0,1773</b>	<b>0,404</b>	<b>0,575</b>	<b>0,239</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, los parámetros solidos suspendidos totales, arsénico, cobre, mercurio, plomo y zinc No cumplen el ECA Agua para la categoría 4 subcategoría E2; siendo un total de treinta y siete (37) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2016 al 2020.

a) **Cálculo del subíndice 1 (S1) - Parámetros asociados a materia orgánica.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 25 se realizará el cálculo del subíndice 1 para los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2016 al 2020.

**Tabla 27.** Cálculo del subíndice 1 para el punto de muestreo RTumb1 según la metodología ICARHS

PUNTO							RTumb1				
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua							2				
Cantidad total de parámetros a evaluar							5				
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua							7				
Total de Datos							45				
$Excedente = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$											
Parámetros	Cat.4- E2	2016 -I	2016 -II	2017 -I	2017- II	2018 - I	2018 -II	2019 -I	2019 -II	2020 -I	2020 -II
(DBO5)	<=10										
Fósforo Total	<=0,05		0,2			0,02	3		0,52	2,56	1,78
Nitratos (NO3-)	<=13										
Oxígeno Disuelto	= 5										
Coliformes Termotolerantes	<=2000	0,65									
<b>Suma normalizada de Excedentes = <math>\left( \frac{\sum_{i=1}^n Excedente\ i}{\text{Total de datos}} \right)</math></b>							<b>0,194</b>				
<b><math>F1 = \frac{\text{Nº de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Nº total de parametros a evaluar}}</math></b>							<b>40</b>				
<b><math>F2 = \frac{\text{Nº de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{Nº total de datos evaluados}}</math></b>							<b>15,55</b>				
<b><math>F3 = \left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100</math></b>							<b>16,24</b>				
<b>Valor de la Calificación Sub Índice 1</b>							<b>74</b>				

$CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)$	
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>REGULAR</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 1 para parámetros asociados a materia orgánica es regular, lo cual se interpreta que los niveles estándares del agua natural a veces se ve dañada por lo que muy seguido se aleja de los valores óptimos y muchos de los usos necesitan de un tratamiento.

**b) Cálculo del subíndice 2 (S2) - Parámetros Físico- Químicos.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 25 se realizará el cálculo del subíndice 2 para los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2016 al 2020.

**Tabla 28.** Cálculo del subíndice 2 para el punto de muestreo RTumb1 según la metodología ICARHS

PUNTO				RTumb1							
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua				<b>6</b>							
Cantidad total de parámetros a evaluar				<b>7</b>							
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua				<b>37</b>							
Total de Datos				<b>64</b>							
$Excedente = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$											
Parámetros	Cat.4-E2	2016 -I	2016 -II	2017 -I	2017 -II	2018 -I	2018 -II	2019 -I	2019 -II	2020 -I	2020 -II
pH	6,5 a 9,0										
TSS	= 100	0,0 6		0,42	0,28						
Arsénico	<=0,15				0,1262		0,05726 7			2,076	0,31866 7
Cobre	<=0,1		0,3 4	0,005	0,4403		1,1522		0,686	3,898	0,798
Mercurio	<=0,000 1		2				13,7		4	8,3	15,2
Plomo	<=0,002 5	3	29	68,12	51,68	11,4 8	61,6	47,24	77,8	169,64	80,04

<b>Zinc</b>	<=0,12		0,0	0,36666	0,50083		0,57916	0,477	2,36666	3,79166	0,99166
			5	7	3		7	5	7	7	7
<b>Suma normalizada de Excedentes</b>											
$= \left( \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente } i}{\text{Total de datos}} \right)$							10,35				
$F1 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de parametros a evaluar}}$							85,71				
$F2 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de datos evaluados}}$							57,81				
$F3 = \left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$							91,19				
<b>Valor de la Calificación Sub Índice 1</b>											
$CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)$							20				
<b>CALIFICACIÓN</b>							<b>PÉSIMO</b>				

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 2 para parámetros físico – químicos es pésimo, lo cual se interpreta que la calidad del agua incumple con los objetivos de calidad, ya que la amenaza es latente, por lo que todos los usos necesitan de tratamiento.

#### 4.1.5. Punto de muestreo RTumb2

Descripción	Registro Fotográfico
<p>Rio Tumbes a 400 m del Puesto de Salud de Rica Playa., clasificado como Categoría 4-E2.</p>	

**Tabla 29.** Resultados de los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2019 al 2020 en el punto de muestreo RTumb2

PARÁMETROS		Cat.4-E2	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
Materia Orgánica	(DBO5)	<=10	< 2	< 2	2	3
	Fósforo Total	<=0,05	< 0,01	0,037	<b>0,155</b>	<b>0,14</b>
	Nitratos (NO3-)	<=13	1,198	2,19	1,712	4,974
	Oxígeno Disuelto	= 5	8,468	8,68	7,988	7,047
	Coliformes Termotolerantes	<=2000	130	4,5		140

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, el parámetro fosforo total No cumplen el ECA Agua para la “categoría 4 subcategoría E2”; siendo un total de dos (02) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2019 al 2020.

**Tabla 30.** Resultados de los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2019 al 2020 en el punto de muestreo RTumb2

PARÁMETROS		Cat.4-E2	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
Físico – Químicos / Inorgánicos	pH	6,5 a 9,0	7,63	<b>9,285</b>	8,385	8,174
	TSS	= 100				
	Arsénico	<=0,15	0,02595	0,0568	<b>0,3775</b>	<b>0,1977</b>
	Cobre	<=0,1	0,04148	<b>0,1016</b>	<b>0,1177</b>	<b>0,2252</b>
	Mercurio	<=0,0001	< 0,00003	< 0,00005	<b>0,0007</b>	<b>0,00194</b>
	Plomo	<=0,0025	<b>0,06</b>	<b>0,0997</b>	<b>0,163</b>	<b>0,331</b>
	Zinc	<=0,12	0,056	<b>0,13</b>	<b>0,236</b>	<b>0,344</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, los parámetros pH, arsénico, cobre, mercurio, plomo y zinc No cumplen el ECA Agua para la “categoría 4 subcategoría E2”; siendo un total de quince (15) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2019 al 2020.

a) **Cálculo del subíndice 1 (S1) - Parámetros asociados a materia orgánica.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 29 se realizará el cálculo del subíndice 1 para los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2019 al 2020.

**Tabla 31.** Cálculo del subíndice 1 para el punto de muestreo RTumb2 según la metodología ICARHS

PUNTO				RTumb2	
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua				1	
Cantidad total de parámetros a evaluar				5	
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua				2	
Total de Datos				19	
$Excedente = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$					
Parámetros	Cat.4-E2	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
(DBO5)	<=10				
Fósforo Total	<=0,05			2,1	1,8
Nitratos (NO3-)	<=13				
Oxígeno Disuelto	= 5				
Coliformes Termotolerantes	<=2000				
$\text{Suma normalizada de Excedentes} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente } i}{\text{Total de datos}} \right)$				0,205	
$F1 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de parametros a evaluar}}$				20	
$F2 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de datos evaluados}}$				10,52	
$F3 = \left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$				17,03	
				84	

<b>Valor de la Calificación Sub Índice 1</b> $CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)$	
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>BUENO</b>

**Nota:** Elaboración propia.

Según la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 1 para parámetros asociados a materia orgánica es bueno, lo cual se interpreta como que la calidad del recurso hídrico dista de la calidad cuando este se encuentra en su estado más natural; pero, las condiciones que se desean podrían estar en presencia de amenazas o daños de magnitud mínima.

**b) Cálculo del subíndice 2 (S2) - Parámetros Físico- Químicos.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 29 se realizará el cálculo del subíndice 2 para los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2019 al 2020.

**Tabla 32.** Cálculo del subíndice 2 para el punto de muestreo RTumb2 según la metodología ICARHS


PUNTO			RTumb2			
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua						
Cantidad total de parámetros a evaluar						
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua						
Total de Datos						
$Excedente = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$						
Parámetros	Cat.4-E2	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II	
pH	6,5 a 9,0		0,031667			
TSS	= 100					
Arsénico	<=0,15			1,516667	0,318	
Cobre	<=0,1		0,016	0,177	1,252	
Mercurio	<=0,0001			6	18,4	
Plomo	<=0,0025	23	38,88	64,2	131,4	
Zinc	<=0,12		0,083333	0,966667	1,866667	
Suma normalizada de Excedentes = $\left( \frac{\sum_{i=1}^n Excedente i}{\text{Total de datos}} \right)$				2,004		

$F1 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de parámetros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de parámetros a evaluar}}$	85,71
$F2 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de datos evaluados}}$	62,5
$F3 = \left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$	92,31
<p>Valor de la Calificación Sub Índice 1</p> $CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)$	19
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>PÉSIMO</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 2 para parámetros físico – químicos es pésimo, lo cual se interpreta que los estándares del agua relacionado con los objetivos de la calidad se incumplen, por lo que la amenaza es casi latente, siendo así que para todo uso que se le pretende dar, debe tener un tratamiento adecuado.

#### 4.1.6. Punto de muestreo RTumb11

Descripción	Registro Fotográfico
Río Tumbes, Estación Hidrometeorológica El Tigre, clasificado como Categoría 1-A2.	

**Tabla 33.** Resultados de los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2016 al 2020 en el punto de muestreo RTumb11

PARÁMETROS		Cat.1-A2	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
<b>Materia Orgánica</b>	Amoniaco-N	<=1,5	0,02	< 0,01			< 0,006	0,069	0,042	0,195	0,121	< 0,008
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	<=5	< 3	< 3	< 2	< 2	< 2	< 2	<b>6</b>	< 2	2	2
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<=20	8	7	< 2	20	< 2	3	5	< 2	7	<b>112</b>
	Fósforo Total	<=0,15	0,116	0,04	0,132		0,048	<b>0,203</b>	0,075	0,074	0,123	<b>0,212</b>
	Oxígeno Disuelto	=5	8,06	7,9	7,59	7,85	8,155	7,94	8,434	8,434	8,545	7,974
	Coliformes Termotolerantes	<=2000	<b>13000</b>	2	23	49	<b>2200</b>	7,8	1100	< 1,8	70	330

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, el parámetro DBO, DQO, Fósforo Total y coliformes termotolerantes No cumplen el ECA Agua para la “categoría 1 subcategoría A2”; siendo un total de seis (06) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2016 al 2020.

**Tabla 34.** Resultados de los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2016 al 2020 en el punto de muestreo RTumb11

PARÁMETROS		Cat.1-A2	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
<b>Físico – Químicos / Inorgánicos</b>	pH	5,5 – 9,0	7,86	8,225		8,256	8,12	8,114	8,1	8,72	8,813	8,159
	Aluminio	<=5	<b>6,33</b>	1,565	3,764	1,018	1,712	2,323	1,368	3,548	0,799	4,521
	Arsénico	<=0,01	<b>0,016</b>	<b>0,034</b>	<b>0,1163</b>	<b>0,12067</b>	<b>0,01489</b>	<b>0,11338</b>	<b>0,0703</b>	<b>0,0997</b>	<b>0,1102</b>	<b>0,2289</b>
	Cadmio	<=0,005	0,00061	0,00072	0,00282	0,00091	< 0,00001	0,00133	0,00124	0,00282	0,00086	0,00318
	Hierro	<=1	<b>13,73</b>	<b>2,227</b>	<b>7,517</b>	<b>2,11</b>	<b>1,959</b>	<b>3,867</b>	<b>3,061</b>	<b>8,048</b>	<b>2,135</b>	<b>10,28</b>
	Manganeso	<=0,4	<b>0,9696</b>	0,13	<b>0,40934</b>	0,12019	0,07907	0,2072	0,1848	<b>0,4437</b>	0,1339	<b>0,4877</b>
	Plomo	<=0,05	<b>0,125</b>	<b>0,067</b>	<b>0,3139</b>	<b>0,0772</b>	0,0293	<b>0,1259</b>	<b>0,1524</b>	<b>0,2476</b>	<b>0,0778</b>	<b>0,3463</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, los parámetros aluminio, arsénico, hierro, manganeso y plomo No cumplen el ECA Agua para la “categoría 1 subcategoría A2”; siendo un total de treinta y cuatro (34) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2016 al 2020.

a) **Cálculo del subíndice 1 (S1) - Parámetros asociados a materia orgánica.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 33 se realizará el cálculo del subíndice 1 para los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2016 al 2020.

**Tabla 35.** Cálculo del subíndice 1 para el punto de muestreo RTumb11 según la metodología ICARHS

PUNTO							RTumb1				
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua							4				
Cantidad total de parámetros a evaluar							6				
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua							6				
Total de Datos							57				
<b>Excedente = <math>\left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1</math></b>											
Parámetros	Cat.4-E2	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
Amoniaco-N	<=1,5										
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	<=5							0,2			
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<=20										4,6
Fósforo Total	<=0,15						0,353333				0,413333
Oxígeno Disuelto	=5										
Coliformes Termotolerantes	<=2000	5,5				0,1					
<b>Suma normalizada de Excedentes = <math>\left( \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente } i}{\text{Total de datos}} \right)</math></b>							0,195				
<b>F1 = <math>\frac{\text{Nº de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Nº total de parametros a evaluar}}</math></b>							66,66				
<b>F2 = <math>\frac{\text{Nº de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{Nº total de datos evaluados}}</math></b>							10,52				




Hierro	<=1	12,73	1,227	6,517	1,11	0,959	2,867	2,061	7,048	1,135	9,28
Manganeso	<=0,4	1,424		0,02335					0,10925		0,21925
Plomo	<=0,05	1,5	0,34	5,278	0,544		1,518	2,048	3,952	0,556	5,926
<b>Suma normalizada de Excedentes</b> = $\left( \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente } i}{\text{Total de datos}} \right)$									2,189		
<b>F1</b> = $\frac{\text{N}^\circ \text{ de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de parametros a evaluar}}$									71,42		
<b>F2</b> = $\frac{\text{N}^\circ \text{ de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de datos evaluados}}$									49,27		
<b>F3</b> = $\left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$									68,64		
<b>Valor de la Calificación Sub Índice 1</b>									36		
<b>CCMEWQI</b> = $100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)$											
<b>CALIFICACIÓN</b>									<b>PÉSIMO</b>		

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 2 para parámetros físico – químicos es pésimo, lo cual se interpreta que los niveles de calidad no tiene relación alguna con los objetivos de calidad, por lo que casi siempre existe amenazas o existen daños latentes; de este modo, todos los usos que se pretendan en el recurso necesitan obligatoriamente un tratamiento.

#### 4.1.7. Punto de muestreo QCabu1

Descripción	Registro Fotográfico
Quebrada Cabuyal, a 300 m antes de juntarse con el río Tumbes	

**Tabla 37.** Resultados de los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2016 al 2020 en el punto de muestreo QCabu1

PARÁMETROS		Cat.1-A2	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
<b>Materia Orgánica</b>	Amoníaco-N	<=1,5	0,07	< 0,01			< 0,006	< 0,006		0,185	0,045	< 0,008
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	<=5	3	< 3	< 2	< 2	< 2	< 2	3	< 2	< 2	< 2
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<=20	12	8	< 2	17	< 2	< 2	8	< 2	3	4
	Fósforo Total	<=0,15	<b>0,174</b>	0,091	0,123		0,069	<b>0,29</b>	<b>0,151</b>	0,084	0,096	<b>0,203</b>

	Oxígeno Disuelto	=5	7,12	7,51	10,31	8,33	5,732	7,175	7,57	7,71	7,829	5,313
	Coliformes Termotolerantes	<=2000	<b>4600</b>	490	240	49	1700	330	1100	170	490	49

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, el parámetro Fósforo Total y coliformes termotolerantes No cumplen el ECA Agua para la “categoría 1 subcategoría A2”; siendo un total de cinco (05) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2016 al 2020.

**Tabla 38.** Resultados de los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2016 al 2020 en el punto de muestreo QCabul

PARÁMETROS		Cat.1- A2	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
<b>Físico – Químicos / Inorgánicos</b>	pH	5,5 – 9,0	7,82	7,837		8,12	7,641	7,899	7,75	7,68	7,301	7,565
	Aluminio	<=5	0,076	0,197	0,047	0,022	0,011	< 0,002	0,041	0,01	< 0,003	0,017
	Arsénico	<=0,01	< 0,007	< 0,007	0,00356	0,0021	0,00344	0,00381	0,00617	0,0055	0,0048	0,0052
	Cadmio	<=0,005	< 0,00018	<	<	< 0,00001	<	<	<	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
	Hierro	<=1	0,094	0,234	0,0835	0,0388	0,0398	0,0082	0,1615	0,235	0,112	0,126
	Manganeso	<=0,4	0,025	0,128	0,06334	0,0014	0,07208	0,04417	0,34834	0,3447	0,1627	0,1514
	Plomo	<=0,05	< 0,001	< 0,001	<	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, todos los parámetros cumplen el ECA Agua para la categoría 1 subcategoría A2.

a) **Cálculo del subíndice 1 (S1) - Parámetros asociados a materia orgánica.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 37 se realizará el cálculo del subíndice 1 para los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2016 al 2020.

**Tabla 39.** Cálculo del subíndice 1 para el punto de muestreo QCabu1 según la metodología ICARHS

PUNTO						QCabu1.					
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua						2					
Cantidad total de parámetros a evaluar						6					
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua						5					
Total de Datos						56					
$Excedente = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$											
Parámetros	Cat.4-E2	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
Amoniaco-N	<=1,5										
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	<=5										
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<=20										
Fósforo Total	<=0,15	0,16					0,933333	0,006667			0,353333
Oxígeno Disuelto	=5										
Coliformes Termotolerantes	<=2000	1,3									
<b>Suma normalizada de Excedentes =</b> $\left( \frac{\sum_{i=1}^n Excedente\ i}{\text{Total de datos}} \right)$						0,049					
<b>F1 =</b> $\frac{\text{Nº de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Nº total de parametros a evaluar}}$						33,33					



Arsénico	<=0,01										
Cadmio	<=0,005										
Hierro	<=1										
Manganeso	<=0,4										
Plomo	<=0,05										
<b>Suma normalizada de Excedentes = <math>\left( \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente } i}{\text{Total de datos}} \right)</math></b>										0	
<b><math>F1 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de parametros a evaluar}}</math></b>										0	
<b><math>F2 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de datos evaluados}}</math></b>										0	
<b><math>F3 = \left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100</math></b>										0	
<b>Valor de la Calificación Sub Índice 1</b>  <b><math>CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)</math></b>										100	
<b>CALIFICACIÓN</b>										<b>EXCELENTE</b>	

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 2 para parámetros físico – químicos es excelente, lo cual se interpreta que los estándares de calidad del agua se encuentran bajo protección, existe ausencia de amenazas y su condición se encuentra alineada a los niveles óptimos.

#### 4.1.8. Punto de muestreo RTumb9

Descripción	Registro Fotográfico
Rio Tumbes, aguas abajo de Quebrada Las Peñas.	

**Tabla 41.** Resultados de los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2019 al 2020 en el punto de muestreo RTumb9

PARÁMETROS		Cat.1-A2	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
<b>Materia Orgánica</b>	Amoniaco-N	<=1,5	0,059	0,068	0,126	< 0,008
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	<=5	< 2	< 2	3	2
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<=20	< 2	16	7	< 2
	Fósforo Total	<=0,15	< 0,01	< 0,01	<b>0,172</b>	0,11
	Oxígeno Disuelto	=5	7,91	9,36	8,105	7,298
	Coliformes Termotolerantes	<=2000	490	49	130	79

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, el parámetro Fósforo Total No cumplen el ECA Agua para la categoría 1 subcategoría A2; siendo un total de un (01) dato el que estaría excediendo el ECA Agua entre los años 2019 al 2020.

**Tabla 42.** Resultados de los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2019 al 2020 en el punto de muestreo RTumb9

PARÁMETROS		Cat.1-A2	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
Físico – Químicos / Inorgánicos	pH	5,5 – 9,0	7,15	8,26	8,052	7,909
	Aluminio	<=5	1,665	1,07	2,696	3,521
	Arsénico	<=0,01	<b>0,05072</b>	<b>0,0512</b>	<b>0,4435</b>	<b>0,1898</b>
	Cadmio	<=0,005	0,00088	0,00093	0,00196	0,00215
	Hierro	<=1	<b>3,246</b>	<b>2,413</b>	<b>6,996</b>	<b>8,102</b>
	Manganeso	<=0,4	0,21636	0,3057	<b>0,4095</b>	<b>0,5466</b>
	Plomo	<=0,05	<b>0,0886</b>	<b>0,0753</b>	<b>0,2085</b>	<b>0,2461</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, los parámetros arsénico, hierro, manganeso y plomo No cumplen el ECA Agua para la “categoría 1 subcategoría A2”; siendo un total de catorce (14) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2019 al 2020.

a) **Cálculo del subíndice 1 (S1) - Parámetros asociados a materia orgánica.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 41 se realizará el cálculo del subíndice 1 para los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2019 al 2020.

**Tabla 43.** Cálculo del subíndice 1 para el punto de muestreo RTumb9 según la metodología ICARHS

PUNTO		RTumb9			
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua		1			
Cantidad total de parámetros a evaluar		6			
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua		1			
Total de Datos		24			
$Excedente = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$					
Parámetros	Cat.4-E2	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
Amoniac-N	<=1,5				
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	<=5				
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<=20				
Fósforo Total	<=0,15			0,146667	
Oxígeno Disuelto	=5				
Coliformes Termotolerantes	<=2000				
<b>Suma normalizada de Excedentes =</b> $\left( \frac{\sum_{i=1}^n Excedente\ i}{\text{Total de datos}} \right)$				0,006	
<b>F1 =</b> $\frac{\text{Nº de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Nº total de parametros a evaluar}}$				16,66	
<b>F2 =</b> $\frac{\text{Nº de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{Nº total de datos evaluados}}$				4,16	
<b>F3 =</b> $\left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$				0,60	

<b>Valor de la Calificación Sub Índice 1</b> $CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)$	90
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>BUENO</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 1 para parámetros asociados a materia orgánica es bueno, lo cual se interpreta que los niveles de calidad del recurso hídrico se alejan del agua en su forma natural, sin embargo, en condiciones óptimas se encuentran aún algún tipo de amenaza aunque suelen ser de poca magnitud

**b) Cálculo del subíndice 2 (S2) - Parámetros Físico- Químicos.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 41 se realizará el cálculo del subíndice 2 para los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2016 al 2020.

**Tabla 44.** Cálculo del subíndice 2 para el punto de muestreo RTumb9 según la metodología ICARHS

PUNTO		RTumb9			
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua		4			
Cantidad total de parámetros a evaluar		7			
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua		14			
Total de Datos		28			
$Excedente = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$					
Parámetros	Cat.4-E2	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
pH	5,5 – 9,0				
Aluminio	<=5				
Arsénico	<=0,01	4,072	4,12	43,35	17,98
Cadmio	<=0,005				
Hierro	<=1	2,246	1,413	5,996	7,102
Manganeso	<=0,4			0,02375	0,3665
Plomo	<=0,05	0,772	0,506	3,17	3,922
<b>Suma normalizada de Excedentes =</b> $\left( \frac{\sum_{i=1}^n Excedente\ i}{\text{Total de datos}} \right)$				3,394	

$F1 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de parámetros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de parámetros a evaluar}}$	57,14
$F2 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de datos evaluados}}$	50
$F3 = \left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$	77,24
<p>Valor de la Calificación Sub Índice 1</p> $CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)$	37
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>PÉSIMO</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 2 para parámetros físico – químicos es pésimo, lo cual se interpreta que la calidad del agua incumple con los objetivos, por lo que casi siempre se encuentra amenazada o dañada. Así, todos los usos necesitan de un tratamiento.

#### 4.1.9. Punto de muestreo RTumb3

Descripción	Registro Fotográfico
Rio Tumbes, Bocatoma La Peña	

**Tabla 45.** Resultados de los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2019 al 2020 en el punto de muestreo RTumb3

PARÁMETROS		Cat.1-A2	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
<b>Materia Orgánica</b>	Amoniaco-N	<=1,5	0,052	0,315	0,125	0,082
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	<=5	< 2	5	4	3
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<=20	5	14	12	4
	Fósforo Total	<=0,15	< 0,01	0,072	<b>0,179</b>	<b>0,198</b>
	Oxígeno Disuelto	=5	7,988	7,87	8,373	6,691

	Coliformes Termotolerantes	<=2000	790	< 1,8	490	130
--	----------------------------	--------	-----	-------	-----	-----

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, el parámetro Fósforo Total No cumplen el ECA Agua para la categoría 1 subcategoría A2; siendo un total de dos (02) dato el que estaría excediendo el ECA Agua entre los años 2019 al 2020.

**Tabla 46.** Resultados de los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2019 al 2020 en el punto de muestreo RTumb3

PARÁMETROS		Cat.1-A2	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
<b>Físico – Químicos / Inorgánicos</b>	pH	5,5 – 9,0	7,9	7,9	8,369	7,888
	Aluminio	<=5	2,022	3,985	1,657	<b>6,01</b>
	Arsénico	<=0,01	<b>0,06513</b>	<b>0,108</b>	<b>0,2587</b>	<b>0,2814</b>
	Cadmio	<=0,005	0,00108	0,00305	0,00134	0,00372
	Hierro	<=1	<b>3,645</b>	<b>8,956</b>	<b>4,365</b>	<b>12,78</b>
	Manganeso	<=0,4	0,20343	<b>0,5146</b>	0,2291	<b>0,7176</b>
	Plomo	<=0,05	<b>0,1088</b>	<b>0,2745</b>	<b>0,1338</b>	<b>0,3717</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, los parámetros aluminio, arsénico, hierro, manganeso y plomo No cumplen el ECA Agua para la “categoría 1 subcategoría A2”; siendo un total de quince (15) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2019 al 2020.



a) **Cálculo del subíndice 1 (S1) - Parámetros asociados a materia orgánica.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 45 se realizará el cálculo del subíndice 1 para los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2019 al 2020.

**Tabla 47.** Cálculo del subíndice 1 para el punto de muestreo RTumb3 según la metodología ICARHS

PUNTO		RTumb3			
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua		1			
Cantidad total de parámetros a evaluar		6			
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua		2			
Total de Datos		24			
$Excedente = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$					
Parámetros	Cat.4-E2	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
Amoniaco-N	<=1,5				
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	<=5				
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<=20				
Fósforo Total	<=0,15			0,193333	0,32
Oxígeno Disuelto	=5				
Coliformes Termotolerantes	<=2000				
<b>Suma normalizada de Excedentes =</b> $\left( \frac{\sum_{i=1}^n Excedente\ i}{\text{Total de datos}} \right)$				0,021	
<b>F1 =</b> $\frac{\text{Nº de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Nº total de parametros a evaluar}}$				16,66	
<b>F2 =</b> $\frac{\text{Nº de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{Nº total de datos evaluados}}$				8,33	
<b>F3 =</b> $\left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$				2,09	

<b>Valor de la Calificación Sub Índice 1</b> $CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)$	89
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>BUENO</b>

**Nota:** Elaboración propia.

Según la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 1 para parámetros asociados a materia orgánica es bueno, lo cual se interpreta como que la calidad del agua dista de la calidad natural de este recurso; las condiciones óptimas suelen estar amenazadas o considerar daños, aunque mínimos.

**b) Cálculo del subíndice 2 (S2) - Parámetros Físico- Químicos.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 45 se realizará el cálculo del subíndice 2 para los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2016 al 2020.

**Tabla 48.** Cálculo del subíndice 2 para el punto de muestreo RTumb3 según la metodología ICARHS


PUNTO		RTumb3			
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua		5			
Cantidad total de parámetros a evaluar		7			
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua		15			
Total de Datos		28			
$Excedente = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$					
Parámetros	Cat.4-E2	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
pH	5,5 – 9,0				
Aluminio	<=5				0,202
Arsénico	<=0,01	5,513	9,8	24,87	27,14
Cadmio	<=0,005				
Hierro	<=1	2,645	7,956	3,365	11,78
Manganeso	<=0,4		0,2865		0,794
Plomo	<=0,05	1,176	4,49	1,676	6,434
				3,861	

<b>Suma normalizada de Excedentes = <math>\left( \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente } i}{\text{Total de datos}} \right)</math></b>	
<b><math>F1 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de parametros a evaluar}}</math></b>	71,42
<b><math>F2 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de datos evaluados}}</math></b>	53,57
<b><math>F3 = \left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100</math></b>	79,43
<b>Valor de la Calificación Sub Índice 1</b>  <b><math>CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)</math></b>	31
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>PÉSIMO</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 2 para parámetros físico – químicos es pésimo, lo cual se interpreta que los niveles de la calidad del recurso en cuestión incumplen con los objetivos deseados, ya que casi siempre está amenazada y cuando se necesita para cualquier uso, debe obligatoriamente pasar por un proceso de tratamiento.

#### 4.1.10. Punto de muestreo RTumb5

Descripción	Registro Fotográfico
Río Tumbes, Bocatoma de la captación de la EPS ATUSA (altura Parque El Beso)	

**Tabla 49.** Resultados de los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2016 al 2020 en el punto de muestreo RTumb5

PARÁMETROS		Cat.1-A2	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
<b>Materia Orgánica</b>	Amoníaco-N	<=1,5	0,05	< 0,01			< 0,006	0,022		0,073	< 0,008	< 0,008
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	<=5	7	< 3	< 2	< 2	< 2	< 2	3	< 2	< 2	< 2
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<=20	18	8	< 2	20	< 2	< 2	8	20	8	3
	Fósforo Total	<=0,15	0,134	0,037	0,007		0,058	0,084	0,183	< 0,01	0,228	0,112

	Oxígeno Disuelto	=5	7,75	7,81	7,3	8,01	8,049	8,123	7,877	9,16	8,64	8,135
	Coliformes	<=2000	<b>4900</b>	49	33	130	<b>3500</b>	170	<b>7000</b>	33	1300	1700
	Termotolerantes											

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, el parámetro DBO5, Fósforo Total y coliformes termotolerantes No cumplen el ECA Agua para la “categoría 1 subcategoría A2”; siendo un total de seis (06) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2016 al 2020.

**Tabla 50.** Resultados de los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2016 al 2020 en el punto de muestreo RTumb5

PARÁMETROS		Cat.1-A2	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
Físico – Químicos / Inorgánicos	pH	5,5 – 9,0	7,82	7,868		8,051	7,674	8,072	7,56	7,64	8,556	8,151
	Aluminio	<=5	<b>5,214</b>	1,393	0,888	1,28	2,132	0,553	2,564	1,364	2,117	2,261
	Arsénico	<=0,01	<b>0,023</b>	<b>0,033</b>	<b>0,03794</b>	<b>0,1596</b>	<b>0,02915</b>	<b>0,05386</b>	<b>0,10834</b>	<b>0,053</b>	<b>0,163</b>	<b>0,1285</b>
	Cadmio	<=0,005	0,00045	0,00037	0,00077	0,00078	0,00052	0,0004	0,00213	0,00078	0,00119	0,00132
	Hierro	<=1	<b>8,889</b>	<b>1,795</b>	<b>1,797</b>	<b>2,66</b>	<b>2,845</b>	0,8354	<b>6,27</b>	<b>2,967</b>	<b>4,506</b>	<b>5,054</b>
	Manganeso	<=0,4	<b>0,493</b>	0,154	0,13371	0,26933	0,11248	0,21319	0,27893	0,1813	0,2161	0,3404
	Plomo	<=0,05	<b>0,088</b>	< 0,001	<b>0,0894</b>	<b>0,069</b>	<b>0,0556</b>	0,0209	<b>0,1756</b>	<b>0,0815</b>	<b>0,1452</b>	<b>0,154</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, los parámetros aluminio, arsénico, hierro, manganeso y plomo No cumplen el ECA Agua para la “categoría 1 subcategoría A2”; siendo un total de veintinueve (29) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2019 al 2020.

a) **Cálculo del subíndice 1 (S1) - Parámetros asociados a materia orgánica.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 49 se realizará el cálculo del subíndice 1 para los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2016 al 2020.

**Tabla 51.** Cálculo del subíndice 1 para el punto de muestreo RTumb5 según la metodología ICARHS

PUNTO		RTumb5									
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua		3									
Cantidad total de parámetros a evaluar		6									
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua		6									
Total de Datos		56									
$Excedente = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$											
Parámetros	Cat.4- E2	2016 -I	2016 -II	2017 -I	2017- II	2018 -I	2018 -II	2019 -I	2019 -II	2020 -I	2020 -II
Amoniaco-N	<=1,5										
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	<=5	0,4									
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<=20										
Fósforo Total	<=0,15							0,22		0,52	
Oxígeno Disuelto	=5										
Coliformes Termotolerantes	<=2000	1,45				0,75		2,5			
Suma normalizada de Excedentes = $\left( \frac{\sum_{i=1}^n Excedente\ i}{\text{Total de datos}} \right)$								0,104			
$F1 = \frac{\text{Nº de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Nº total de parametros a evaluar}}$								50			
$F2 = \frac{\text{Nº de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{Nº total de datos evaluados}}$								10,71			



Hierro	<=1	7,889	0,795	0,797	1,66	1,845		5,27	1,967	3,506	4,054
Manganeso	<=0,4	0,2325									
Plomo	<=0,05	0,76		0,788	0,38	0,112		2,512	0,63	1,904	2,08
<b>Suma normalizada de Excedentes = <math>\left( \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente } i}{\text{Total de datos}} \right)</math></b>								1,538			
<b><math>F1 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de parametros a evaluar}}</math></b>								71,42			
<b><math>F2 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de datos evaluados}}</math></b>								42,02			
<b><math>F3 = \left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100</math></b>								60,60			
<b>Valor de la Calificación Sub Índice 1</b>								41			
<b><math>CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)</math></b>											
<b>CALIFICACIÓN</b>								<b>PÉSIMO</b>			

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 2 para parámetros físico – químicos es pésimo, lo cual se interpreta que la calidad del agua incumple con los objetivos, por lo que casi siempre se encuentra dañada, y así todos los usos necesitan de tratamiento.

#### 4.1.11. Punto de muestreo RTumb6

Descripción	Registro Fotográfico
<p>Río Tumbes, 300 m aprox. Después de la caseta de bombeo de aguas servidas “Coloma” de la ciudad de Tumbes (Aductor La Tuna)</p>	

**Tabla 53.** Resultados de los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2016 al 2020 en el punto de muestreo RTumb5

PARÁMETROS		Cat.1-A2	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
<b>Materia Orgánica</b>	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	<=15	7	7	< 2	7	< 2	30	6	< 2	4	176
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<=40	12	16	< 2	62	3	67	15	14	67	5107
	Oxígeno Disuelto	>=5	7,04	7,6	7,26	7,07	7,914	6,11	7,786	7,587	8,404	7,021
	Coliformes Termotolerantes	<=1000	1300000	7900000	2400	1700000	1100000	1700000	170000	240	11000	140000

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, el parámetro DBO5, DQO y coliformes termotolerantes No cumplen el ECA Agua para la “categoría 3 subcategoría D1/D2”; siendo un total de quince (15) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2016 al 2020.

**Tabla 54.** Resultados de los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2016 al 2020 en el punto de muestreo RTumb5

PARÁMETROS	Cat.1- A2	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II	
pH	6,5 – 8,4	7,06	7,778		7,802	7,618	7,56	7,09	7,61	8,278	8,025	
Físico – Químicos / Inorgánicos	Aluminio	<=5	4,095	1,125	0,988	0,951	2,452	0,279	1,68	1,218	<b>7,307</b>	<b>423,4</b>
	Arsénico	<=0,1	0,018	0,028	0,03978	<b>0,12555</b>	0,03527	0,04817	0,06504	0,0475	<b>0,288</b>	<b>10,24</b>
	Cadmio	<=0,01	0,00032	0,0004	0,00074	0,00069	0,00064	< 0,00001	0,00095	0,00069	0,00275	<b>0,1936</b>
	Cobre	<=0,2	0,08	0,05	0,06256	0,06519	0,05548	0,01603	0,08294	0,0758	<b>0,2371</b>	<b>14,67</b>
	Hierro	<=5	<b>7,008</b>	1,796	2,031	1,944	3,388	0,4629	3,989	2,565	<b>14,28</b>	<b>904,1</b>
	Manganeso	<=0,2	<b>0,389</b>	<b>0,205</b>	0,14701	<b>0,21903</b>	0,13912	<b>0,20083</b>	<b>0,21061</b>	0,1741	<b>0,5566</b>	<b>27,55</b>
	Plomo	<=0,05	<b>0,066</b>	0,038	<b>0,0906</b>	0,0478	<b>0,0591</b>	0,0137	<b>0,1292</b>	<b>0,073</b>	<b>0,2751</b>	<b>17,11</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, los parámetros aluminio, arsénico, cadmio, cobre, hierro, manganeso y plomo No cumplen el ECA Agua para la “categoría 3 subcategoría D1/D2”; siendo un total de veinticinco (25) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2019 al 2020.



a) **Cálculo del subíndice 1 (S1) - Parámetros asociados a materia orgánica.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 53 se realizará el cálculo del subíndice 1 para los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2016 al 2020.

**Tabla 55.** Cálculo del subíndice 1 para el punto de muestreo RTumb5 según la metodología ICARHS

PUNTO						RTumb5					
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua						3					
Cantidad total de parámetros a evaluar						4					
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua						15					
Total de Datos						40					
$Excedente = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$											
Parámetros	Cat.4-E2	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	<=15						1				10,7333
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<=40				0,55		0,675			0,675	126,675
Oxígeno Disuelto	>=5										
Coliformes Termotolerantes	<=1000	1299	7899	1,4	1699	1099	1699	169		10	139
<b>Suma normalizada de Excedentes =</b> $\left( \frac{\sum_{i=1}^n Excedente\ i}{\text{Total de datos}} \right)$						353,867					
<b>F1 =</b> $\frac{\text{Nº de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Nº total de parametros a evaluar}}$						75					
<b>F2 =</b> $\frac{\text{Nº de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{Nº total de datos evaluados}}$						37,5					
						99,71					

$F3 = \left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$	
<p>Valor de la Calificación Sub Índice 1</p> $CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)$	25
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>PÉSIMO</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 1 para parámetros asociados a materia orgánica es pésimo, lo cual se interpreta que la calidad del agua no cumple con los objetivos de esta, y casi siempre se encuentran amenazadas o dañadas estas fuentes. Así, todos los usos necesitan de tratamiento.

**b) Cálculo del subíndice 2 (S2) - Parámetros Físico- Químicos.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 53 se realizará el cálculo del subíndice 2 para los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2016 al 2020.

**Tabla 56.** Cálculo del subíndice 2 para el punto de muestreo RTumb5 según la metodología ICARHS


PUNTO		RTumb5									
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua		7									
Cantidad total de parámetros a evaluar		8									
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua		25									
Total de Datos		79									
$\text{Excedente} = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$											
Parámetros	Cat.4-E2	2016 -I	2016 -II	2017 -I	2017 -II	2018 -I	2018 -II	2019 -I	2019 -II	2020 -I	2020 -II
pH	6,5 – 8,4										
Aluminio	<=5									0,461	83,68
Arsénico	<=0,1				0,2555					1,88	101,4
Cadmio	<=0,01										18,36
Cobre	<=0,2									0,1855	72,35

Hierro	<=5	0,4016							1,856	179,82	
Manganeso	<=0,2	0,945	0,025		0,095		0,004	0,053	1,783	136,75	
Plomo	<=0,05	0,32		0,812		0,182		1,584	0,46	4,502	341,2
<b>Suma normalizada de Excedentes = <math>\left( \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente } i}{\text{Total de datos}} \right)</math></b>									12,017		
<b><math>F1 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de parametros a evaluar}}</math></b>									87,5		
<b><math>F2 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de datos evaluados}}</math></b>									31,64		
<b><math>F3 = \left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100</math></b>									92,31		
<b>Valor de la Calificación Sub Índice 1</b>									24		
<b><math>CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)</math></b>											
<b>CALIFICACIÓN</b>									<b>PÉSIMO</b>		

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 2 para parámetros físico – químicos es pésimo, lo cual se interpreta que la calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada y todos los usos que se le puedan asignar necesitan de un tratamiento.

#### 4.1.12. Punto de muestreo RTumb7

Descripción	Registro Fotográfico
<p>Rio Tumbes, 2 km aprox. Antes de la desembocadura al mar "Boca Mal Pelo".</p>	

**Tabla 57.** Resultados de los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2019 al 2020 en el punto de muestreo RTumb7

PARÁMETROS		Cat.1-A2	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
<b>Materia Orgánica</b>	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	<=15	3	2	4	6
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<=40	11	29	8	9
	Oxígeno Disuelto	>=5	7,136	9,91	8,743	7,092

	Coliformes Termotolerantes	<=1000	<b>1100</b>	33	240	<b>11000</b>
--	----------------------------	--------	-------------	----	-----	--------------

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, el parámetro coliforme termotolerantes No cumplen el ECA Agua para la “categoría 3 subcategoría D1/D2”; siendo un total de dos (02) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2019 al 2020.

**Tabla 58.** Resultados de los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2019 al 2020 en el punto de muestreo RTumb7

PARÁMETROS		Cat.1-A2	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
<b>Físico – Químicos / Inorgánicos</b>	pH	6,5 – 8,4	7,87	7,2	7,723	7,985
	Aluminio	<=5	0,834	0,803	1,33	<b>5,475</b>
	Arsénico	<=0,1	0,03285	0,0391	0,0533	<b>0,1019</b>
	Cadmio	<=0,01	0,00079	0,00055	0,00051	0,00183
	Cobre	<=0,2	0,02521	0,0124	0,0129	0,0326
	Hierro	<=5	1,595	1,552	2,066	<b>8,437</b>
	Manganeso	<=0,2	<b>0,847</b>	<b>3,29</b>	<b>0,8944</b>	<b>1,997</b>
	Plomo	<=0,05	0,032	0,0095	0,0166	0,0318

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, los parámetros aluminio, arsénico y manganeso No cumplen el ECA Agua para la “categoría 3 subcategoría D1/D2”; siendo un total de siete (07) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2019 al 2020.



a) **Cálculo del subíndice 1 (S1) - Parámetros asociados a materia orgánica.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 57 se realizará el cálculo del subíndice 1 para los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2019 al 2020.

**Tabla 59.** Cálculo del subíndice 1 para el punto de muestreo RTum7 según la metodología ICARHS

PUNTO		RTumb7			
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua		1			
Cantidad total de parámetros a evaluar		4			
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua		2			
Total de Datos		16			
$Excedente = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$					
Parámetros	Cat.4-E2	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	<=15				
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<=40				
Oxígeno Disuelto	>=5				
Coliformes Termotolerantes	<=1000	0,1			10
<b>Suma normalizada de Excedentes</b> = $\left( \frac{\sum_{i=1}^n Excedente\ i}{\text{Total de datos}} \right)$				0,631	
<b>F1</b> = $\frac{\text{Nº de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Nº total de parametros a evaluar}}$				25	
<b>F2</b> = $\frac{\text{Nº de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{Nº total de datos evaluados}}$				12,5	
<b>F3</b> = $\left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$				38,69	

<p><b>Valor de la Calificación Sub Índice 1</b></p> $CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)$	72
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>REGULAR</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 1 para parámetros asociados a materia orgánica es regular, lo cual se interpreta como que la calidad del agua se encuentra por debajo de los valores deseados por amenazas o daños ajenos; en tanto muchos de los usos requieren de tratamiento.

**b) Cálculo del subíndice 2 (S2) - Parámetros Físico- Químicos.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 57 se realizará el cálculo del subíndice 2 para los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2019 al 2020.

**Tabla 60.** Cálculo del subíndice 2 para el punto de muestreo RTumb7 según la metodología ICARHS

PUNTO		RTumb7			
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua		4			
Cantidad total de parámetros a evaluar		8			
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua		7			
Total de Datos		32			
$\text{Excedente} = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$					
Parámetros	Cat.4-E2	2019-I	2019-II	2020-I	2020-II
pH	6,5 – 8,4				
Aluminio	<=5				0,095
Arsénico	<=0,1				0,019
Cadmio	<=0,01				
Cobre	<=0,2				
Hierro	<=5				0,6874
Manganeso	<=0,2	3,235	15,45	3,472	8,985
Plomo	<=0,05				
				0,998	

<b>Suma normalizada de Excedentes</b> = $\left( \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente } i}{\text{Total de datos}} \right)$	
$F1 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de parámetros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de parámetros a evaluar}}$	50
$F2 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de datos evaluados}}$	21,87
$F3 = \left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$	49,95
<b>Valor de la Calificación Sub Índice 1</b>  $CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)$	57
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>MALO</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 2 para parámetros físico – químicos es malo, lo cual se interpreta que los estándares del agua no cumplen con la calidad deseada por amenazas o perjuicios frecuentes; así, muchos de los usos requieren de tratamiento.

#### 4.1.13. Punto de muestreo RTumb8

Descripción	Registro Fotográfico
Río Tumbes, desembocadura al mar “Boca Cherres”	 <p>Monitoreo De Calidad De Los Recursos Hídricos Superficiales UN 1394 CUENCA TUMBES Punto De Muestreo: RTumb8 COORDENADAS UTM: 1559411, 9412822 T°: 26.99 °C PH: 8.503 Cl: 212 m/s Op: 7960 mg/l FECHA: 26/06/2021 HORA: 09:00</p>

**Tabla 61.** Resultados de los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2016 al 2020 en el punto de muestreo RTumb8

PARÁMETROS		Cat.1-A2	2016-I	2017-I	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I
<b>Materia Orgánica</b>	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	<=15	6	< 2	< 2	4	< 2	< 2	< 2
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<=40	24	< 2	<b>388</b>	17	4	< 2	5
	Oxígeno Disuelto	>=5	7,51	6,51	7,69	7,614	7,785	7,48	7,148
	Coliformes Termotolerantes	<=1000	<b>79000</b>	330	<b>17000</b>	<b>17000</b>	<b>7000</b>	<b>13000</b>	130

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, el parámetro DQO y coliformes termotolerantes No cumplen el ECA Agua para la “categoría 3 subcategoría D1/D2”; siendo un total de seis (06) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2016 al 2020.

**Tabla 62.** Resultados de los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2016 al 2020 en el punto de muestreo RTumb8

PARÁMETROS		Cat.1-A2	2016-I	2017-I	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I
Físico – Químicos / Inorgánicos	pH	6,5 – 8,4	7,29		7,844	7,808	7,9	7,79	7,931
	Aluminio	<=5	4,482	0,743	0,188	2,337	1,083	0,773	0,247
	Arsénico	<=0,1	0,015	0,04767	0,06142	0,05236	0,04007	0,0359	0,0369
	Cadmio	<=0,01	0,00032	0,0005	0,00037	0,00109	0,00049	0,00042	0,00044
	Cobre	<=0,2	0,063	0,04174	0,01162	0,04802	0,0421	0,0316	0,0098
	Hierro	<=5	<b>7,311</b>	1,658	0,4402	3,406	1,999	1,328	0,466
	Manganeso	<=0,2	<b>0,301</b>	0,14166	<b>0,35922</b>	0,14185	0,09936	<b>0,2078</b>	<b>0,4771</b>
	Plomo	<=0,05	<b>0,055</b>	<b>0,0587</b>	0,0092	<b>0,0782</b>	<b>0,0524</b>	0,0333	0,0074

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información descrita en la tabla anterior, los parámetros, hierro, manganeso y plomo No cumplen el ECA Agua para la “categoría 3 subcategoría D1/D2”; siendo un total de nueve (09) datos los que estarían excediendo el ECA Agua entre los años 2016 al 2020.

a) **Cálculo del subíndice 1 (S1) - Parámetros asociados a materia orgánica.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 61 se realizará el cálculo del subíndice 1 para los parámetros asociados a materia orgánica obtenidos entre los años 2016 al 2020.

**Tabla 63.** Cálculo del subíndice 1 para el punto de muestreo RTumb8 según la metodología ICARHS

PUNTO		RTumb8						
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua		2						
Cantidad total de parámetros a evaluar		4						
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua		6						
Total de Datos		28						
$Excedente = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$								
Parámetros	Cat.4-E2	2016-I	2017-I	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	<=15							
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<=40			8,7				
Oxígeno Disuelto	>=5							
Coliformes Termotolerantes	<=1000	78		16	16	6	12	
Suma normalizada de Excedentes =		$\left( \frac{\sum_{i=1}^n Excedente i}{\text{Total de datos}} \right)$					4,882	
F1 =		$\frac{\text{Nº de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Nº total de parametros a evaluar}}$					50	
F2 =		$\frac{\text{Nº de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{Nº total de datos evaluados}}$					21,42	
F3 =		$\left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$					82,99	

<p>Valor de la Calificación Sub Índice 1</p> $CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)$	43
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>PÉSIMO</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 1 para parámetros asociados a materia orgánica es pésimo, lo cual se interpreta que la calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan Tratamiento.

**b) Cálculo del subíndice 2 (S2) - Parámetros Físico- Químicos.**

De acuerdo con la información descrita en la Tabla 61 se realizará el cálculo del subíndice 2 para los parámetros Físico- Químicos obtenidos entre los años 2016 al 2020.

**Tabla 64.** Cálculo del subíndice 2 para el punto de muestreo RTumb8 según la metodología ICARHS

PUNTO								RTumb8
Cantidad de parámetros que INCUMPLEN el ECA para Agua								3
Cantidad total de parámetros a evaluar								8
Cantidad de datos que INCUMPLEN el ECA para Agua								9
Total de Datos								55
$Excedente = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en los ECA Agua}} \right) - 1$								
Parámetros	Cat.4-E2	2016-I	2017-I	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II	2020-I
pH	6,5 – 8,4							
Aluminio	<=5							
Arsénico	<=0,1							
Cadmio	<=0,01							
Cobre	<=0,2							
Hierro	<=5	0,4622						
Manganeso	<=0,2	0,505		0,7961			0,039	1,3855
Plomo	<=0,05	0,1	0,174		0,564	0,048		
								0,074

<b>Suma normalizada de Excedentes</b> = $\left( \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente } i}{\text{Total de datos}} \right)$	
$F1 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de parametros a evaluar}}$	37,5
$F2 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de los datos que NO cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de datos evaluados}}$	16,36
$F3 = \left( \frac{\text{Suma normalizada de Excedentes}}{\text{Suma normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$	6,89
<b>Valor de la Calificación Sub Índice 1</b>  $CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right)$	76
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>REGULAR</b>

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla anterior, el valor de la calificación Subíndice 2 para parámetros físico – químicos es regular, lo cual se interpreta que la calidad de agua natural a veces se encuentra amenazada o dañada, por lo que la calidad de este recurso a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento.

#### 4.2. RESUMEN DE LA APLICACIÓN DEL ICARHS EN LA CUENCA TUMBES.

**Tabla 65.** *Parámetros que trasgreden el ECA Agua para el Subíndice 1 (S1) que agrupa parámetros asociados a materia orgánica y el cálculo del Subíndice 2 (S2) que agrupa a parámetros físicos-químicos y metales*

Código	Punto	Categoría	Nro Monitoreos	Parámetros que Transgreden el ECA S1		Parámetros que Transgreden el ECA S2	
1394	RPuya1	Cat.4-E2 Rios Costa y Sierra	8	Coliformes Termotolerantes	3	Arsénico	2
						Cobre	5
						Mercurio	2
				Fósforo Total	4	Plomo	7
						Sólidos Suspendidos Totales	3
						Zinc	4
1394	RPuya2	Cat.4-E2 Rios Costa y Sierra	6	Coliformes Termotolerantes	2	Arsénico	3
						Cobre	4
				Fósforo Total	4	Mercurio	4
						Plomo	6
						Zinc	5
1394	QCaza1	Cat.4-E2 Rios Costa y Sierra	10	Fósforo Total	4	Plomo	3
						Sólidos Suspendidos Totales	2
1394	RTumb1	Cat.4-E2 Rios Costa y Sierra	10	Coliformes Termotolerantes	1	Arsénico	4
						Cobre	7
						Mercurio	5
				Fósforo Total	6	Plomo	10
						Sólidos Suspendidos Totales	3
						Zinc	8
1394	RTumb2	Cat.4-E2 Rios Costa y Sierra	4	Fósforo Total	2	Arsénico	2
						Cobre	3
						Mercurio	2
						Plomo	4

						Zinc	3	
						pH	1	
1394	RTumb11	Cat.1-A2	10		Coliformes Termotolerantes	2	Aluminio	1
					Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	1	Arsénico	10
					Demanda Química de Oxígeno (DQO)	1	Hierro	10
					Fósforo Total	2	Manganeso	4
							Plomo	9
1394	QCabu1	Cat.1-A2	10		Coliformes Termotolerantes	1		
					Fósforo Total	4		
1394	RTumb3	Cat.1-A2	4		Fósforo Total	2	Aluminio	1
							Arsénico	4
							Hierro	4
							Manganeso	2
							Plomo	4
1394	RTumb9	Cat.1-A2	4		Fósforo Total	1	Arsénico	4
							Hierro	4
							Manganeso	2
							Plomo	4
1394	RTumb5	Cat.1-A2	10		Coliformes Termotolerantes	3	Aluminio	1

**Nota:** Elaboración propia.

**Tabla 66.** Resumen del cálculo del índice de calidad de los recursos hídricos superficiales en las 13 estaciones de monitoreo de la Cuenca Tumbes

N°	Punto	Categoría	N° Monitoreos	Descripción	SubÍndice 1 (Materia Orgánica)		SubÍndice 2 (Físico Químico - Metal)	
					Valor	Calificación	Valor	Calificación
1	RPuyal	Cat.4-E2 Rios Costa y Sierra	8	Río Puyango, en el Hito Cóndor Flores, 200 m aguas abajo	48	Malo	24	Pésimo

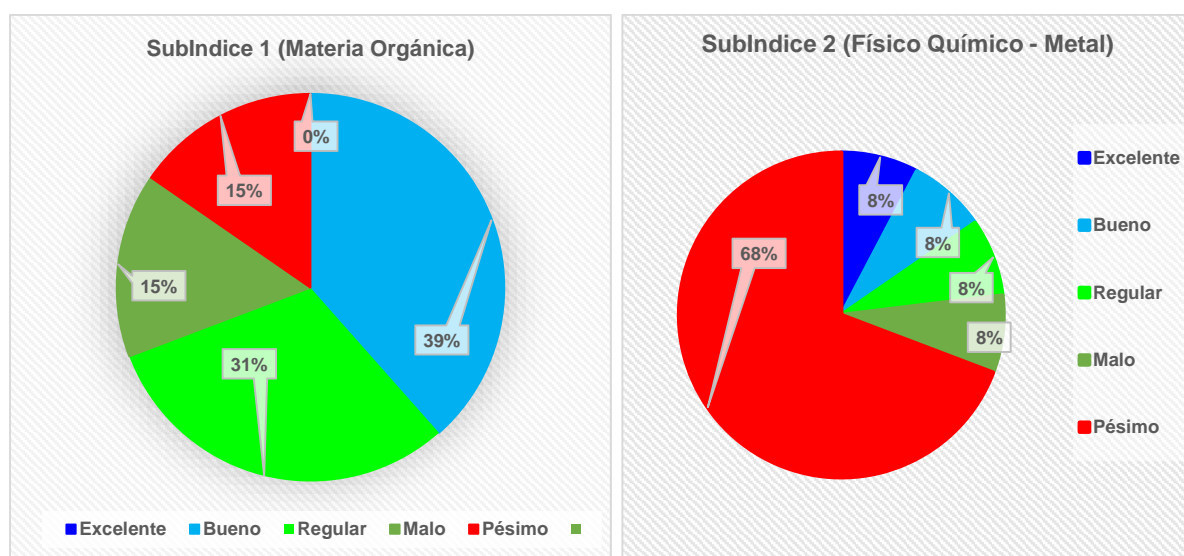
				de la quebrada Linda Chara				
2	RPuya2	Cat.4-E2 Rios Costa y Sierra	6	Río Puyango, aprox. A 200m antes de la confluencia con la Qda. Cazaderos (Cabo Inga)	69	Regular	21	Pésimo
3	QCaza1	Cat.4-E2 Rios Costa y Sierra	10	Quebrada Cazaderos, 50 m antes de confluencia con el río Puyango	86	Bueno	81	Bueno
4	RTumb1	Cat.4-E2 Rios Costa y Sierra	10	Río Tumbes, después de unión con la quebrada Cazaderos	74	Regular	20	Pésimo
5	RTumb2	Cat.4-E2 Rios Costa y Sierra	4	Río Tumbes a 400 m del Puesto de Salud de Rica Playa.	84	Bueno	19	Pésimo
6	RTumb11	Cat.1-A2	10	Río Tumbes, Estación Hidrometeorológica El Tigre	60	Malo	36	Pésimo
7	QCabu1	Cat.1-A2	10	Quebrada Cabuyal, a 300 m antes de juntarse con el río Tumbes	80	Bueno	100	Excelente
8	RTumb3	Cat.1-A2	4	Río Tumbes, Bocatoma La Peña	89	Bueno	31	Pésimo
9	RTumb9	Cat.1-A2	4	Río Tumbes, aguas abajo de Quebrada Las Peñas	90	Bueno	37	Pésimo
10	RTumb5	Cat.1-A2	10	Río Tumbes, Bocatoma de la captación de la EPS ATUSA (altura Parque El Beso)	70	Regular	41	Pésimo

11	RTumb6	Cat.3	10	Río Tumbes, 300 m aprox. Después de la caseta de bombeo de aguas servidas "Coloma" de la ciudad de Tumbes Aductor La Tuna)	25	Pésimo	24	Pésimo
12	RTumb7	Cat.3	4	Río Tumbes, 2 km aprox. Antes de la desembocadura al mar "Boca Mal Pelo".	72	Regular	57	Malo
13	RTumb8	Cat.3	7	Río Tumbes, desembocadura al mar "Boca Cherres"	43	Pésimo	76	Regular

**Nota:** Elaboración propia.

En las tablas anteriores, se presentan el resumen del cálculo del Subíndice 1 (S1) y el cálculo del Subíndice 2 (S2), en los 13 puntos de muestreo de la Cuenca Tumbes; calificando cada punto de acuerdo al rango de evaluación en excelente, bueno, regular, malo y pésimo.

**Figura 9.** Representación porcentual de Calificación de la calidad de agua en la Cuenca Tumbes, para el Subíndice 1 (S1) y Subíndice 2 (S2)



**Nota:** Elaboración propia.



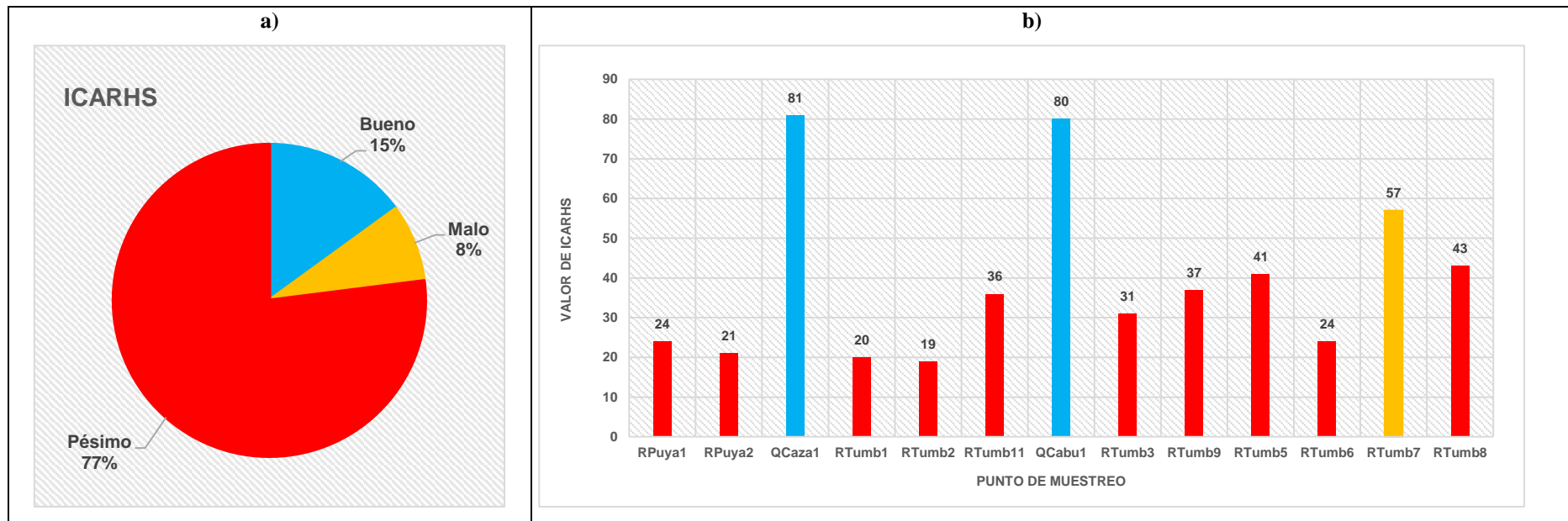
N°	PUNTO	CATEGORÍA	N° MONITOREOS	DESCRIPCIÓN	VALOR	CALIFICACIÓN
1	RPuya1	Cat.4-E2 Rios Costa y Sierra	8	Río Puyango, en el Hito Cóndor Flores, 200 m aguas abajo de la quebrada Linda Chara	24	Pésimo
2	RPuya2	Cat.4-E2 Rios Costa y Sierra	6	Río Puyango, aprox. A 200m antes de la confluencia con la Qda. Cazaderos (Cabo Inga)	21	Pésimo
3	QCaza1	Cat.4-E2 Rios Costa y Sierra	10	Quebrada Cazaderos, 50 m antes de confluencia con el río Puyango	81	Bueno
4	RTumb1	Cat.4-E2 Rios Costa y Sierra	10	Río Tumbes, después de unión con la quebrada Cazaderos	20	Pésimo
5	RTumb2	Cat.4-E2 Rios Costa y Sierra	4	Río Tumbes a 400 m del Puesto de Salud de Rica Playa.	19	Pésimo
6	RTumb11	Cat.1-A2	10	Río Tumbes, Estación Hidrometeorológica El Tigre	36	Pésimo
7	QCabu1	Cat.1-A2	10	Quebrada Cabuyal, a 300 m antes de juntarse con el río Tumbes	80	Bueno
8	RTumb3	Cat.1-A2	4	Río Tumbes, Bocatoma La Peña	31	Pésimo
9	RTumb9	Cat.1-A2	4	Río Tumbes, aguas abajo de Quebrada Las Peñas	37	Pésimo
10	RTumb5	Cat.1-A2	10	Río Tumbes, Bocatoma de la captación de la EPS ATUSA (altura Parque El Beso)	41	Pésimo
11	RTumb6	Cat.3	10	Río Tumbes, 300 m aprox. Después de la caseta de bombeo de	24	Pésimo

				aguas servidas "Coloma" de la ciudad de Tumbes Aductor La Tuna)		
12	RTumb7	Cat.3	4	Rio Tumbes, 2 km aprox. Antes de la desembocadura al mar "Boca Mal Pelo".	57	Malo
13	RTumb8	Cat.3	7	Río Tumbes, desembocadura al mar "Boca Cherres"	43	Pésimo

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla anterior, la calificación ICARHS es "bueno" en los puntos de cálculo de la Quebrada Cazaderos (QCaza1) y Quebrada Cabuyal (QCabu1), principales quebradas tributarias al río Tumbes; en el punto RTumb7 da una calificación de "malo" y en los puntos RPuya1, RPuya2, RTumb1, RTumb2, RTumb11, Rtumb3, RTumb9, Rtumb5, RTumb6 y RTumb8, da una calificación de "pésimo".

**Figura 10.** Representación del cálculo del índice de calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales (ICARH) de la Cuenca Tumbes



**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo al Figura 10.a); se concluye que la representación del cálculo del ICARHS realizado en los 13 puntos de muestreo comprendidos en la parte alta, media y baja de la Cuenca Tumbes; el 15% presentan calificación de calidad buena; el 8% presenta calificación de calidad mala y el 77% presentan calificación de calidad de agua en pésimo, apreciándose en Figura 10.b), que la mayor afectación a la calidad del agua se da en los puntos de muestreo RPuya1, RPuya2, RTumb1 y RTumb2 (parte alta de la cuenca); y persiste en los puntos de muestreo RTumb11, RTumb3, RTumb9 y RTumb5 (parte media de la cuenca Tumbes). Hay que destacar que la baja calificación viene dada por el subíndice 2, es decir, por los incumplimientos debido a la presencia de metales.

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1. Conclusiones

- En los puntos de monitoreo RPuya1 y RPuya2 (Río Puyango), correspondiente a tramo transfronterizo; por medio de la aplicación del ICARHS se conoció que la calidad de agua para el Subíndice S1 asociado a parámetros de materia orgánica presenta una calificación de calidad de agua mala con un valor de 48 y regular con un valor de 69 respectivamente; lo cual se interpreta que es mínima la afectación de la calidad por materia orgánica; sin embargo, para el Subíndice S2 asociado a parámetros físico químico – metal, presenta una calificación de calidad de agua pésimo; con un valor de 24 y 21 respectivamente; lo cual estaría relacionado principalmente con los vertimientos de la minería no formal que se ubica en la cabecera de cuenca transfronteriza (ríos Calera y Amarillo en el Ecuador), que generan lixiviados con componentes de sulfuros como la “pirita”, la “calcopirita”, la “galena”, la “arsenopirita” y la “esfalerita”; interpretándose que la calidad del agua incumple con los objetivos propuestos o deseados, además casi siempre se encuentra amenazada o dañada; lo cual la limita para el desarrollo de vida acuática y la restringe para uso poblacional, agrícola, entre otros.
- A partir del análisis se concluye que el Índice de Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales en la quebrada Cazaderos y Cabuyal, principales quebradas tributarias al río Tumbes, para el Subíndice S1 asociado a parámetros de materia orgánica presenta una calificación de calidad de agua buena, con valores promedio de 81 y 80 respectivamente, y para el Subíndice S2 asociado a parámetros físico químico – metal, presenta una calificación de calidad de agua buena y excelente con valores de 81 y 100 respectivamente; observando simetría o normalidad, lo cual se interpreta como que la calidad del agua dista los estándares del agua en su forma natural; en tanto las condiciones que se desean tienen aún presencia de elementos dañinos.
- En los puntos RTumb1 y RTumb2 de monitoreo, correspondientes a la parte alta del río Tumbes; mediante la aplicación del ICARHS se conoció que la calidad de agua para el Subíndice S1 asociado a parámetros de materia orgánica presenta una calificación de calidad de agua regular con un valor de 74 y bueno con un valor de 84 respectivamente; lo cual se interpreta que es mínima la afectación de la calidad por materia orgánica; sin

embargo, para el Subíndice S2 asociado a parámetros físico químico – metal, presenta una calificación de calidad de agua pésimo; con un valor de 20 y 19 respectivamente; lo cual estaría relacionado principalmente con los vertimientos de la minería no formal en la zona alta de la cuenca transfronteriza.

- Mediante la aplicación del ICARHS se conoció que la calidad de agua en la parte media de la cuenca del río Tumbes, para el Subíndice S1 asociado a parámetros de materia orgánica, el punto de monitoreo RTumb11, presento una calificación de calidad de agua mala con un valor de 60; para el punto RTumb3 y RTumb9 presento una calificación de calidad de agua buena con un valor de 89 y 90 respectivamente y para el punto RTumb5, presento una calificación de calidad de agua regular con un valor de 70; lo cual se interpreta que es mínima la afectación de la calidad por materia orgánica; sin embargo, para el Subíndice S2 asociado a parámetros físico químico – metal, en los cuatro puntos de monitoreo presenta una calificación de calidad de agua pésimo; con valores de 36, 31, 37 y 41; lo cual se encontraría asociada también a la actividad minera desarrollada en Ecuador, debido a la persistencia y arrastre de estos metales en el cauce principal.
- En el punto de monitoreo RTumb6, correspondiente a la parte baja del río Tumbes; mediante la aplicación del ICARHS se conoció que la calidad de agua para el Subíndice S1 asociado a parámetros de materia orgánica presenta una calificación de calidad de agua pésimo con un valor de 25; lo cual estaría principalmente relacionado con el vertimiento directo de agua residual no tratada proveniente de la cámara de rebombeo “Coloma” la ciudad de Tumbes; así mismo; para el Subíndice S2 asociado a parámetros físico químico – metal, presenta una calificación de calidad de agua pésimo; con un valor de 24; lo cual se interpreta que los niveles actuales del agua no están acorde con los niveles deseados, ya que casi siempre se encuentran amenazados y como resultado, todos los usos requieren de tratamiento.
- En los puntos de monitoreo RTumb7 y RTumb8, correspondiente a la parte baja del río Tumbes; se conoció que la calidad de agua para el Subíndice S1 asociado a parámetros de materia orgánica presenta una calificación de calidad de agua regular con un valor de 72 y pésimo con un valor de 43 respectivamente; y para el Subíndice S2 asociado a

parámetros físico químico – metal, presenta una calificación de calidad de agua malo con un valor de 57 y regular con un valor de 76.

- Por medio de la aplicación de la metodología del ICARHS, se conoció la calidad de agua en diferentes puntos ubicados en el río Puyango y Tumbes, desde la zona alta hasta la zona baja de la Cuenca, presentó una calificación de calidad de agua pésimo, lo cual se interpreta que la calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada y todos los usos necesitan de tratamiento; precisar que, esta baja calificación viene dada por el subíndice 2, es decir, por los incumplimientos de parámetros físico químicos, debido a la presencia de metales.
- Por otro lado, las principales quebradas tributarias al río Tumbes (Quebrada Cabuyal y Cazaderos), presentan una calificación de calidad de agua buena, lo cual se interpreta que la calidad de agua dista mínimamente del estado natural del agua. Pero, los escenarios deseados también consideran algunas amenazas mínimas.
- Se concluye que la representación del cálculo del ICARHS realizado en los 13 puntos de muestreo comprendidos desde la cabecera hasta la desembocadura de la cuenca Tumbes; el 15% presentan calificación de calidad buena; el 8% presenta calificación de calidad mala y el 77% presentan calificación de calidad de agua en pésimo, siendo la mayor afectación a la calidad del agua se da en los puntos de muestreo RPuya1, RPuya2, RTumb1 y RTumb2 (parte alta de la cuenca); y persiste en los puntos de muestreo RTumb11, RTumb3, RTumb9 y RTumb5 (parte media de la cuenca Tumbes). Hay que destacar que la baja calificación viene dada por el subíndice 2, es decir, por los incumplimientos debido a la presencia de metales.
- Los parámetros que con mayor frecuencia exceden los “Estándares de Calidad Ambiental para Agua”, para el Subíndice S1 asociado a parámetros de materia orgánica, es el fosforo total y en la parte baja de la cuenca los coliformes termotolerantes.
- Los parámetros que con mayor frecuencia exceden los “Estándares de Calidad Ambiental para Agua”, para el S2 asociado a parámetros físico químico – metal, es el plomo en la

parte alta de la cuenca, arsénico parte media de la cuenca y manganeso en la parte baja de la cuenca.

## 5.2. Recomendaciones

- Transmitir los resultados del presente trabajo a los tomadores de decisiones de nivel nacional, regional y local; a fin de que en el marco de sus competencias planteen estrategias y planes orientados a la gestión de la calidad de los recursos hídricos, establecer medidas de mejoramiento, recuperación y protección de la calidad del agua en la Cuenca Tumbes.
- Formular e implementar en la Unidad Hidrográfica 1394 – Cuenca Tumbes, programas y/o proyectos sostenibles e integrales con un eficiente tratamiento de aguas residuales, con el objetivo de cumplir con los LMP y ECA-Agua, priorizando y fomentando su reúso.
- Realizar la ejecución del “Proyecto de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Tumbes”, a fin de cumplir con los LMP y ECA-Agua, priorizando y fomentando su reúso; evitando de esta manera la afectación a la calidad del recurso hídrico en la zona donde desemboca la Cuenca Tumbes.
- La “Autoridad Nacional del Agua (ANA)”, a través de la “Administración Local de Agua (ALA)” de Tumbes, debe continuar con las acciones de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos en la unidad hidrográfica de la cuenca Tumbes de acuerdo con el régimen hidrológico, ya que se puede validar que la variación de la calidad del recurso en función a factores estacionales, climáticos, así como a la formación geológicas y la afectación de las fuentes contaminantes.
- Elaborar e implementar estratégicamente un plan de intervención de fuentes contaminantes identificadas en la Cuenca Tumbes, a fin de realizar su erradicación.
- Promover la emisión de dispositivos legales regionales y locales (ordenanzas municipales, resoluciones de alcaldía, por ejemplo), con la finalidad de contribuir en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos.

- Adoptar y aprobar un Protocolo binacional de monitoreo de la calidad de agua para la Cuenca transfronteriza Puyango Tumbes (Perú-Ecuador), que incluya una red de monitoreo binacional y parámetros a evaluar en función de las características de cada cuenca, para analizar las posibles fuentes contaminantes antropogénicas que establezcan procesos estandarizados para proteger la salud de la población y se cuente con herramientas valiosas de la gestión para ordenar, manejar y desarrollar la Cuenca Puyango-Tumbes.
- Fomentar la ejecución de proyectos de recuperación y reforestación en la zona alta de la Cuenca Puyando Tumbes, y declarar zonas intangibles, a fin de evitar cualquier tipo de actividad extractiva que generen afectación a la calidad del recurso hídrico en la parte baja de la Cuenca Tumbes.
- Efectuar estudios de investigación novedosos y detallados, en los cuales se profundicen aspectos técnicos-económicos contribuyentes a la recuperación de la Calidad de la Cuenca Puyango Tumbes.

## Bibliografía

- ANA (2016-2020). *Informes técnicos de resultados de los monitoreos de Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, en la U.H. 1394-Cuenca Tumbes*; Tumbes, Perú.
- INGEMMET- (2020) *Inspección Técnica de línea base Geo ambiental de la Cuenca del río Puyango – Tumbes (Lado Peruano)*; Informe Técnico A7069; Lima, Perú.
- Puerta (2019). *Determinación de la influencia de la descarga del río Mayo en la calidad de agua del río Huallaga, a través de los ICA - PE*; Moyobamba, Perú.
- Silva (2018). *Evaluación del Grado de Afectación de la Calidad del Agua del Río Tumbes y Propuesta de Recuperación Sector Peruano – Año 2011 al 2014*; Tumbes, Perú.
- Caho y López (2017). *Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI*. Artículo original, Julio - diciembre de 2017, 12(2).
- Pérez (2017). *Determinación del índice de calidad del agua del río Moquegua por influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales Omo, durante el periodo 2014 – 2015*; Moquegua, Perú.
- Carrillo y Urgiles (2016). *Determinación del índice de calidad de agua ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindilig*; Cuenca Ecuador, Ecuador.
- Puño (2015). *Plan de manejo ambiental del recurso hídrico de la cuenca del Río Puyango-Tumbes*; Tumbes, Perú.
- Sánchez (2015). *El impacto de la minería en el distrito minero Zaruma-Portovelo, y el manejo de los relaves producidos en las plantas de beneficio, ubicadas a lo largo de los ríos calera y amarillo de la cuenca binacional Puyango - Tumbes*; Guayaquil, Ecuador.
- Otiniano (2008). *Evaluación del comportamiento del Recurso Hídrico en el Río Puyango – Tumbes periodo 1963 - 2005*; Tumbes, Perú.
- DISA – Tumbes (2008). *Análisis de la situación de Salud de Tumbes ASIS*. Dirección de Epidemiología de la Dirección de Salud Ambiental de Tumbes.
- Bermejo y Cruz (2007). *Determinación del contenido de metales pesados en los suelos cultivados con Arroz – Margen izquierda del río Tumbes*. Universidad Nacional de Tumbes.
- INGEMMET- (2006) *Estudio Geoambiental de la Cuenca del río Puyango – Tumbes*. Boletín N°32 Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, (213 pp.) Lima, Perú.

- Edilberto (2004). *Hidrología Ambiental*, (497 pp.) Primera Edición, Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, Venezuela.
- Carril (2002). *Contaminación del río Tumbes por Presencia de Residuos Químicos y Microbiológicos*, (41 pp.) Universidad Nacional de Tumbes.
- Funsad. (2001). *La pequeña minería del oro: impactos en el ambiente y en la salud humana en la Cuenca del Puyango, sur del Ecuador*. Fundación Salud Ambiente y desarrollo, Quito Ecuador.
- CTAR Tumbes (2000) *Plan de Desarrollo Tumbes 2001 - 2005 - una propuesta participativa global*, (60 pp.)