



**UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM**

**Facultad de Ciencias de la Tierra y Agua**

**Carrera de Hidrología**

**Diseño de redes de monitoreo de calidad del agua en  
cuencas Amazónicas: Caso de estudio en la cuenca del río  
Tena**

**Lilian Lizeth Sabando Bravo**

01 de octubre de 2021, ciudad de Tena, Napo, Ecuador



## CONTENIDO DEL DOCUMENTO

|   |      |
|---|------|
| DECLARACIÓN DE DERECHO DE AUTOR, AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD ..... | iii  |
| CERTIFICADO DE DIRECCION DE TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR .....   | iv   |
| AGRADECIMIENTOS.....  | vi   |
| ÍNDICE GENERAL.....   | vii  |
| INDICE DE TABLAS .....  | ix   |
| INDICE DE FIGURAS .....   | x    |
| INDICE DE ANEXOS.....   | xii  |
| RESUMEN.....  | xiii |
| ABSTRACT.....   | xiv  |
| DESARROLLO DE CAPITULOS.....  | 15   |
| REFERENCIAS.....  | 72   |
| ANEXOS.....   | 79   |

## Declaración de derecho de autor, autenticidad y responsabilidad

Tena, 30 de junio de 2021

Yo, Lilian Lizeth Sabando Bravo con documento de identidad N° 1725309825, declaro que los resultados obtenidos en la investigación que presento en este documento final, previo a la obtención del título “Diseño de redes de monitoreo de calidad del agua en cuencas Amazónicas: Caso de estudio en la cuenca del río Tena” son absolutamente inéditos, originales, auténticos y personales.

En virtud de lo cual, el contenido, criterios, opiniones, resultados, análisis, interpretaciones, conclusiones, recomendaciones y todos los demás aspectos vertidos en la presente investigación son de mi autoría y de mi absoluta responsabilidad.

Por la favorable atención a la presente, suscribo de usted,

Atentamente,

Firma:



---

Lilian Lizeth Sabando Bravo

## **Certificado de dirección de trabajo de integración curricular**

Certifico que el trabajo de integración curricular titulado: “Diseño de redes de monitoreo de calidad del agua en cuencas Amazónicas: Caso de estudio en la cuenca del río Tena”, en la modalidad de: proyecto de investigación en formato tesis, fue realizado por: Lilian Lizeth Sabando Bravo, bajo mi dirección.

El mismo ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad Regional Amazónica Ikiam, para su entrega y defensa.

Tena, 29 de junio de 2021

Firma:

**EDGAR FABIAN  
ESPITIA  
SARMIENTO**

Digitally signed by EDGAR  
FABIAN ESPITIA SARMIENTO  
Date: 2021.06.29 16:34:49  
-05'00'

.....  
Edgar Fabian Espitia Sarmiento, Ph.D.  
C.I: 1758828709

## Document Information

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>Analyzed document</b> | Formato Tesis F09-29deJuniode2021.pdf (D109925566) |
| <b>Submitted</b>         | 6/30/2021 12:20:00 AM                              |
| <b>Submitted by</b>      |  |
| <b>Submitter email</b>   | edgar.espitia@ikiam.edu.ec                         |
| <b>Similarity</b>        | 3%   |
| <b>Analysis address</b>  | edgar.espitia.ikiam@analysis.orkund.com            |

## Sources included in the report

|           |  |   |          |
|-----------|--|---|----------|
| <b>W</b>  | URL: <a href="http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10581/2/03%20RNR%20359%20TRABAJO%20GRADO.pdf">http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10581/2/03%20RNR%20359%20TRABAJO%20GRADO.pdf</a><br>Fetched: 12/21/2020 6:58:41 PM   |    | <b>3</b> |
| <b>SA</b> | <b>TFT FINAL CHICAIZA- VALAREZO.pdf</b><br>Document TFT FINAL CHICAIZA- VALAREZO.pdf (D16994841)   |    | <b>3</b> |
| <b>W</b>  | URL: <a href="http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6228/1/236T0237.pdf">http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6228/1/236T0237.pdf</a><br>Fetched: 12/12/2020 10:42:17 AM  |   | <b>2</b> |
| <b>W</b>  | URL: <a href="http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/9108/1/TFLACSO-2016SIRP.pdf">http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/9108/1/TFLACSO-2016SIRP.pdf</a><br>Fetched: 6/30/2021 12:21:00 AM   |  | <b>1</b> |
| <b>W</b>  | URL: <a href="https://xdoc.mx/documents/estudio-de-las-aguas-y-sedimentos-del-rio-daule-en-la-5c4cbea519140">https://xdoc.mx/documents/estudio-de-las-aguas-y-sedimentos-del-rio-daule-en-la-5c4cbea519140</a><br>Fetched: 5/20/2021 6:04:06 PM  |  | <b>1</b> |
| <b>W</b>  | URL: <a href="https://www.iagua.es/noticias/peru/13/09/16/peru-y-ecuador-unidos-por-la-gestion-integrada-de-los-recursos-hidricos-transfronterizos-36514">https://www.iagua.es/noticias/peru/13/09/16/peru-y-ecuador-unidos-por-la-gestion-integrada-de-los-recursos-hidricos-transfronterizos-36514</a><br>Fetched: 6/30/2021 12:21:00 AM |  | <b>1</b> |
| <b>SA</b> | <b>IF Aydee M. Solano.pdf</b><br>Document IF Aydee M. Solano.pdf (D64508328)   |  | <b>1</b> |
| <b>W</b>  | URL: <a href="https://ikiam.edu.ec/documentos/BoletinCATena_final.pdf">https://ikiam.edu.ec/documentos/BoletinCATena_final.pdf</a><br>Fetched: 6/17/2021 7:43:49 PM  |  | <b>1</b> |
| <b>W</b>  | URL: <a href="http://manglaeditores8.wixsite.com/misitio/libro-cientifico-memorias-recir">http://manglaeditores8.wixsite.com/misitio/libro-cientifico-memorias-recir</a><br>Fetched: 6/30/2021 12:21:00 AM   |  | <b>1</b> |
| <b>W</b>  | URL: <a href="https://www.who.int/water_sanitation_health/resources/wqmonitor/es/">https://www.who.int/water_sanitation_health/resources/wqmonitor/es/</a><br>Fetched: 6/30/2021 12:21:00 AM   |  | <b>2</b> |
| <b>SA</b> | <b>trabajo definitivo_calidadde agua.docx</b><br>Document trabajo definitivo_calidadde agua.docx (D63384223)   |  | <b>2</b> |
| <b>W</b>  | URL: <a href="http://dspace.unl.edu.ec:9001/jspui/bitstream/123456789/17366/1/Tesis%20Lista%20Diego.pdf">http://dspace.unl.edu.ec:9001/jspui/bitstream/123456789/17366/1/Tesis%20Lista%20Diego.pdf</a><br>Fetched: 12/9/2020 5:58:31 AM  |  | <b>1</b> |

## **AGRADECIMIENTOS:**

Con sentimientos de distinguida consideración, agradezco a:

Mi familia, por su incondicional apoyo en todo mi proceso formativo.

PhD. Mariana Capparelli, PhD. Gabriel Moulalet y MSc. José Serrano, por su apoyo personal y dirección académica infaltable incluso en los momentos más inoportunos; por su paciencia y confianza.

PhD. Edgar Espitia Sarmiento que quien con su apoyo y confianza me brindo una gran asesoría y valiosas aportaciones técnicas en mi formación académica.

Esta investigación recibió apoyo económico de, (subvención a Mariana Velloso Capparelli) de la Unión Europea en coordinación con la Agencia Internacional de Cooperación Española para el Desarrollo (AECID) del proyecto de investigación “Creación e implementación de la Unidad de Ecotoxicología y Monitoreo Ambiental de Ikiam”, la Universidad Regional Amazónica Ikiam, (subvención a Edgar Espitia) del proyecto de vinculación con la sociedad “Monitoreo hidrometeorológico en tiempo real de la zona de inundación del río Tena”, y del Laboratorio Nacional de Referencia del agua (LNRA), por su asistencia en los análisis de parámetros hidroquímicos y test de las muestras de agua y sedimentos.

Universidad Regional Amazónica Ikiam, en especial a todos los profesores que me transmitieron sus conocimientos y consolidaron mi formación.

Mis amigos Linda, Milena y Richard (mi otra familia), por ser incondicionales.

Finalmente, a Valentina, gracias por ser mi inspiración, espero algún día poder ser la tuya...

## INDICE GENERAL

|   |             |
|---|-------------|
| <b>INDICE GENERAL .....</b>   | <b>vii</b>  |
| <b>INDICE DE TABLAS .....</b>   | <b>ix</b>   |
| <b>INDICE DE FIGURAS .....</b>  | <b>x</b>    |
| <b>INDICE DE ANEXOS .....</b>   | <b>xii</b>  |
| <b>RESUMEN.....</b>   | <b>xiii</b> |
| <b>ABSTRACT .....</b>   | <b>xiv</b>  |
| <b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>  | <b>15</b>   |
| 1.1. Antecedentes.....  | 15          |
| 1.2. Planteamiento del problema .....   | 18          |
| 1.3. Justificación de la investigación.....   | 19          |
| 1.4. Preguntas de investigación .....   | 20          |
| 1.5. Hipótesis .....  | 20          |
| 1.6. Objetivos de la investigación .....  | 21          |
| <b>CAPITULO II. MARCO METODOLÓGICO .....</b>  | <b>22</b>   |
| 2.1. Descripción del área de estudio .....  | 22          |
| 2.2. Análisis de los componentes biofísicos y socioeconómico.....   | 23          |
| 2.3. Análisis de variables hidrometeorológicas de la cuenca .....   | 24          |
| 2.4. Análisis de datos de monitoreo: protocolos de toma y análisis de muestras, y obtención de parámetros de calidad del agua para el diseño de la red de monitoreo ..... | 25          |
| 2.5. Diseño de la red de monitoreo y parametrización .....  | 29          |
| <b>CAPÍTULO III. PRESENTACIÓN DE DATOS Y RESULTADOS.....</b>  | <b>34</b>   |
| 3.1. Procesamiento de información para las múltiples líneas de evidencia .....  | 34          |
| 3.2. Diseño de redes de monitoreo: Calidad vs Cantidad.....   | 52          |
| <b>CAPÍTULO IV. INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN .....</b>  | <b>58</b>   |
| 4.1. Análisis de las múltiples líneas de evidencia .....  | 58          |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.2. Evaluación del diseño de las redes de monitoreo: Calidad vs Cantidad .....                                    | 64        |
| 4.3. Evaluación de la localización, parámetros y periodos de evaluación establecidos para la red de monitoreo..... | 66        |
| <b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>  | <b>69</b> |
| 5.1. Conclusiones .....  | 69        |
| 5.2. Recomendaciones.....  | 70        |
| <b>REFERENCIAS .....</b>   | <b>72</b> |
| <b>ANEXOS: .....</b>   | <b>79</b> |

## INDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Componentes biofísicos y socioeconómicos que se emplean en el análisis multicriterio (de múltiples líneas de evidencia).....  | 23 |
| Tabla 2. Localización de las estaciones meteorológicas (M) e hidrológicas (H) empleadas para el análisis hidrometeorológico de la cuenca del río Tena.....   | 24 |
| Tabla 3. Parámetros físicos y químicos medidos en campo ( <i>in situ</i> ) con la sonda YSI <i>professional Plus (Modelo YSI-6050000)</i> . ....   | 26 |
| Tabla 4. Parámetros químicos y microbiológicos medidos <i>ex situ</i> en el LNRA (Ikiam).....  | 27 |
| Tabla 5. Descripción de parámetros en la germinación de las semillas de <i>L. sativa</i> para las pruebas de fitotoxicidad como parte del análisis ecotoxicológico. ....   | 28 |
| Tabla 6. Escala de Saaty para la ponderación de relevancia o importancia de un parámetro o variable sobre otra en el análisis multicriterio.....   | 31 |
| Tabla 7. Localización de los sitios definidos inicialmente para el monitoreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos descritos en las tablas 3 y 4, y su clasificación según el tipo de intervención identificada como relevante para monitorear.....   | 45 |
| Tabla 8. Resumen de %varianza significativa para el componente principal PC1, análisis del número de monitoreos realizado por grupo/número de variables medida.....  | 50 |
| Tabla 9. Matriz de comparación por pares con respecto a las variables analizadas de las múltiples líneas (componentes biofísicos y socioeconómicos, variables meteorológicas y condiciones iniciales de calidad del agua (CA) de la base de datos) de evidencia mostrados en los resultados de esta investigación..... | 53 |
| Tabla 10. Valores obtenidos de las fórmulas de consistencia lógica en el análisis jerárquico ponderado. ....   | 53 |
| Tabla 11. Parámetros sugeridos para el monitoreo según la temporada seca o lluviosa. .   | 56 |

## INDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Mapa de localización de la microcuenca del río Tena dentro de Sudamérica, como parte de la cuenca del Río Napo (subcuenca del río Amazonas). .....                | 17 |
| Figura 3. Mapa de componentes biofísicos característicos de la cuenca del río Tena. ....  | 35 |
| Figura 4. Mapa de componentes socioeconómicos del año 2014 desarrollados dentro de la cuenca del río Tena.....  | 36 |
| Figura 5. Mapa de componentes socioeconómicos del año 2018 desarrollados dentro de la cuenca del río Tena.....  | 36 |
| Figura 6. Nivel de agua promedio mensual de las estaciones HEI1 en el centro de la ciudad de Tena (salida de la cuenca) y la estación HEI2 en Atacapi. ....                 | 37 |
| Figura 7. Caudal de descarga promedio mensual de datos obtenidos de la estación hidrológica HEI1 en el puente carrozable del centro de la ciudad de Tena.....               | 38 |
| Figura 8. Promedio mensual de la media anual histórica de la estación meteorológica M1219-Chaupishungo correspondiente a más de 30 años de datos.....                       | 39 |
| Figura 9. Precipitación acumulada mensual de la estación meteorológica M5147 en un intervalo de datos de 4.4 años (abril 2016 - agosto 2020).....                           | 40 |
| Figura 10. Precipitación acumulada mensual de la estación meteorológica M5148 en un intervalo de datos de 4.8 años (diciembre 2015 - agosto 2020).....                      | 40 |
| Figura 11. Precipitación acumulada mensual de la estación meteorológica MEI1 en un intervalo de datos de 10 meses (diciembre 2019 - septiembre 2020). ....                  | 41 |
| Figura 12. Precipitación acumulada mensual de la estación meteorológica MEI2 en un intervalo de datos de 11 meses (noviembre 2019 – septiembre 2020). ....                  | 41 |
| Figura 13. Promedio de temperatura mensual, promedio y desviación estándar de los datos históricos correspondientes a la estación meteorológica M1219 de Chaupishungo. .... | 42 |
| Figura 14. Temperatura promedio de las estaciones más actuales instaladas dentro del área de estudio de la cuenca del río Tena.....   | 43 |
| Figura 15. Humedad relativa promedio de las estaciones más actuales instaladas dentro del área de estudio de la cuenca del río Tena.....                                    | 43 |
| Figura 16. Promedio mensual de radiación solar de las estaciones más actuales instaladas dentro del área de estudio de la cuenca del río Tena.....                          | 44 |
| Figura 17. Análisis de componentes principales (PCA) del año 2018 en la temporada   |    |

|   |    |
|---|----|
| lluviosa.....   | 46 |
| Figura 18. Análisis de componentes principales (PCA) del año 2019 en la temporada seca.<br>.....  | 48 |
| Figura 19. Análisis de componentes (PCA) del año 2019 en la temporada lluviosa. ....  | 49 |
| Figura 20. Análisis de componentes principales (PCA) del año 2020 temporada seca. ....  | 50 |
| Figura 21. Análisis de ensayos ecotoxicológicos con <i>L. sativa</i> para las muestras de agua .  | 52 |
| Figura 22. Análisis de ensayos ecotoxicológicos con <i>L. sativa</i> para las muestras de<br>sedimento.....   | 52 |
| Figura 23. Mapa rasterizado de las ponderaciones generadas para cada uno de los<br>componentes analizados según su relevancia e influencia con respecto a la calidad del agua<br>dentro del área de estudio ..... | 55 |

## INDICE DE ANEXOS

|  |    |
|--|----|
| Anexo 1. Cuadro metodológico del procedimiento a seguir en el diseño de las redes de monitoreo en general.....   | 79 |
| Anexo 2. Capa de información geográfica de la componente biofísica característica de la zona de estudio de la cuenca del río Tena, re categorizada en imagen ráster según la ponderación de priorización de las variables que la componen.....   | 80 |
| Anexo 3. Capa de información geográfica de la componente socioeconómica característica de la zona de estudio de la cuenca del río Tena, re categorizada en imagen ráster según la ponderación de priorización de las variables que la componen.....  | 81 |
| Anexo 4. Capa de información geográfica de la componente hidrometeorológicas característica de la zona de estudio de la cuenca del río Tena, re categorizada en imagen ráster según la ponderación de priorización de las variables que la componen.....   | 82 |
| Anexo 5. Capa de información geográfica de la componente las condiciones iniciales de calidad del agua previamente conocidas, característica de la zona de estudio de la cuenca del río Tena, re categorizada en imagen ráster según la ponderación de priorización de las variables que la componen. .... | 83 |

## RESUMEN

El incremento poblacional de la ciudad de Tena de los últimos cinco años ha alterado física, química y biológicamente su principal fuente hídrica, esto denota la importancia de monitorear el estado de la calidad del agua del río Tena. El diseño de redes de monitoreo con estaciones (sitios) para medir la calidad del agua, que incluya análisis hidroquímicos, biológicos, ecotoxicológicos y meteorológicos, permite conocer su estado y variabilidad temporal, con respecto a la variabilidad meteorológica (de temperatura, precipitación, humedad relativa, radiación solar) presente en la zona. El objetivo del presente estudio es el diseño de una red de monitoreo de la calidad del agua mediante múltiples líneas de evidencia. Inicialmente se recopiló la información geográfica de los aspectos biofísicos, sociales e información de calidad del agua de estudios anteriores realizados en la cuenca, luego se realizó el monitoreo de los parámetros físico-químico, microbiológicos y ecotoxicológicos. Las variables hidroquímicas se estudiaron mediante componentes principales y análisis jerárquico para la priorización de las variables de significancia para la red. Finalmente, en un mapa se presenta la zonificación de la cuenca para establecer las estaciones (sitios de muestreo permanente), junto con los parámetros y temporalidad sugeridos para el monitoreo. Los sitios sugeridos son los ríos Shitig (Alto Tena), Colonso (RBCC), Pashimbi (URAI), Calmituyaku (Muyuna) y el cauce principal del río Tena (centro de la ciudad), en los cuales se establecen en general monitorear los parámetros correspondientes a los grupos identificados según el tipo de contaminación y la temporalidad seca o lluviosa establecida en la zona de estudio. De esta manera la red de monitoreo se convierte en una herramienta de diagnóstico temprano que ayuda a la toma de decisiones y gestión territorial en la cuenca del río Tena.

**Palabras clave:**

Calidad de agua, hidroquímica, ecotoxicología, monitoreo, río Tena.

## ABSTRACT

The population increase of the city of Tena in the last five years has physically, chemically and biologically altered its main water source, this denotes the importance of monitoring the status of the water quality of the Tena River. The design of monitoring networks with stations (sites) to measure water quality, which includes hydrochemical, biological, ecotoxicological and meteorological analyzes, allows knowing its state and temporal variability, with respect to meteorological variability (temperature, precipitation, humidity relative, solar radiation) present in the area. The objective of this study is the design of a water quality monitoring network through multiple lines of evidence. Initially, the geographic information on the biophysical, social and water quality information was collected from previous studies carried out in the basin, then the physical-chemical, microbiological and ecotoxicological parameters were monitored. The hydrochemical variables were studied using principal components and hierarchical analysis to prioritize the variables of significance for the network. Finally, a map presents the zoning of the basin to establish the stations (permanent sampling sites), together with the parameters and suggested timing for monitoring. The suggested sites are the Shitig (Alto Tena), Colonso (RBCC), Pashimbi (URAI), Calmituyaku (Muyuna) rivers and the main channel of the Tena river (city center), in which monitoring parameters are generally established. corresponding to the groups identified according to the type of contamination and the dry or rainy season established in the study area. In this way, the monitoring network becomes an early diagnostic tool that helps decision-making and territorial management in the Tena river basin.

### **Keywords:**

Water quality, eco toxicology, hydro chemical, monitoring, Tena river.

## CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Antecedentes

A nivel mundial, el recurso hídrico ha sufrido diversos cambios debido al aumento en su demanda lo cual degrada el estado del mismo [1]. Estos efectos adversos involucran grandes problemáticas como sequías, contaminación de fuentes hídricas que conllevan a problemas de salud, derretimiento de glaciares, entre otros. Considerando que el agua es uno de los componentes principales para la vida y su desarrollo; especialmente para los humanos que la emplean de varias formas, ya sea como servicio o como recurso ambiental [1–3]. El deterioro del estado general del agua se ha vuelto un reto a enfrentar para los diferentes gobiernos y reguladores estatales de distintos territorios a nivel mundial. Esto los ha guiado a plantear diversas alternativas para el manejo, cuidado y en general la gestión del agua en sus territorios y sus alrededores, a través de proyectos, leyes y ordenanzas [3]. Este problema pretende abordarse a través de la gestión de los recursos hídricos basado en la definición de cuenca hidrográfica y sus dimensiones.

La subdivisión territorial para clasificar sus fuentes hídricas son las cuencas hidrográficas. Por definición, una cuenca hidrográfica corresponde a un área de drenaje compuesta por un sistema hídrico que forman un río y depositan sus aguas en un solo punto de salida [4]. El área de drenaje de una cuenca es conocida también como zona de recarga que, durante el ciclo hidrológico, mediante escorrentía superficial alimenta a los ríos que drenan en el punto de salida, junto con la percolación, que se deposita en un acuífero [5]. Una cuenca está demarcada mediante las pendientes de un terreno, las cuales son llamadas “líneas divisorias de aguas”, que limitan la subdivisión de las fuentes hídricas [6,7]. Las demarcaciones de cuencas y las divisorias de aguas no dependen de la división política que se maneja en un Estado o país, es decir una cuenca no depende de las fronteras o límites políticos [7,8]. Por esto, el manejo ambiental y de las condiciones del estado en general del agua, dentro de una cuenca, depende de muchos factores. Estos factores, que involucran las condiciones biofísicas, socioeconómicas e incluso la influencia meteorológica, poseen múltiples dimensiones [9,10]. Estas dimensiones son respuestas que deben ser caracterizadas mediante múltiples líneas de evidencia, las mismas que permiten explicar el comportamiento y el estado general en el que se encuentra el agua. Bajo esta premisa, el

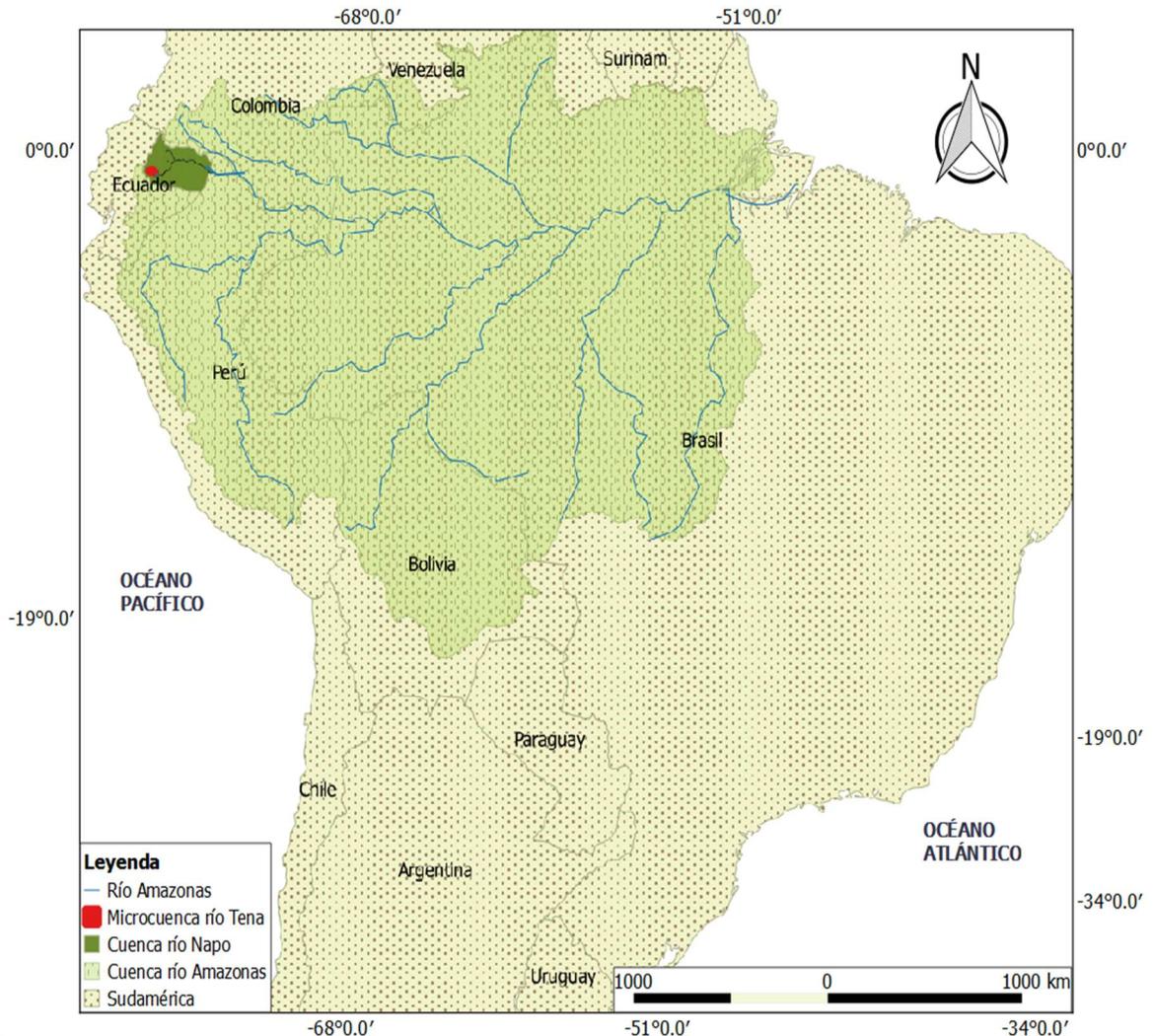
gobierno ecuatoriano junto con otros países latinoamericanos con los que se interconecta mediante los ríos y por ende las cuencas compartidas, han visto la necesidad de realizar un estudio del estado de sus recursos hídricos [11]. Como resultado de su investigación, muestran que debido al mal manejo de los recursos ambientales, el aumento de las sequías y la desertificación, sus cuencas sufren un gran estrés hídrico que tiende a empeorar exponencialmente [12,13].

Además de ello, estudios realizados en Ecuador con respecto al recurso hídrico calculan que el 86% del agua se encuentra en la vertiente Amazónica y el 14% en la vertiente del Pacífico [10]. Pese a ser una distribución que pone en desventaja y déficit hídrico algunas zonas del país [11], la Amazonia se ha concebido como una región reserva de recursos hídricos con potencialidades de contaminación por los pasivos ambientales, principalmente la explotación de hidrocarburos [14]. A esto se suma el reciente auge de explotación minera aurífera artesanal y a gran escala [15] y la generación hidroeléctrica aprovechando el agua como uno de los recursos más abundante e inestable de la Amazonía, con miras al cambio de la matriz productiva y energética del país [16,17].

La cuenca del río Tena es una de las microcuencas que conforman el grupo de cuencas de la vertiente amazónica, siendo partícipe también de las afectaciones descritas anteriormente. Esta microcuenca alimenta a su vez a la cuenca del río Napo, la cual forma parte del sistema de cuencas altas que alimenta a las cuencas bajas del río Amazonas (Figura 1). Esta cuenca lleva el nombre del cantón en el que se encuentra y es de gran importancia debido a que territorialmente en su totalidad forma parte de la ciudad de Tena. En los últimos años, el acelerado aumento de la población en la ciudad ha sido causa de elevados índices de deforestación [18]. La expansión de la frontera agrícola y ganadera [18,19] ha generado una alta presión sobre el estado de la calidad del agua del río Tena. Además del desarrollo de proyectos turísticos que se potencian cada vez más dentro de los servicios ecosistémicos que brinda la cuenca.

Desde el punto de vista geográfico, al ser el río Tena el principal sistema fluvial que atraviesa gran parte del cantón [20], la presencia de centros poblados alrededor del mismo es evidentemente un factor relevante para el estudio de las condiciones en las que se encuentra. El agua es usada por las personas directamente desde el río para diversas actividades, como por ejemplo, recreación, pesca, alimentación, entre otras. Esto se suma

al hecho de que desde la construcción de la fuente de suministro de agua potable para la ciudad de Tena, localizada en la cabecera de la cuenca del río Tena, esta adquirió una gran importancia para el desarrollo de la ciudad y sus alrededores [21].



**Figura 1. Mapa de localización de la microcuenca del río Tena dentro de Sudamérica, como parte de la cuenca del Río Napo (subcuenca del río Amazonas).**

Una forma de abordar la problemática relacionada con el agua es la investigación del estado de sus condiciones con respecto a la calidad, y con relación a ello un monitoreo de dichas condiciones es vital para el inicio de una investigación [22]. Se ha demostrado que un enfoque basado en cuencas hidrográficas puede ser estudiado mediante redes de monitoreo que determinen, analicen, cuantifiquen y proporcionen información sobre el estado de la calidad del agua mediante múltiples líneas de evidencias que involucren las diferentes características biofísicas, socioeconómicas, hidrometeorológicas y de las condiciones hidroquímicas, microbiológicas y ecotoxicológicas que posee una cuenca hidrográfica [23–25]. El concepto de redes de monitoreo es poco común dentro del análisis

que conlleva el monitoreo de las condiciones de calidad del agua [22,26]. Sin embargo, una red de monitoreo provee información actualizada y de predicción acerca de dichas condiciones ya que se mantiene en constante análisis de las características y condiciones que posee la cuenca. Una red de monitoreo mantiene también una actualización de información base para el buen manejo del recurso hídrico [26] vinculado a su contexto biofísico, socioeconómico y meteorológico. En este contexto, una red de monitoreo proporciona un argumento base para la toma de decisiones dentro del área de estudio [27].

## **1.2. Planteamiento del problema**

La evaluación de calidad de las fuentes de agua destinadas específicamente al consumo humano constituyen un requisito necesario e indispensable para evaluar su aptitud para dicho uso [28]. Debido a que la mayoría de gobiernos latinoamericanos omiten dentro de sus planes de manejo ambiental el monitoreo de calidad del recurso hídrico, la intervención en forma preventiva ante los primeros indicios de degradación y riesgo para la salud humana [29] son imposibles de predecir.

Respecto a la cuenca del río Tena, en los últimos años se han realizado investigaciones sobre calidad del agua [20,30–32]. Pero ninguna de ellas ha sido tomada en cuenta por gobiernos de turno para la regulación y control del buen manejo del agua. Esto desvincula al conocimiento científico para generar soluciones a conflictos y afectaciones de la toma de decisiones de los entes de regulación y control, siendo dichas autoridades las que deciden finalmente si son o no necesarias actividades de monitoreo y control [22].

La presentación de datos de calidad de agua, monitoreados por un sistema en red con estaciones de monitoreo permanente, genera información que aporta al conocimiento del estado de la salud del agua y permite definir la relación con su entorno biofísico y socioeconómico [22,23,33]. Además, las redes de monitoreo demuestran que la evaluación de calidad del agua no depende solamente de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos expuestos en las normas y legislaciones ecuatorianas actuales (TULSMA; INEN), sino también de correlaciones con su entorno, lo cual incluye también las condiciones climáticas [22,26]. Debido a este factor, la calidad del recurso puede variar por el aumento o disminución con respecto al transporte de sedimentos que se produce dentro de la cuenca y que altera sus condiciones en diferentes estacionalidades del año [31].

Por otro lado, la evaluación del estado de calidad del agua aplicado en redes, que poseen estaciones (sitios) fijas de monitoreo, incluyen ensayos ecotoxicológicos. Estos son parte del análisis que involucra la explicación de los sitios donde se identifican variabilidades significativas de la calidad del agua y de los riesgos que pueden llegar a representar dichas variabilidades y de esta forma prever posibles riesgos [23,26]. Mediante biomodelos, la ecotoxicología analiza las condiciones del proceso biológico y con ello la obtención de datos precisamente respaldados, por lo cual se vuelve un componente de interés en el desarrollo de una investigación [34–38].

### **1.3. Justificación de la investigación**

En los últimos cinco años, el incremento poblacional de la ciudad de Tena ha causado gran impacto ambiental, sobre todo una degradación en los recursos hídricos [18,19]. Según el GAD municipal Tena (2014 y 2020), los ríos más afectados del cantón debido a actividades como la deforestación, ganadería, turismo, piscicultura serían, Misahualli, Pano y Tena [18,19]. Este último con mayor impacto, pues su cuenca posee la mayor cantidad de asentamientos poblacionales [18,19,39] y la infraestructura de provisión de servicios públicos más importante, como la Planta de Tratamiento de Agua Potable Colonso que se encuentra ubicada en la parte alta de la cuenca del río Tena que provee agua a más de 75% de la población del cantón [40].

El aumento poblacional y la planta de abastecimiento del agua potable, junto con lo descrito como problemática de investigación son el vértice que conlleva a la necesidad de evaluar cambios en la cantidad y la calidad del agua de una de las más importantes fuentes hídricas de Tena [18–20,41]. El diseño de redes de monitoreo tiene como objetivo, la evaluación de dichos cambios con respecto a la cantidad y calidad del agua, dentro de la cuenca del río Tena. Así también, se evalúa su variación con respecto a los componentes biofísicos, socioeconómicos y meteorológicos desarrollados en su entorno. Estas variaciones permiten identificar puntos fijos de monitoreo [9,22,27], relacionados a los conflictos y afectaciones identificadas a partir de la investigación para el desarrollo de la red de monitoreo.

Un estudio previo a esta investigación realizado en la cuenca del río Tena sobre las condiciones en las que se encuentra la calidad del agua [41], con respecto a sus variables

fisicoquímicas y microbiológicas muestra en sus resultados[41], que el diseño de una red de monitoreo, es necesaria para continuar con este tipo de investigación de manera continua y constante. En el estudio se menciona que existen diferentes estados de calidad del agua en todo el trayecto de la cuenca del río y que estos se vinculan con las actividades antropogénicas que se llevan a cabo en sitios determinados dentro de la cuenca. La red de monitoreo establece como base, fijar puntos que sirvan para el análisis continuo de las condiciones en las que se encuentra la calidad del agua. Con ello, se observa su variabilidad, con respecto a las condiciones biofísicas, socioeconómicas y meteorológicas dentro de la cuenca [9,22,26,42]. Este diseño permite identificar parámetros que deberán ser considerados dentro de la red de monitoreo, junto a su influencia y la relación a las múltiples líneas de evidencia identificadas en la investigación.

#### **1.4. Preguntas de investigación**

1.4.1. ¿Cuánto influye la variabilidad biofísica, socioeconómica e hidrometeorológica en la calidad del agua dentro de la cuenca del río Tena?

1.4.2. ¿Cuánta diferencia existe entre las variables fisicoquímicas y microbiológicas evaluadas en zonas con diferentes tipos de actividad socioeconómica?

1.4.3 ¿Cómo complementar las propiedades físicas del área de estudio al diseño de una red de monitoreo de calidad del agua con datos de variables fisicoquímicas y microbiológicas en la cuenca del río Tena?

#### **1.5. Hipótesis**

1.5.1. Existe una variación significativa en la calidad de agua relacionada con la variabilidad hidrometeorológica en la cuenca del río Tena. Esta variación temporal permite establecer DOS temporadas de monitoreo.

1.5.2. Existe una correlación significativa entre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados en zonas de estudio con la actividad socioeconómica de la cuenca del río Tena.

1.5.3. Existen diferencias significativas en el crecimiento de la raíz y el epicotilo entre las muestras de control y las muestras tratadas con agua tomada en las zonas de estudio.

1.5.4. Todos los componentes y propiedades físicas de la cuenca del río Tena aportan en igual proporción al establecimiento de un sistema de redes de monitoreo.

## 1.6. Objetivos de la investigación

### - **Objetivo general:**

Diseñar una red de monitoreo de la calidad del agua con base en el análisis de las múltiples líneas de evidencia con el fin de proveer información necesaria para la regulación y control en la cuenca del río Tena.

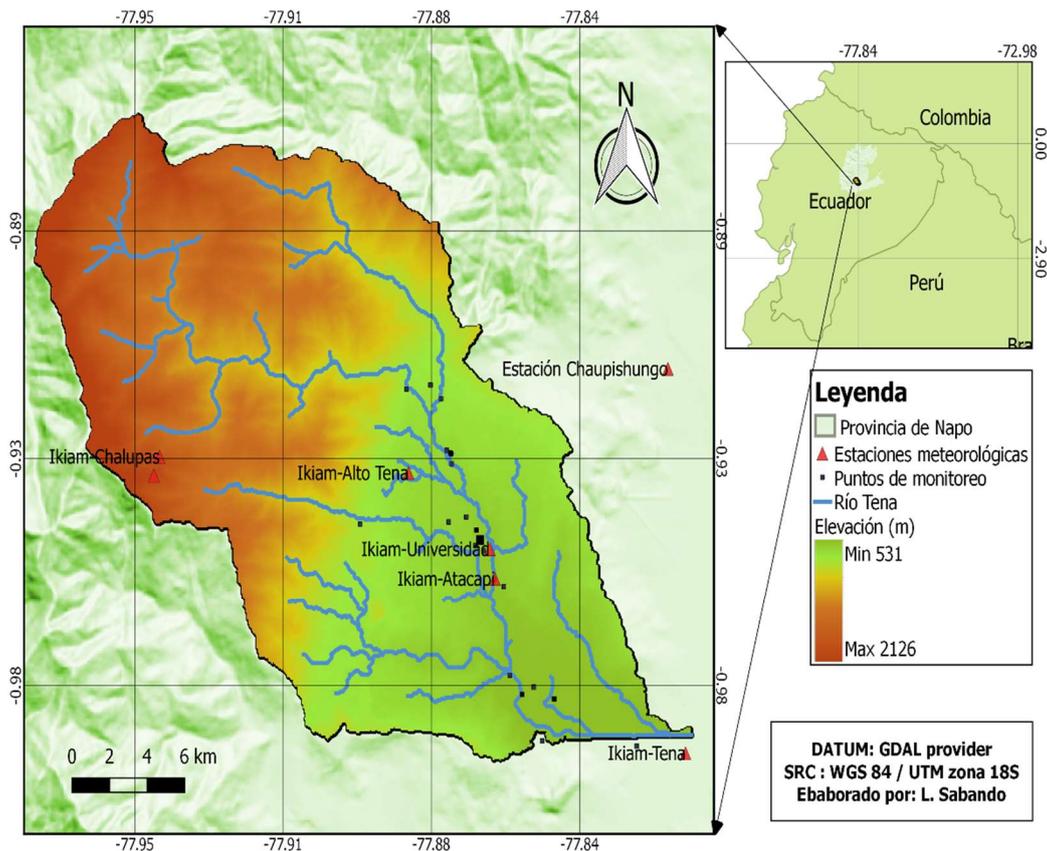
### - **Objetivos específicos:**

1. Analizar los componentes biofísicos y actividades socioeconómicas predominantes en la cuenca del río Tena para la identificación de los puntos más representativos, mediante imágenes satelitales y estudios de campo, para el establecimiento de las estaciones (sitios) de monitoreo permanente.
2. Analizar las variables hidrometeorológicas (temperatura, humedad relativa, precipitación, caudal (Q), radiación solar) de la cuenca del río Tena mediante estadística exploratoria para el establecimiento de los periodos temporales de monitoreo.
3. Evaluar mediante componentes principales la calidad del agua del río Tena a partir de las múltiples líneas de evidencia con el análisis de parámetros físico-químicos, microbiológicos y ecotoxicológicos, estudiados previamente a lo largo de la cuenca para el establecimiento de las variables hidroquímicas a ser consideradas en cada estación de monitoreo.
4. Identificar mediante un análisis multicriterio y clusters jerárquicos de los componentes biofísico, socioeconómico, hidrometeorológico y las múltiples líneas de evidencia; la influencia de cada una de ellos en la determinación y el establecimiento de cada una de las estaciones de la red de monitoreo en la cuenca del río Tena.

## CAPITULO II. MARCO METODOLÓGICO

### 2.1. Descripción del área de estudio

La microcuenca del río Tena se encuentra ubicada en el cantón Tena, dentro de la provincia de Napo centro-norte del Ecuador, perteneciente a la región oriental o amazónica (Figura 2). Esta cuenca se extiende desde las faldas de la cordillera subandina, pasando por el bosque húmedo de la región amazónica. Con una extensión de 240 km<sup>2</sup>, la cuenca del río Tena abarca a tres parroquias del cantón, que además son las que cuentan con la mayor concentración de población (alrededor de 50.000) en aproximadamente 40 km<sup>2</sup> del total de la cuenca. Lo demás se concentra en bosques, que incluye parte de la Reserva Biológica Colonso-Chalupas (RBCC) con aproximadamente el 48% del total de la cuenca [18,19].



**Figura 2. Mapa de localización de la cuenca del río Tena.**

Las principales actividades del tipo antropogénico que se desarrollan dentro de la cuenca

son, la ganadería, acuicultura, pesca, recreación, turismo [18,19] y también se ha vuelto un potencial sitio de estudio y de prácticas para los estudiantes de la universidad Regional Amazónica Ikiam (URAI) que se encuentra dentro de la cuenca del río Tena. Además de ello, el río Tena también es usado para el consumo humano, cuenta con una captación para la potabilización del agua que es distribuida en la ciudad; o en muchos casos las comunidades y centros poblados que se encuentran en las riberas utilizan el agua directa del río para sus actividades domésticas [20,41].

## 2.2. Análisis de los componentes biofísicos y socioeconómico.

El análisis de información geográfica y demográfica se realizó mediante el análisis multicriterio de los componentes biofísicos y socioeconómicos que caracterizan a las cuencas amazónicas (Tabla 1). Esta información se encuentra disponible en los sistemas nacionales de información SIG Tierras, INEC y Planes de desarrollo y ordenamiento Territorial (PDyOTs) Cantonal y Parroquial de Tena.

**Tabla 1. Componentes biofísicos y socioeconómicos que se emplean en el análisis multicriterio (de múltiples líneas de evidencia).**

| Componentes biofísicos              | Componentes socioeconómicos |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| Dimensionamiento (área y perímetro) | Actividades socioeconómicas |
| Pendiente del terreno               | Centros poblados            |
| Cobertura vegetal                   | Carreteras y caminos        |

El análisis de los componentes biofísicos y socioeconómicos se realizaron para identificar las zonas más representativas para la localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo [9,27]. Cada una de estas componentes y sus características son evaluadas para el diseño de la red de monitoreo y parametrización. Los componentes descritos en la tabla 1 fueron ponderados según investigaciones realizadas dentro de la cuenca del río Tena [18,20,21,31,41,42] y referencias bibliográficas que identifican a cada una de ellas como un factor que interviene o aporta a la variación de la calidad del agua [9,18,24,25,27,39]. La descripción de la metodología a seguir a partir de los datos encontrados en la información disponible encontrada se detalla más adelante en el diseño de la red de monitoreo y parametrización como parte de la aplicación de un análisis multicriterio.

### 2.3. Análisis de variables hidrometeorológicas de la cuenca

Se recopilaron los datos de las estaciones meteorológicas e hidrológicas del *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología* (INAMHI) de Ecuador y del *Ikiam Hydrometeorological Service* [43][43] de la Universidad Regional Amazónica Ikiam (URAI). En la tabla 2, se muestran los nombres de las estaciones y su ubicación geográfica dentro del área de estudio.

**Tabla 2. Localización de las estaciones meteorológicas (M) e hidrológicas (H) empleadas para el análisis hidrometeorológico de la cuenca del río Tena.**

| Nombre                | ID    | Ubicación  | Geolocalización (UTM-WGS84(18s)) |              |                   |
|-----------------------|-------|--|----------------------------------|--------------|-------------------|
|                       |       |  | X (m)                            | Y (m)        | Altitud (m.s.n.m) |
| Ikiam-Universidad     | M5147 | Estación INAMHI, frente al campus de nivelación Ikiam    | 181530,5376                      | 9894620,9646 | 596               |
| Ikiam-Chalupas        | M5148 | Estación científica Chalupas, RBCC                       | 803945,8619                      | 9909209,2429 | 3582              |
| Estación Chaupishungo | M1219 | Cerca al límite territorial del cantón Archidona         | 186209,7701                      | 9898526,4340 | 665               |
| Ikiam-Colonso         | ME1*  | Estación científica Chalupas, RBCC, Refugio-Cabaña Ikiam | 172689,3338                      | 9896205,0554 | 2085              |
| Ikiam-Alto Tena       | ME12* | Estación Ikiam en Alto Tena (cerca de la Y)              | 179389,1684                      | 9896268,1796 | 612               |
| Ikiam-Tena            | HE1*  | Centro de Tena, puente carrozable                        | 186680,7806                      | 9890198,6156 | 510               |
| Ikiam-Atacapi         | HE12* | Vía a Alto Tena, Puente peatonal hacia Ikiam             | 181664,7514                      | 9893979,1951 | 589               |

Estaciones pertenecientes al Servicio hidrometeorológico de la Universidad Regional amazónica Ikiam

La información de las estaciones hidrológicas nos proporcionó como resultado la medición de los niveles de agua (estación HE12 - Ikiam-Atacapi), la velocidad del flujo y el caudal de descarga en la cuenca (estación HE11-Ikiam-Tena). Por otro lado, las estaciones meteorológicas proporcionaron datos de temperatura, precipitación, radiación solar y humedad relativa (HR).

El análisis de las variables hidrometeorológicas permitió la caracterización climática propia del área de estudio.[31]. Para este caso se tomarán datos de las estaciones meteorológicas presentes en la zona, de la cual la estación de Chaupishungo, con más de 30 años de datos meteorológicos. Estos datos se correlacionan con la caracterización geomorfológica analizada en los componentes biofísicos de la cuenca del río Tena, que también ha sido descrita como parte de la metodología en casos de estudio relacionadas a la cuenca del río Tena [42]. Con ello se espera, aportar con la identificación de zonas para la localización de

las estaciones de monitoreo de calidad del agua CA, ya que como parte del análisis multicriterio las variables hidrometeorológicas se vuelven componentes de estudio en los siguientes apartados para el diseño de la red de monitoreo

Además de ello, esta sección nos permitió establecerla temporalidad y frecuencia de monitoreo. Mediante la estadística exploratoria, se relacionó con la curva de precipitaciones y temperatura, que son de influencia en la variabilidad de algunos parámetros en la química del agua [44,45]. Se planteó definir períodos de monitoreo para la red de estaciones (sitios de muestro), a partir de los parámetros mencionados que coincidan con la diferencia de temporalidad, es decir, las fechas del año en que exista picos máximos o mínimos observados en las gráficas de cada parámetro.

## **2.4. Análisis de datos de monitoreo: protocolos de toma y análisis de muestras, y obtención de parámetros de calidad del agua para el diseño de la red de monitoreo**

### **2.4.1. Criterios para obtención, clasificación y creación de la base de datos:**

#### **- *Monitoreo:***

Los puntos que han sido estudiados como paso previo para el desarrollo de esta investigación, corresponden a sitios definidos con mayor intervención y afectación con respecto a las características de mayor influencia dentro de la cuenca del río Tena [16]. Se analizaron las condiciones biofísicas, socioeconómicas [14], de las cuales destacan la deforestación, ganadería, turismo y piscicultura planteada en los apartados anteriores (marco metodológico 2.2).

Estos puntos se clasifican en grupos o clases de afectación o degradación que serán causantes de alguna variación en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en su estado natural, es decir, en su estado no intervenido. Para esta última descripción se tomará en cuenta un punto de control, que corresponda a un ecosistema identificado con una baja o casi nula intervención antropogénica. Para el caso de la cuenca del río Tena, este punto se localizó en los límites de la Reserva Biológica Colonso Chalupas (RBCC) ya que, al ser una reserva, se espera que su intervención antropogénica sea casi nula. En esta se considera que el agua se encuentra en su estado natural no intervenido, el cual sirvió de referencia para observar si existe variabilidad entre los diversos puntos escogidos para los fines de esta investigación.

El monitoreo se realizó en campo en el mes de enero de 2020 con una sonda multiparamétrica Pro Plus de la marca *YSI Professional Plus (Modelo YSI-6050000)*. Los parámetros monitoreados corresponden a los descritos en la tabla 3.

**Tabla 3. Parámetros físicos y químicos medidos en campo (*in situ*) con la sonda *YSI professional Plus (Modelo YSI-6050000)*.**

| <b>Variables medidas <i>in situ</i></b> |
|---|
| <b>Parámetros físicos</b>               |
| Temperatura                             |
| Conductividad                           |
| Sólidos disueltos totales               |
| Turbidez                                |
| <b>Parámetros químicos</b>              |
| pH                                      |
| Oxígeno disuelto %                      |
| Oxígeno disuelto (mg/L)                 |

También en el mes de enero de 2020, se recolectaron muestras de agua que fueron analizadas en el Laboratorio Nacional de Referencia del Agua, en la Universidad Regional Amazónica Ikiam. Estos análisis corresponden a las variables físico-químicas, y microbiológicas, descritas en la tabla 4, además de las muestras de agua y sedimento para el análisis ecotoxicológico.

El análisis ecotoxicológico se llevó a cabo mediante pruebas de fitotoxicidad. El método consistió en analizar la germinación de semillas de *Lactuca sativa (lechuga)*. Se realizan observaciones también del alargamiento de las raíces en las semillas germinadas, utilizando muestras de agua y sedimento. En la tabla 5, se describen los parámetros que se siguieron para la germinación de las semillas en muestras de agua y sedimento tomado de los sitios de muestreo donde se realizó la medición de parámetros *in situ*. Las semillas de lechuga fueron adquiridas como semillas selladas certificadas con una tasa de germinación del 98%. Para cada uno de los ensayos y repeticiones se distribuyen uniformemente quince semillas morfológicamente idénticas [46]. Para el caso de las muestras de agua, se coloca un papel de filtro dentro de placas de Petri estériles de 90 mm y se agregaron 2.5 mL de muestra de agua. Sobre este medio preparado se colocan las semillas. Las placas de Petri fueron cubiertas y se incubaron a 25 °C en la oscuridad durante 120 h. Después de ello se procede a la medición. Para las muestras de sedimento, se colocan 10 g de

sedimento en un recipiente de plástico (100 mL), se realizaron pequeñas punciones en el sedimento colocado. Sobre el medio se colocaron las semillas los recipientes y se incubaron a 25 ° C en la oscuridad durante 24 h. Las muestras se mantuvieron bajo un fotoperíodo de 12 horas de luz y 12 horas en la oscuridad durante 14 días [46].

Para ambos tipos de muestra (agua y sedimento) se realizó el mismo procedimiento con un ensayo de control. Para el caso de las muestras de agua, en vez de la muestra de agua, se colocan 2.5 mL de agua destilada. Para el caso de las muestras de sedimento se realiza un control con el sedimento menos alterado, es decir, el que se recolectó en un área que se identificó sin alteraciones del tipo antropogénico o que tenga una mínima influencia de ellas. Al final de la prueba se cuenta el número de semillas germinadas y se realiza su respectiva medición [46,47]. Finalmente, la germinación y las mediciones de los experimentos con agua y sedimentos se comparan con sus respectivos grupos de control

**Tabla 4. Parámetros químicos y microbiológicos medidos ex situ en el LNRA (Ikiam).**

| <b>Variables medidas <i>ex situ</i></b>          |
|--|
| <b>Parámetros químicos</b>                       |
| Nitratos [NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] (mg/L)  |
| Nitritos [NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ] (mg/L)  |
| Amonio [NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ] (mg/L)    |
| Fosfato [PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ] (mg/L)  |
| Fósforo residual [P] (mg/L)                      |
| Potasio [K] (mg/L)                               |
| Hierro total [Fe] (mg/L)                         |
| Manganeso [Mn] (mg/L)                            |
| Sulfatos [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] (mg/L) |
| Litio [Li] (mg/L)                                |
| Cloruros [Cl <sup>-</sup> ] (mg/L)               |
| Calcio [Ca] (mg/L)                               |
| Fluoruro (mg/L)                                  |
| DQO (mg/L)                                       |
| Sodio (mg/L)                                     |
| <b>Parámetros microbiológicos</b>                |
| Coliformes fecales ( <i>E.coli</i> ) (UFC/100ml) |
| Coliformes totales (UFC/100ml)                   |

**Tabla 5. Descripción de parámetros en la germinación de las semillas de *L. sativa* para las pruebas de fitotoxicidad como parte del análisis ecotoxicológico.**

| Tipo de muestra | N° semillas utilizadas/<br>cantidad de muestra | N° repeticiones/muestra | Medición |           |
|-----------------|--|-------------------------|----------|-----------|
| Agua            | 15 semillas/150mL                              | 3                       | Raíz     | Epicotilo |
| Sedimento       | 15semillas/150g (aprox)                        | 2                       | Raíz     | Epicotilo |

**- Análisis de datos compilados de literatura complementarios a la investigación:**

Se recopilaron datos de análisis físico-químicos, ecotoxicológicos y microbiológicos de otras investigaciones realizadas en la cuenca del río Tena [21,30,41,48,49], en los puntos que se muestran en la figura 2. Estos datos, corresponden a tres años de estudios realizados por diversos grupos de investigación en los años 2018, 2019 y 2020, siendo este último año de monitoreo, que se comparte con esta investigación. Las investigaciones mencionadas, guardan correlación con la metodología aquí descrita, ya que recopilan la información de mediciones realizadas en puntos identificados geográficamente con mayor intervención antropogénica.

**- Creación de base de datos (unión de datos de monitoreo y recopilados de literatura)**

Finalmente, los datos fueron organizados por fechas y coordenadas de muestreo en una base de datos. La organización de la base de datos fue luego categorizada por las fechas que correspondían, según el análisis hidrometeorológico previo, a las estaciones seca y lluviosa presentes en la Amazonía ecuatoriana, específicamente, en la cuenca del río Tena (marco metodológico 2.3).

**2.4.2. Toma de muestras:**

Los datos fueron monitoreados para los fines permitentes a los objetivos de este tema de tesis, por ende, los criterios para la elección de los puntos (sitios) de muestreo corresponden a un análisis previo al diseño de la red de monitoreo. Dicho esto, los puntos a monitorear serán elegidos bajo los criterios y características de mayor influencia dentro de la cuenca [26][26] con respecto a las condiciones biofísicas, socioeconómicas y meteorológicas [22][22] correspondientes al área de estudio.

Es importante el uso de fichas de campo para el monitoreo previo, donde predominó la importancia de llenar todas las observaciones que se presentaron al momento de realizar la toma de la muestra en los puntos establecidos de monitoreo inicial.

### **2.4.3. Análisis de muestras:**

La base de datos obtenida de parámetros físicos, químicos y microbiológicos se analizó tomando en consideración los protocolos ecuatorianos INEN 2176 e INEN 216. Además del Acuerdo Ministerial 097-A TULSMA, para la toma, análisis y parámetros de calidad dentro del territorio [50]. Estos protocolos de los organismos nacionales, estos se emplean según el tipo de muestras a analizar. Para este estudio se emplea los protocolos de toma, análisis y límites permisibles de parámetros que son descritos para muestras de agua dulce, que implican agua para consumo humano y para la conservación de la vida acuática.

Por otro lado, para los ensayos ecotoxicológicos, se emplea la normativa y protocolo norteamericano de la United States Environmental Protection Agency (US EPA) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos(OECD) para el monitoreo de efectos biológicos con ensayos de ecotoxicidad con organismos sensibles a la contaminación [46,51]. La US EPA es la organización con más trayectoria e investigación dentro del campo de la ecotoxicología y se emplea un análisis comparativo con la OECD para realizar un contraste de observaciones que se presentan para el caso de las pruebas realizadas en cada ensayo. Para el caso de los ensayos ecotoxicológicos no existen normativas nacionales para el estudio de las mismas, por ende, se emplean recursos de ensayos y normativas extranjeras, empleadas internacionalmente.

Finalmente se sometió la base de datos de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, a un análisis de componentes principales con la finalidad de analizar cuáles de las variables recolectadas en los diferentes análisis y estudios de investigación, son las más relevantes o sobresalen entre las demás. Este tipo de prueba, se realizará para cada una de las clasificaciones, tanto de tiempo como de coordenada en la que se tomó las muestras, ya que cada punto de estudio, como se ha dicho anteriormente, se tomará en consideración como influenciado por las características biofísicas, socioeconómicas y meteorológicas de su entorno. Para el caso de los ensayos de fitotoxicidad, las comparaciones con sus respectivos controles se realizaron mediante pruebas estadísticas t de Student.

### **2.5. Diseño de la red de monitoreo y parametrización**

La clasificación de las características biofísicas las actividades socioeconómicas, junto con las condiciones hidrometeorológicas, y las bases de datos de calidad del agua expuestas al

análisis de componentes principales, se convirtieron en grupos (clústeres) dentro del análisis multicriterio para la localización de las estaciones de la red de monitoreo (Ver anexo 1) [26]. Una vez definidos los clústeres, estos se jerarquizaron o ponderaron dependiendo del peso o influencia que tengan dentro del estudio; lo cual se realiza a partir de la búsqueda bibliográfica de investigaciones anteriores tanto de estudios realizados dentro del área de estudio, como investigaciones de factores que influyen en variabilidad de la calidad del agua de un río.

Dentro de cada grupo, se realizó una ponderación y/o estableció una prioridad entre las diferentes variables con el fin de que la información sea procesada en un sistema de información geográfico que permitió identificar áreas donde el establecimiento de una estación de monitoreo fue más factible, significativa y/o relevante para que la red de monitoreo sea eficiente. El diseño de la red, consistió en la aplicación del concepto de análisis multicriterio ponderado con el método Saaty, capaz de emplear variables cualitativas y cuantitativas frente a múltiples objetivos [52].

La unión del análisis estadístico y la información geográfica de los componentes biofísicos, socioeconómicos e hidrometeorológicos arrojaron resultados superpuestos de las imágenes obtenidas a partir de resultados de la variabilidad con respecto a la calidad del recurso hídrico y la relación con dichas variables. Esto proporcionó una justificación y la viabilidad del diseño de redes de monitoreo [46,51].

La exploración de diversas metodologías que aplican el diseño de redes de monitoreo, con objetivos similares al de esta investigación [18,24,25,27,44–47]; sugieren realizar como paso previo, el análisis de las múltiples líneas de evidencia identificadas dentro de la zona de estudio como componentes que intervienen dentro de la variación de la hidroquímica del agua. Estos componentes representaron un nivel de importancia otorgado según su influencia con respecto a las condiciones de calidad del agua y su variación [22].

### ***2.5.1. Análisis jerárquico ponderado***

Se sometió a ponderaciones a cada componente del estudio, es decir, se asigna un porcentaje específico a cada una de los componentes, biofísicos, socioeconómicos, hidrometeorológicos, y de condiciones iniciales de calidad del agua conocida. Para ello, los componentes fueron sometidos a una ponderación en la escala numérica del 1 al 9 (escala de Saaty) expresada en la tabla 6 [9,25,53].

**Tabla 6. Escala de Saaty para la ponderación de relevancia o importancia de un parámetro o variable sobre otra en el análisis multicriterio**

| Escala numérica | Escala verbal                       | Explicación   |
|-----------------|-------------------------------------|---|
| 1               | Igualmente preferida                | Dos elementos contribuyen en igual medida al objetivo.  |
| 3               | Moderadamente preferida             | La experiencia y el juicio favorecen levemente a un elemento sobre el otro.                   |
| 5               | Fuertemente preferida               | La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un elemento sobre el otro.                 |
| 7               | Preferencia muy fuerte o demostrada | Un elemento es mucho más favorecido que el otro; su predominancia se demostró en la práctica. |
| 9               | Extremadamente preferida            | Preferencia clara y absoluta de un criterio sobre otro.                                       |
| 2,4,6,8         |                                     | Intermedia entre valor anteriores   |

\*Tomado de "How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process" [53].

Una vez generada la importancia de las componentes con respecto a sus influencias dentro de las causas de variación de la calidad del agua, se empleó una matriz de análisis por pares y un principio de consistencia lógica [24,25], que expresó la proporción de consistencia de la ecuación 1.

$$\% \text{ Consistencia} = \frac{C_i}{I_a} \quad (1)$$

Donde,

$I_a$ , corresponde a un índice aleatorio asignado según el tamaño de la matriz, con la siguiente distribución con un tamaño de la matriz ( $n=4$ ), el valor del índice aleatorio  $I_a=0,9$ :

| Tamaño de la Matriz | 2 | 3    | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|---------------------|---|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| Índice Aleatorio    | 0 | 0,58 | 0,9 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 |

\*Tomado de "How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process" [53].

y;  $C_i$ , es igual al índice de consistencia lógica, que mide la consistencia lógica de la matriz de comparaciones, descrita en la ecuación 2:

$$C_i = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

Donde,

$n$ , representa el número de variables o componentes a ponderar ( $n=4$ ), y;  $\lambda_{\max}$  representa el máximo valor propio, correspondiente al cálculo del producto matricial entre la sumatoria de las ponderaciones asignadas en la escala numérica de la tabla 6 por la ponderación (porcentaje obtenido de la proporción producida de dicha matriz. La proporción de consistencia debe ser menor a 0,1 (10%) [9,22,25].

Una vez obtenidos los resultados de la ponderación, estos se agruparon asociativamente por componentes de cada apartado (biofísico, socioeconómico, hidrometeorológico y calidad del agua para ser aplicados) se analizaron en un sistema de información geográfica. A través de la reclasificación la información de una capa base (shapefile .shp) se convirtieron a una capa ráster que fue empleada con su nueva ponderación para el diseño de la red de monitoreo. Este procedimiento se realizó a través del uso del programa de software libre Quantum GIS (QGIS) en la versión 2.18.10 y su herramienta de reclasificación ráster del complemento SAGA-rasterize. Para el caso de los componentes biofísico y socioeconómico, de las cuales ya se tenían los datos en shapefiles, se procedió a ejecutar la función de rasterización directamente. Para el caso de los datos de los componentes hidrometeorológicos y de la base de datos de calidad del agua, la información se introdujo en las tablas de atributos dependiendo de las áreas (coordenadas de ubicación geográfica) a la que pertenecía cada una de sus variables medidas y el respectivo valor obtenido para cada caso.

A partir de ello, se empleó la ponderación o relevancia de los datos reportados. Para el caso de los datos de calidad del agua, por ejemplo, se recategorizó la calidad del agua según los límites permisibles descritos en la normativa ecuatoriana. Para el caso del componente hidrometeorológico, se tomó en cuenta los reportes de cada una de sus variables y la influencia reportada en la bibliografía de la calidad del agua. Así, por ejemplo, si una estación reporta mayor cantidad de precipitación que las demás, esta tendrá mayor influencia y por ende tendrá mayor relevancia. El mismo criterio fue aplicado para las demás variables (Radiación solar, humedad relativa, temperatura), que posteriormente fueron rasterizadas. Una vez obtenidos y procesados todos los componentes a un sistema de clasificación ráster se emplearon los valores de ponderación para cada uno de los componentes, que se obtuvieron a partir del análisis jerárquico ponderado. Se empleó el uso de la calculadora raster de QGIS y se procedió a combinar las 4 componentes para obtener un mapa de ponderación, que identificó las áreas de mayor relevancia para la ubicación de cada una de las estaciones de monitoreo que formarán parte de la red.

Exceptuando la variación entre pruebas estadísticas que desarrollan para cada sitio de estudio, estas se caracterizaron por situarse en puntos fijos establecidos mediante etapas de diseño [32,43,48]. Además del planeamiento de la red de monitoreo a implementar,

junto con la metodología de colecta de las muestras en campo y las determinaciones analíticas a efectuar in situ y en laboratorio. Todo finalmente, resulta en un monitoreo continuo con períodos de tiempo establecidos [16] y la medición de la variabilidad tanto en calidad como en cantidad del recurso hídrico con bases establecidas y sustentadas.

Una vez establecidas y sustentadas las bases se procedió a diseñar las redes de monitoreo. Se establecieron los puntos fijos donde se colocarán las estaciones de monitoreo y los criterios para su elección, que mediante un enfoque de cuencas y algunas recomendaciones de la organización meteorológica mundial [33], se fijaron en la carga contaminante vinculada a la actividad socioeconómica [16,42,43].

#### ***2.5.2. Localización de las estaciones, parámetros y períodos de tiempo de evaluación de la red de monitoreo:***

La estimación de la carga contaminante tomó a consideración las condiciones iniciales descritas en el anexo 1 para la estimación de la carga contaminante. Los resultados que se obtuvieron del análisis jerárquico ponderado permitieron cuantificar la influencia de cada una de las múltiples líneas de evidencia empleadas. Cada una de ellas aportó para la determinación de las zonas donde la carga contaminante es mayor o significativa. Esta estimación, dio como resultado al planteamiento de la localización de las áreas donde se plantea colocar las estaciones de monitoreo y la evaluación de los parámetros de diseño junto con su frecuencia de monitoreo.

## CAPÍTULO III. PRESENTACIÓN DE DATOS Y RESULTADOS

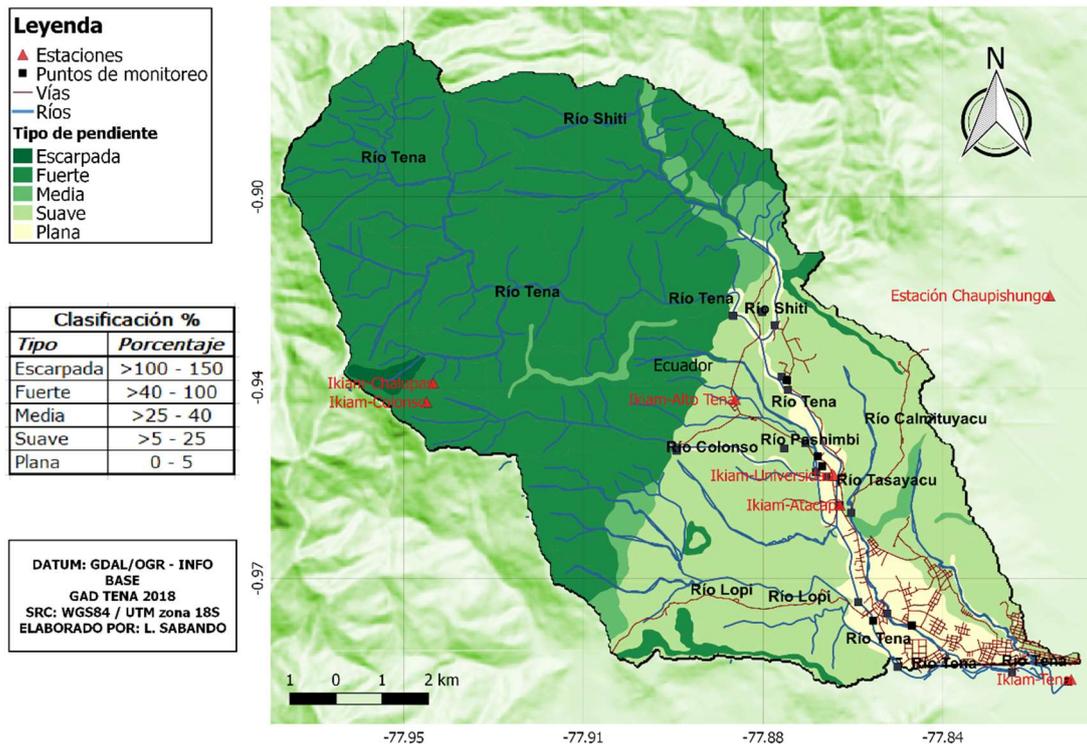
### 3.1. Procesamiento de información para las múltiples líneas de evidencia

Con las bases de datos obtenidas a partir de los apartados anteriores, correspondientes al capítulo II de metodologías, se presentan a continuación los productos finales como resultados gráficos y estadísticos, clasificados mediante:

#### 3.1.1. Componentes biofísicos y socioeconómicos:

El procesamiento de la información con respecto a los componentes biofísicos de la cuenca resultante de la búsqueda bibliográfica de los planes de desarrollo y ordenamiento territorial del Gobierno autónomo descentralizado de Tena da distribución se muestran en la figura 3 [19]; se puede observar la distribución del tipo de pendientes que existe dentro de la zona de estudio y su respectiva clasificación dentro de la misma. También se describe el nombre de los ríos que son los principales tributarios que aportan o depositan sus aguas en el río Tena como parte del dimensionamiento de cada uno de ellos. De estos se destaca, la presencia de los ríos Shitig, Colonso, Pashimbi, Calmituyaku, Tazayaku y Lopi; descritos de manera descendente desde el inicio de la cuenca hasta su desembocadura en el río Tena. El área que se describe en el sistema de información geográfica para la cuenca del río Tena, que engloba los ríos descritos anteriormente, corresponde a 131.32 km<sup>2</sup> con un perímetro de 71,94 km. Finalmente, en este mapa también se puede observar en contraste las vías principales y secundarias, junto con la localización de las estaciones hidrometeorológicas y los puntos en los cuales ha existido monitoreos de análisis de calidad del agua. Como información adicional encontrada como parte de las variables de la componente biofísica, se encontró que entre las cuencas de los ríos Colonso, Tena y Shitig poseen alrededor del 94-97% de cobertura vegetal, categorizada considerado en estado de conservación por el incremento de la frontera agrícola y la deforestación [18]

También se observaron las principales vías de acceso que llevan a los centros poblados que se compone de carreteras y caminos. Estas fueron consideradas dentro del área de estudio para la localización de las estaciones de monitoreo y su accesibilidad. Como se observa en la Figura 2, estas vías bordean las riberas del río Tena y se extienden en sus centros poblados.



**Figura 2. Mapa de componentes biofísicos característicos de la cuenca del río Tena.**

Por otra parte, el análisis de componentes socioeconómicos dio como resultado la información sobre las diferentes actividades socioeconómicas agrupadas según la clasificación de la información base y las tablas de atributos de cada una de las capas empleadas. Las capas empleadas para el análisis de componentes socioeconómicos fueron las de uso del suelo de dos años distintos. Se encontró información acerca de las áreas identificadas como URBANISMO, que corresponde a los centros poblados, CONSERVACIÓN correspondiente a áreas con baja o nula intervención antropogénica, DEFORESTACIÓN de áreas con pastizales, suelos no fértiles, bancos de arena, suelos áridos o talados con baja cantidad de vegetación y alta intervención antropogénica, AGROPECUARIO que identifica áreas en las cuales se cultiva o practica actividades vinculadas a la ganadería y agricultura; y finalmente PISCICULTURA correspondiente a las zonas en las cuales se emplea prácticas de crianza de peces, especialmente de tilapias.

Finalmente, se identifican también los centros poblados correspondientes a una clasificación específica dentro de las variables socioeconómicas, correspondiente al área de URBANISMO.

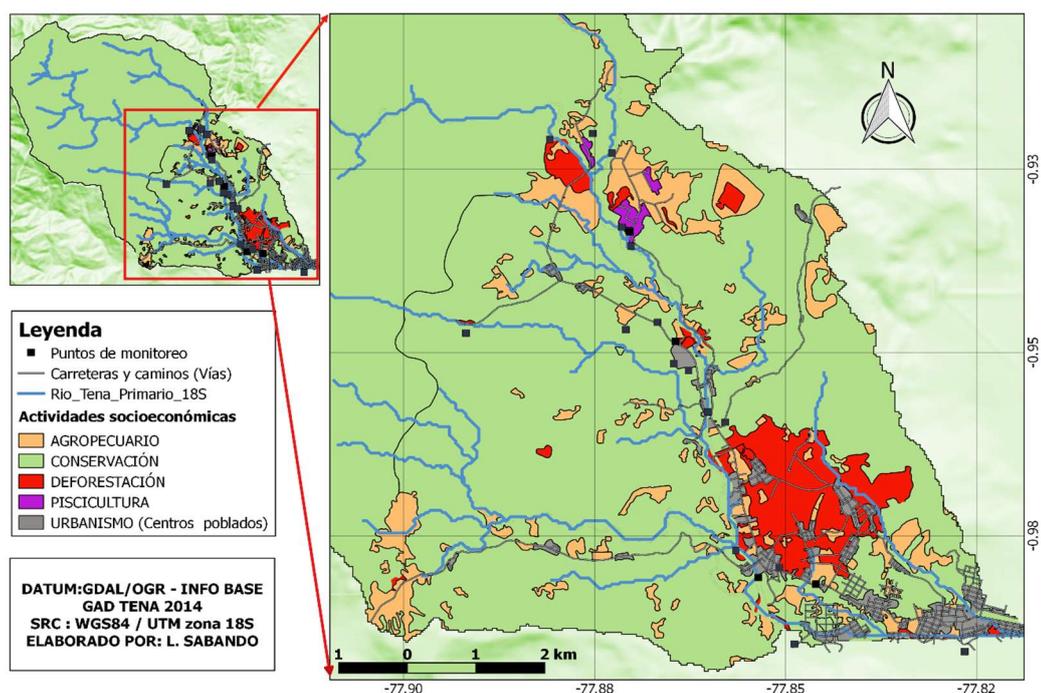


Figura 3. Mapa de componentes socioeconómicos del año 2014 desarrollados en la cuenca del río Tena.

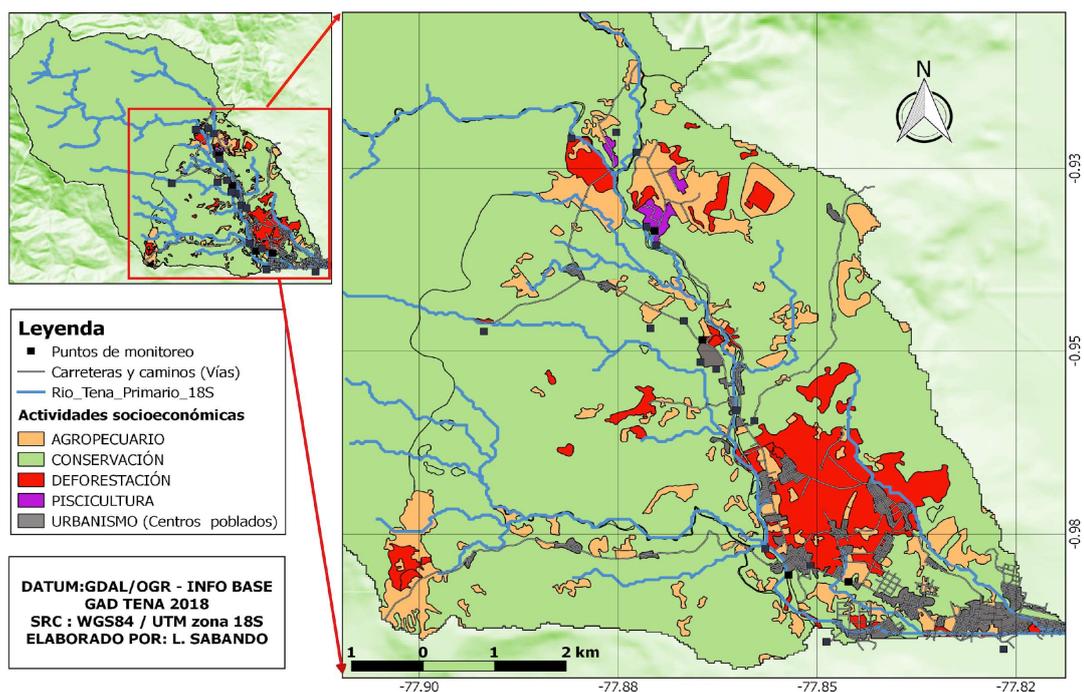


Figura 4. Mapa de componentes socioeconómicos del año 2018 desarrollados en la cuenca del río Tena. Como resultado de la cuantificación de las áreas, que están representadas en la Figura 5 y clasificadas por las actividades socioeconómicas, se resume que el área más representativa con 85,3% dentro de la cuenca corresponde al área de conservación. Seguido de ella, se sitúan las vías de acceso (Caminos y carreteras) representadas por un 11%. Las áreas de

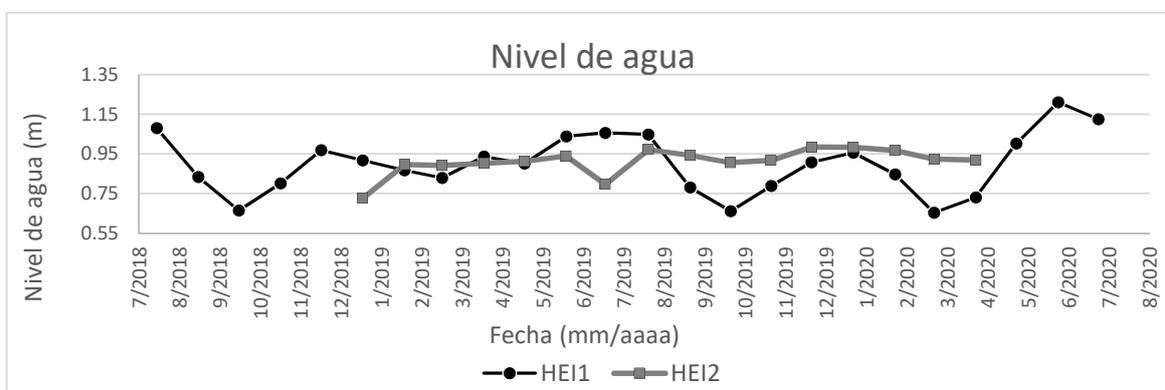
uso agropecuario representan un 1,8%, seguido de las áreas deforestadas que ocupan el 1% del total de la cuenca. El área que ocupan las zonas urbanas abarca un 0.8% y las zonas con presencia de piscicultura corresponden al 0,1%.

### 3.1.2. Análisis de variables hidrometeorológicas:

Una vez procesados y depurados los datos de cada una de las estaciones descritas en la Tabla 2, se obtuvo como resultados las gráficas descriptivas para cada una de las variables hidrometeorológicas; estas se describen a continuación:

#### *Niveles de agua:*

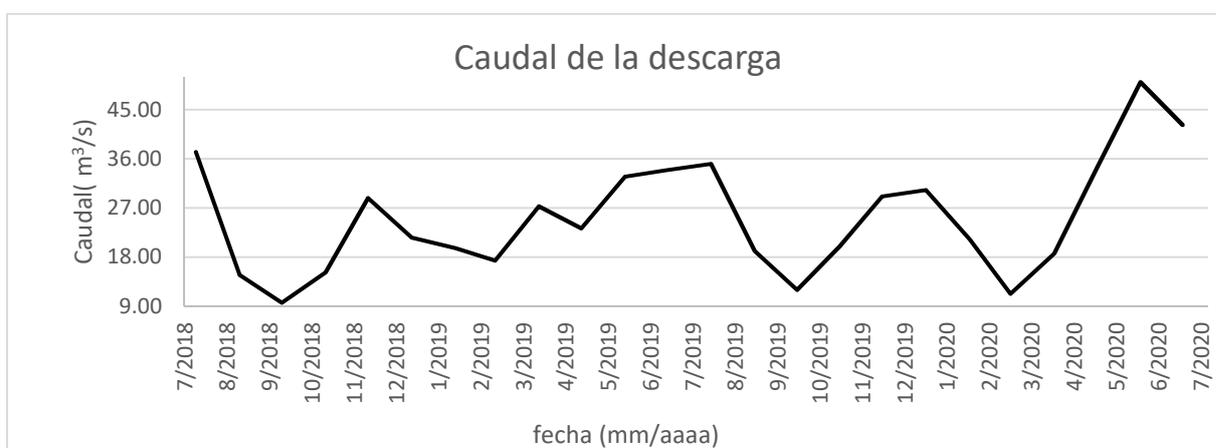
Los datos colectados inicialmente de las dos estaciones y promediados mensualmente se observan en la Figura 6. Para el caso de la estación HEI1, localizada en el puente carrozable del centro de la ciudad de Tena se cuenta con un registro de dos años de datos. Sus niveles mensuales varían entre 0,65 y 1,21 metros, medidos desde el fondo del cauce hasta la superficie de la capa de agua. Las mediciones para la estación HEI2 en el puente carrozable de Atacapi, vía Muyuna, cuentan con datos correspondientes a un período de 1,45 años. Los datos de nivel varían entre 0,73 y 0,97 metros de profundidad. Se identifica también que la variabilidad del nivel de la estación HEI2 es menor al de la estación HEI1. Sin embargo, en los meses de diciembre en 2018 y junio en 2019 existe una significativa diferencia en el nivel de agua de aproximadamente 0,2 metros en cada estación. Por otro lado, en la misma figura 6 se observa también que septiembre y febrero en la sección de descarga (estación HEI1), corresponden a los niveles más bajos de agua en los dos años de datos colectados en esta estación. Los meses en los que se identifica un mayor nivel de agua en la descarga corresponden a julio y agosto.



**Figura 5. Nivel de agua promedio mensual de las estaciones HEI1 en el centro de la ciudad de Tena (salida de la cuenca) y la estación HEI2 en Atacapi.**

### **Caudal de la descarga**

La Estación HEI1 localizada en la salida de la cuenca también se encuentra programada con el aforo de la sección del río donde se encuentra ubicada. Los datos de caudal reportados se observan en la figura 7. Entre julio de 2018 y julio de 2020, el caudal en la salida de la cuenca varió entre 9,68 y 50,06 m<sup>3</sup>/s. Este máximo representa un pico o aumento de caudal en el mes de mayo de 2020. Se identifica que en los dos años anteriores al 2020 se presentaron picos de caudal en los meses de julio y noviembre con menor cantidad de caudal. Para los años 2018 y 2019, se observa una disminución de caudal muy significativa, al igual que la presenciada en febrero del 2020.

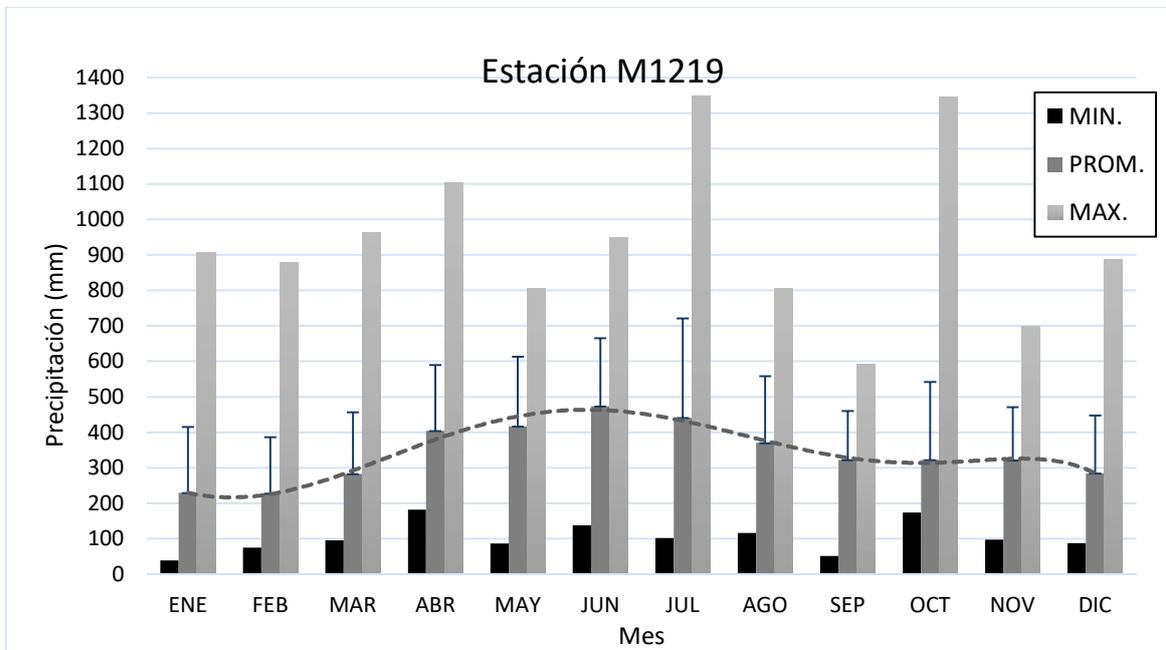


**Figura 6. Caudal de descarga promedio mensual de datos obtenidos de la estación hidrológica HEI1 en el puente carrozable del centro de la ciudad de Tena.**

### **Precipitación:**

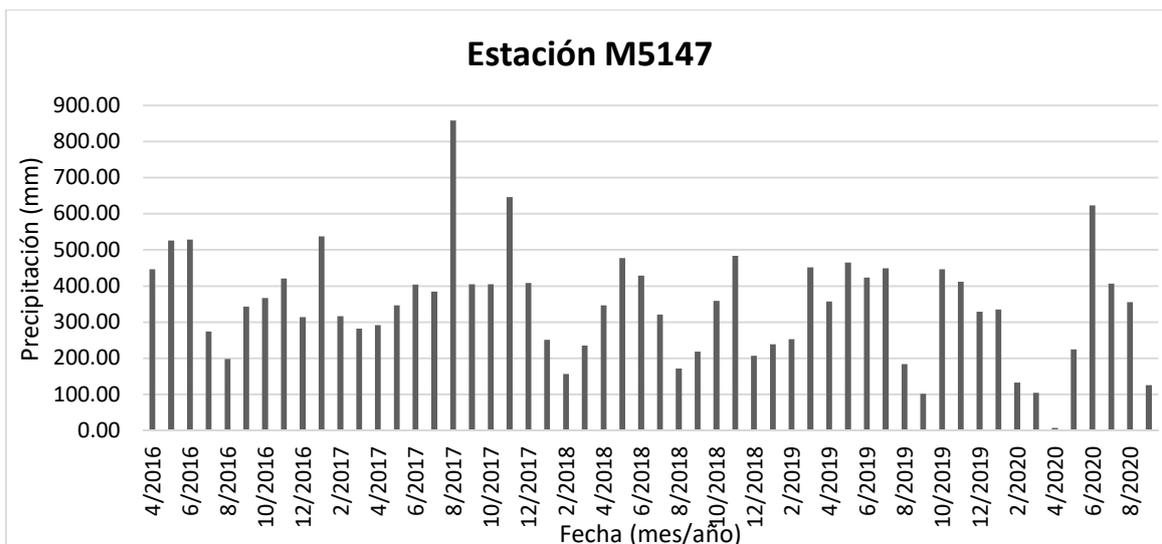
En la figura 8, se observa la media anual de la estación meteorológica M1219 de Chaupishungo de la cual se obtuvo información de más de 30 años de datos (1965-2000). Como resultado de la evaluación estadística se observan el promedio, el máximo y mínimo para cada mes. En esta figura se identifica una moda que tiene una tendencia o valor más común de precipitación correspondiente a un valor de 198,4 mm También se observa que el promedio acumulado anual de precipitación es de 3905,9 mm. En la frecuencia del promedio obtenido, se observa un comportamiento unimodal para los meses de mayor precipitación que corresponden a mayo, junio y julio [31], en adelante definido como la *temporada lluviosa*. En contraste, la *temporada seca* se define como los meses de menor precipitación correspondientes a diciembre, enero, febrero e inicios de marzo. Los demás meses del año se consideran como transitorios, es decir, que dan paso a las temporadas seca o lluviosa.

Las líneas verticales graficadas en la figura 8, sobre los promedios obtenidos, corresponden a la desviación estándar anual, que permite analizar el promedio de la media anual, se puede apreciar que dicha desviación es casi constante para todos los meses del año representados dentro de la figura 8, a excepción de los meses de julio y octubre que mostraron una desviación estándar mayor.



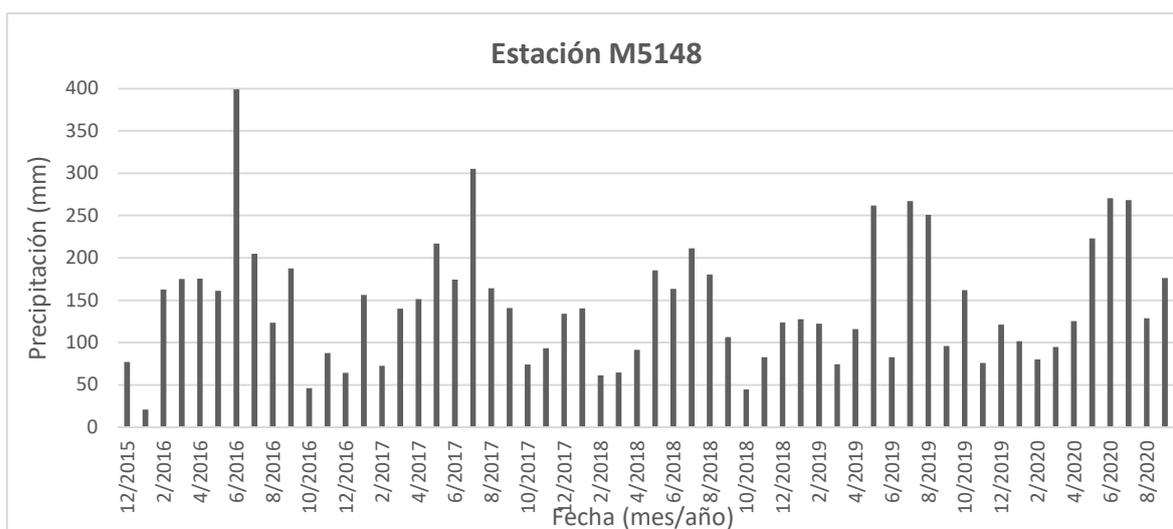
**Figura 7. Promedio mensual de la media anual histórica de la estación meteorológica M1219-Chaupishungo correspondiente a más de 30 años de datos.**

En la figura 9 se obtuvieron los datos de precipitación de la estación meteorológica M5147 en la Universidad Regional Amazónica Ikiam. Para los primeros años de datos que se presentaron en esta estación existe niveles muy elevados de precipitación mensual que sobrepasan los promedios anuales anteriores. Sin embargo, para los años 2018, 2019 y 2020, son los meses de junio y julio en los cuales hubo presencia de la mayor cantidad de precipitación, y los primeros meses del año (enero y febrero) tuvieron menos cantidad de precipitación. También se pudo observar un pico de precipitaciones en agosto de 2017, correspondiente a 858,1 mm. Por otro lado, abril de 2020 se presentó como el mes más seco, que reporta un acumulado de 7,9 mm, siendo este el mínimo reportado. El promedio de precipitaciones mensuales para esta estación, en sus años de monitoreo es de 347,98 mm.



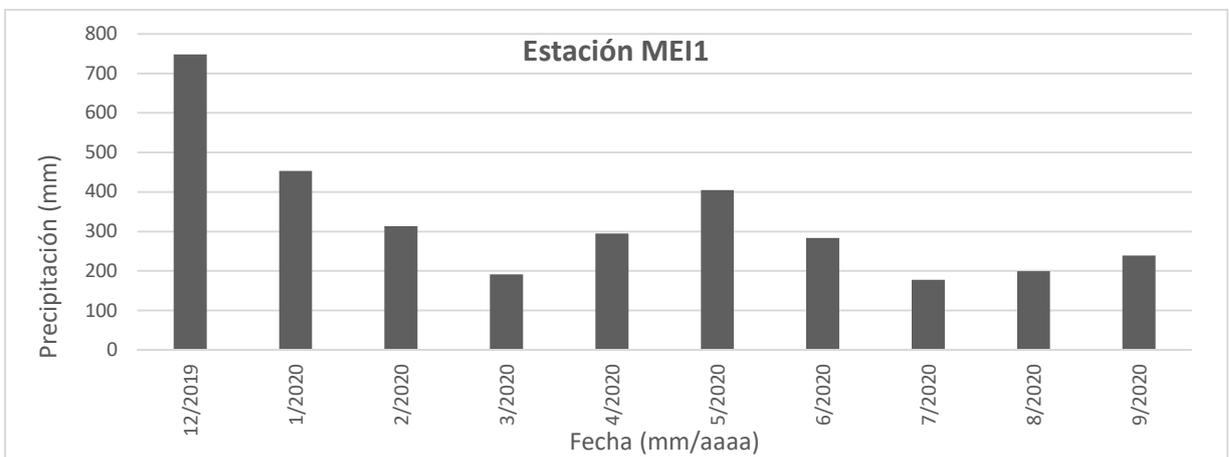
**Figura 8. Precipitación acumulada mensual de la estación meteorológica M5147 en un intervalo de datos de 4.4 años (abril 2016 - agosto 2020).**

En la figura 10, correspondiente a la estación meteorológica M5148 ubicada en la reserva biológica Colonso Chalupas, se observaron datos desde 2015 hasta 2020. En esta estación también se observó que los valores más altos de precipitación se presentaron en los meses de junio y los valores de menor cantidad de precipitación son enero y febrero. Para esta estación se identificó un pico máximo de precipitación correspondiente al mes de junio del 2016, con un valor de 399,1 mm acumulados. El valor mínimo de precipitación acumulada se identificó en enero de 2016 con un valor de 20,8 mm. El promedio de precipitación mensual obtenido de los datos medidos en el período de funcionamiento de esta estación hasta el cierre de esta investigación, correspondió a 144,65 mm.

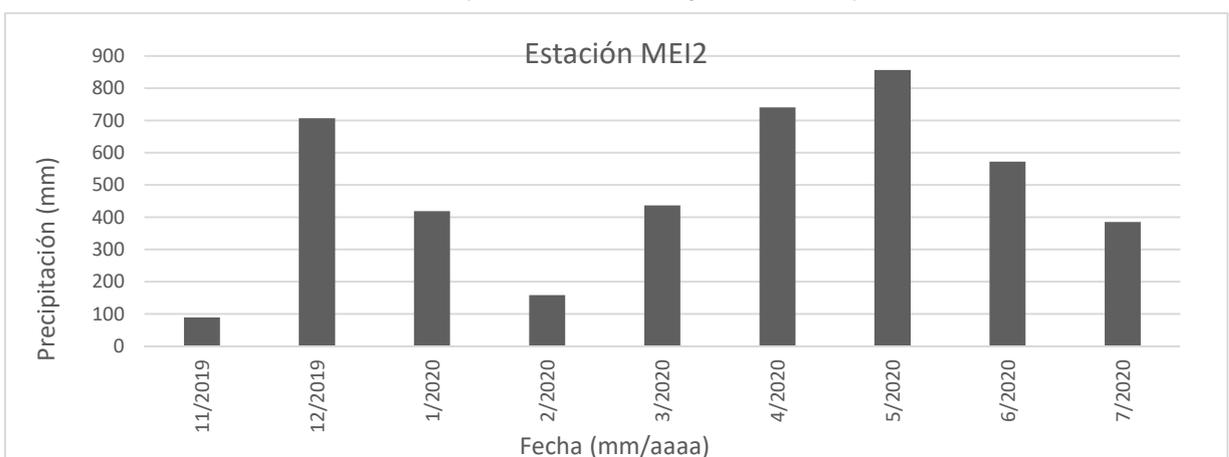


**Figura 9. Precipitación acumulada mensual de la estación meteorológica M5148 en un intervalo de datos de 4.8 años (diciembre 2015 - agosto 2020).**

Finalmente, las estaciones que son propiedad del área de Hidrometeorología de la Universidad Regional Amazónica Ikiam, registraron menos de un año de monitoreo hasta el cierre de esta investigación. la figura 11 Se observó una precipitación acumulada mensual de la estación meteorológica MEI1 en un intervalo de datos tomados desde diciembre de 2019 hasta septiembre de 2020. Esta estación presentó su máximo de precipitación acumulada en el mes de diciembre de 2019 con 748,4 mm y un mínimo de precipitación de 178 mm en el mes de julio de 2020. Su promedio de precipitación acumulada en los 10 meses de datos es de 330,52 mm. La figura 12, por otra parte, muestra los datos de la estación MEI2, donde se observó la precipitación acumulada mensual en un intervalo de datos de 11 meses tomados desde el inicio de funcionamiento de la estación en noviembre de 2019 hasta su solicitud para esta investigación en septiembre de 2020.



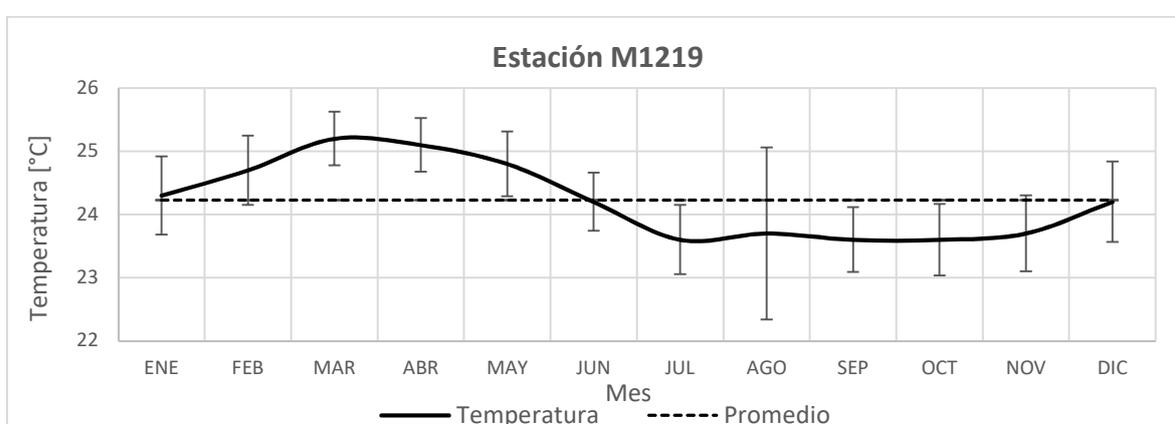
**Figura 10. Precipitación acumulada mensual de la estación meteorológica MEI1 en un intervalo de datos de 10 meses (diciembre 2019 - septiembre 2020).**



**Figura 11. Precipitación acumulada mensual de la estación meteorológica MEI2 en un intervalo de datos de 11 meses (noviembre 2019 – septiembre 2020).**

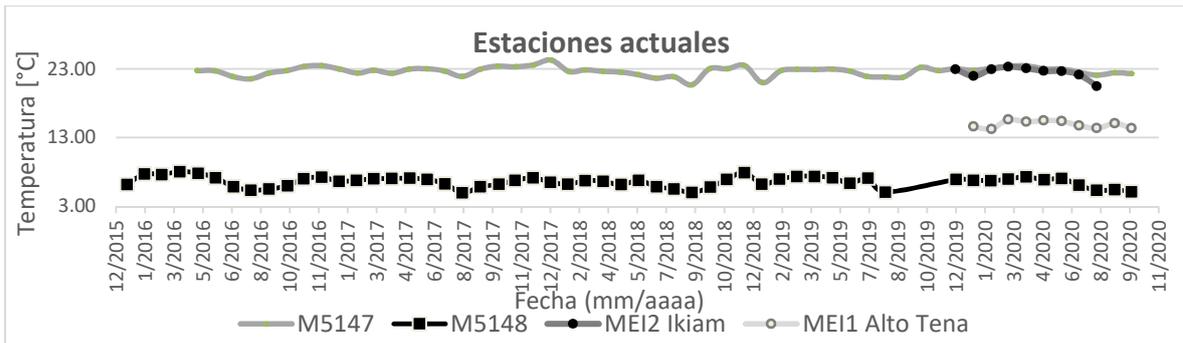
### **Temperatura:**

Al igual que con los datos de precipitación, la estación M1219 de Chaupishungo proporcionó datos históricos que nos permitió identificar el régimen de temperatura promedio que se observó en la figura 13. Se describió que el promedio de la temperatura de la zona varía entre los 25,25 a 23,55 °C, siendo los meses de marzo y abril los más calurosos en todo el año y. Los meses con menor temperatura fueron julio, septiembre y octubre. El promedio de precipitación identificado para este período de más de 30 años de datos correspondió a los 24,25 °C. La desviación estándar varió de la temperatura del mes de agosto es mayor a las obtenidas para los otros meses del año.



**Figura 12. Promedio de temperatura mensual, promedio y desviación estándar de los datos históricos correspondientes a la estación meteorológica M1219 de Chaupishungo.**

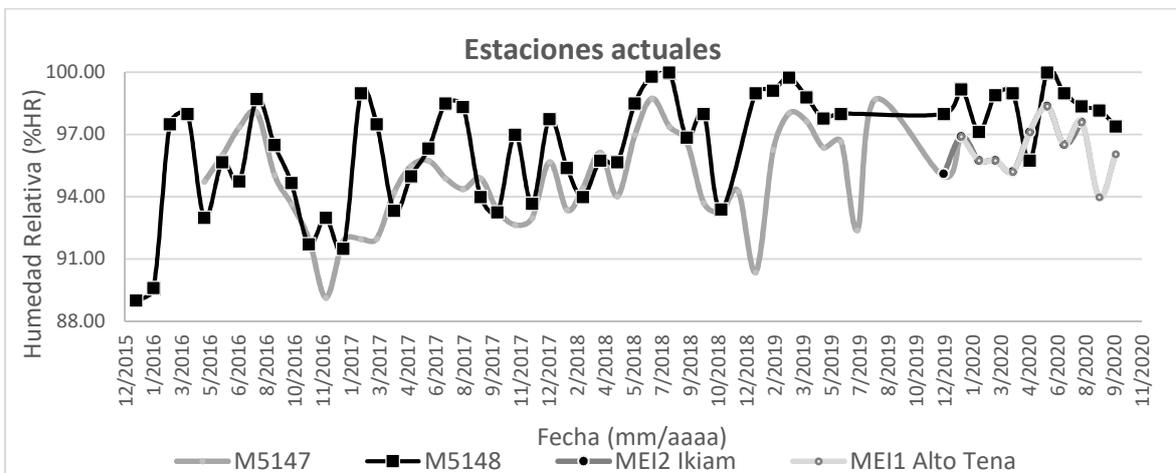
Por otra parte, en el gráfico 14 se observaron los datos de temperatura promedio de las estaciones instaladas recientemente, con datos de los últimos 5 años de monitoreo. Se observó que la mayor temperatura fue identificada en las estaciones M5147 y MEI2, ambas localizadas cerca de la universidad regional Amazónica Ikiam. Estos datos corresponden a un promedio de 22,69 y 22,41 °C respectivamente. En la estación MEI1, ubicada en la comunidad del Alto Tena, se registró promedio fue de 14,95 °C. Finalmente, la estación M5148 en la Reserva Biológica Colonso-Chalupas presentó la temperatura más baja con un promedio de 6,57 °C. También se observó que para las estaciones con datos de los últimos 5 años existe un patrón en el cambio de temperaturas. Entre los meses de julio y agosto existió una disminución de la temperatura significativa y una temperatura más elevada en los primeros meses del año meteorológico entre enero y marzo. Estas observaciones difieren de los datos registrados el año 2019.



**Figura 13. Temperatura promedio de las estaciones más actuales instaladas dentro del área de estudio de la cuenca del río Tena.**

**Humedad Relativa (HR):**

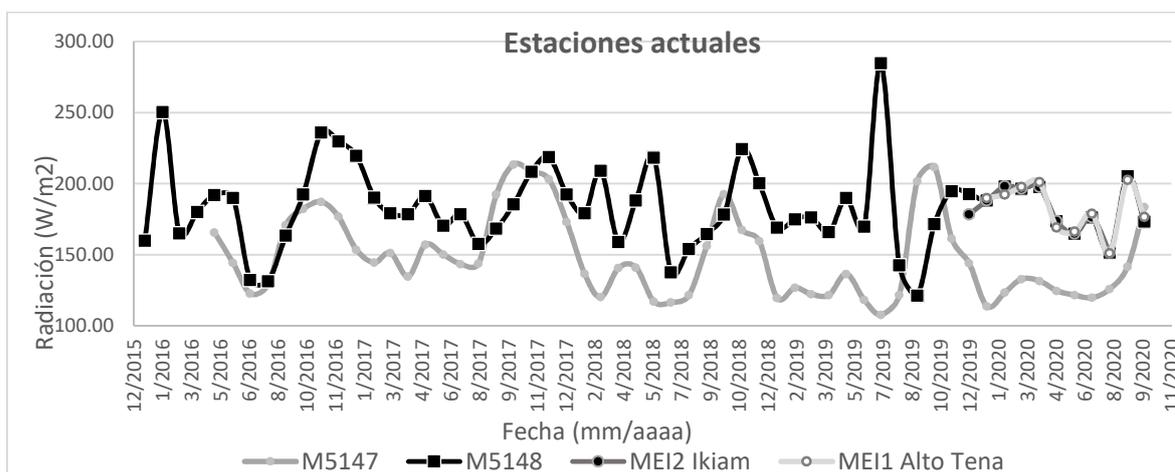
En la figura 15 se observó el promedio obtenido de los datos recolectados por las estaciones más actuales instaladas dentro del área de estudio de la cuenca del río Tena. Los promedios obtenidos de estas cuatro estaciones se mantuvieron en un rango de humedad relativa entre 89% hasta el 100%. La estación M5148, tiene la mayor variabilidad de humedad relativa de todas las estaciones. La segunda estación con mayor variabilidad es la M5147 cuya humedad relativa oscila entre 89,13% y 98,74%. Por otra parte, las estaciones MEI1 en Alto Tena y MEI2 en Ikiam, mostraron similitud de varianza y datos recolectados en su tiempo de funcionamiento. Estos datos corresponden a valores que van de 95,09% hasta 98,37% de humedad relativa para el caso de la estación MEI2 Ikiam. Para el caso de la estación MEI1 Alto Tena, la humedad relativa varía desde 93,97% hasta 98,37%. Los datos no mostraron un patrón repetitivo para ninguno de los meses de estudio encontró ligado a tiempo o mes específico del año.



**Figura 14. Humedad relativa promedio de las estaciones más actuales instaladas dentro del área de estudio de la cuenca del río Tena.**

### **Radiación Solar:**

La figura 16 mostró el promedio mensual de radiación solar de los datos recolectados por las estaciones más actuales instaladas en el área de estudio. Al igual que con la HR, la radiación solar se observó más variable para la estación M5148, con un mínimo de 121,35 W/m<sup>2</sup> en agosto de 2019 y un pico máximo de 285 W/m<sup>2</sup> en el mes de junio del mismo año. Seguido de ello, la estación M5147 entre 107,74 y 213,67 W/m<sup>2</sup>. Las estaciones de Ikiam, mostraron similitud de resultados de su período de datos recolectados entre 150,97 y 202,84 W/m<sup>2</sup>. También se observó que para las estaciones con datos de los últimos 5 años existe un patrón en el cambio de radiación solar. Entre los meses de junio a agosto existió una baja de radiación solar significativa y un aumento de radiación entre enero y marzo todo esto a excepción del año 2019, en el cual existió una diferenciación del patrón identificado.



**Figura 15. Promedio mensual de radiación solar de las estaciones más actuales instaladas dentro del área de estudio de la cuenca del río Tena.**

### **3.1.3. Análisis de variables de parámetros físicos, químicos y microbiológicos de agua en componentes principales (PCA):**

En la tabla 7 se observó la clasificación de grupos realizada sobre los tipos de intervención de mayor relevancia, identificados según el análisis de componentes socioeconómicos de la microcuenca del río Tena con base en las figuras 4 y 5. Esta información resultó de la identificación de los sitios definidos con mayor intervención y afectación de su estado natural con respecto a las características de mayor influencia dentro de la cuenca [16]. Es decir, analizadas de las condiciones biofísicas, socioeconómicas, además de la ubicación del punto de control, correspondiente al marco metodológico del apartado 2.4.1

**Tabla 7. Localización de los sitios definidos inicialmente para el monitoreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos descritos en las tablas 3 y 4, y su clasificación según el tipo de intervención identificada como relevante para monitorear.**

| Nro | Ubicación                                    | Geolocalización (UTM-WGS84(18s)) |            | Clasificación  |
|-----|--|----------------------------------|------------|----------------|
|     |  | X (m)                            | Y (m)      |                |
| 1   | Río Colonso Pie de los Andes                 | 178117,505                       | 9895156,72 | Control        |
| 2   | Tributario salida de las Piscinas de tilapia | 180504,862                       | 9896685,9  | Piscicultura   |
| 3   | Río Tena puente carrozable entrada Atacapi   | 181650,219                       | 9893966,27 | Vías           |
| 4   | Río Tena Muyuna-Cancha deportiva             | 182383,272                       | 9891466,93 | Deforestación* |
| 5   | Salida de Muyuna (Agropecuaria)              | 183223,435                       | 9891365,66 | Agropecuario   |
| 6   | Río Tena final (Urbanismo)                   | 186618,51                        | 9890149,62 | Urbanismo      |

\*El grupo clasificado como deforestación corresponde al orden de pastizal o áreas con baja cobertura vegetal dentro del análisis de los componentes biofísicos y socioeconómicos en la microcuenca del río Tena.

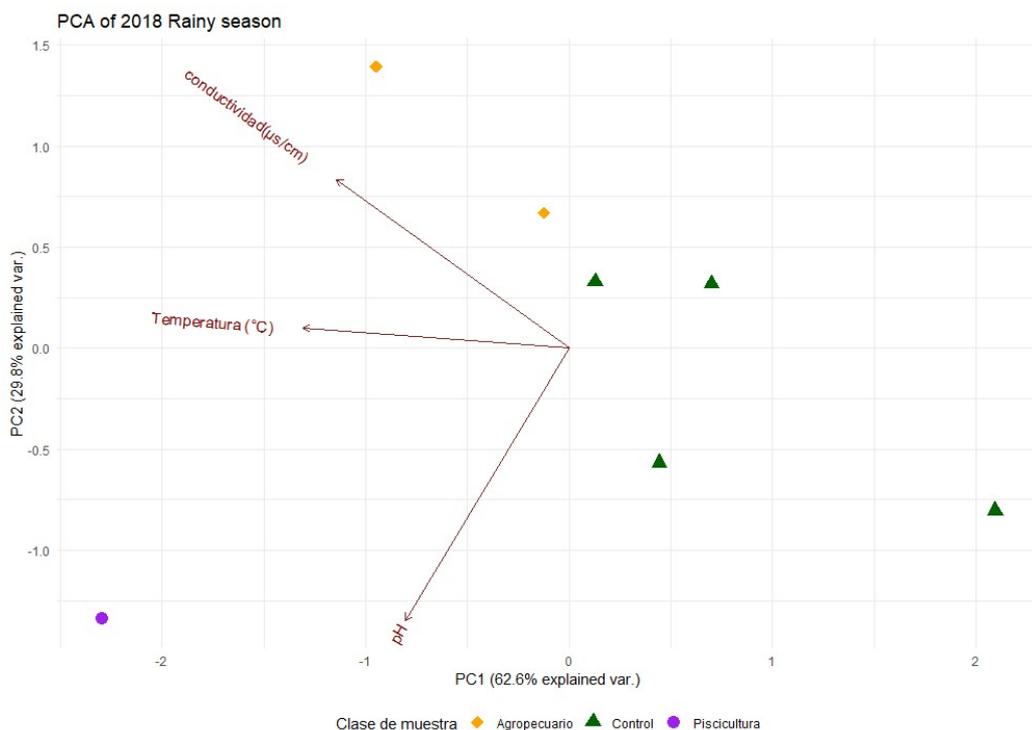
En la clasificación realizada en la tabla 7 se empleó en el análisis de componentes principales (PCA) para la generación de grupos de monitoreo en sitios con los mismos tipos de intervención antropogénica. Se definieron 6 grupos o tipos de actividades relacionadas con el uso o aprovechamiento del agua. Con respecto a la definición del mapa de la figura 5, las áreas de conservación fueron consideradas dentro del grupo clasificado como control, las demás áreas guardan relación a la descripción realizada en el mismo mapa.

Por otra parte, se analizó la precipitación de las figuras 8, 9, 10, 11 y 12 para la separación de los grupos de análisis relacionándolos con una temporada seca, lluviosa o transitoria, dependiendo del mes al que corresponda cada monitoreo dentro de un mismo año. Se obtuvo 4 análisis de componentes principales (PCA) relacionados a su temporalidad.

El análisis de componentes principales realizado comprende un porcentaje de varianza mínimo de 20,3% y un máximo de 75,2%. Para el caso de los componentes principales del segundo orden se presenta un porcentaje mínimo del 9,9% y un máximo de 29,9%. Por otro lado, el análisis de variables tomados en cuenta varió de correlación clasificada según el uso de suelo que rodea al punto de monitoreo. Estos porcentajes de varianza variaron dependiendo de la estacionalidad y año de análisis.

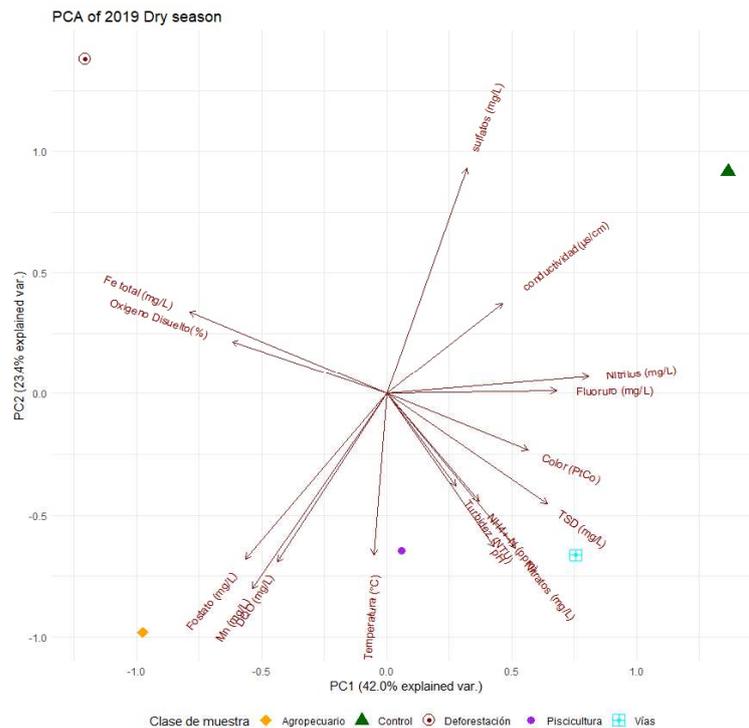
Por ejemplo, para el año 2018, caracterizado como temporada lluviosa transitoria (Figura 17) con monitoreos realizados en el mes de octubre, se muestran tres grupos, que correspondieron a la localización del punto y su relación biofísica y socioeconómica. Se identificaron un grupo control, uno de uso agropecuario y otro de piscicultura. El grupo de

control se ubicó en los ríos Colonso al pie de los Andes y Pashimbi, cerca de la Universidad Regional Amazónica Ikiam. Como se puede observar en la figura 17, los ejes (flechas) del PCA mostraron las variables de monitoreo, correspondientes a temperatura, pH y conductividad. Se observó que, el grupo clasificado como “control” se muestra en sentido opuesto a la dirección del resto de los ejes, lo que indica una correlación negativa. Mientras que, el grupo de “piscicultura” se observó en la misma dirección y sentido indicando una mayor correlación con respecto al pH y efecto de varianza, ya que tiene mayor participación en la construcción del primer componente PC1. El grupo de uso “Agropecuario” se encuentra muy cercano al eje de conductividad, con el cual guarda mayor correlación con respecto al análisis de componentes principales PC2 con un 29.8 porcentual del total de la varianza. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que para este caso de análisis la variable con menor influencia con respecto al segundo eje es la temperatura, la cual se mostró casi totalmente horizontal, indicando que esta mayor relacionada con el componente principal de primero orden (varianza=62,6%). Los ejes de conductividad y pH se encuentran en inclinación con respecto al componente principal de primero orden (varianza=62,6%), pero estos guardaron una correlación negativa. Ambos componentes principales acumulan una representación de la varianza de 92,4%.



**Figura 16. Análisis de componentes principales (PCA) año 2018 en la temporada lluviosa.**

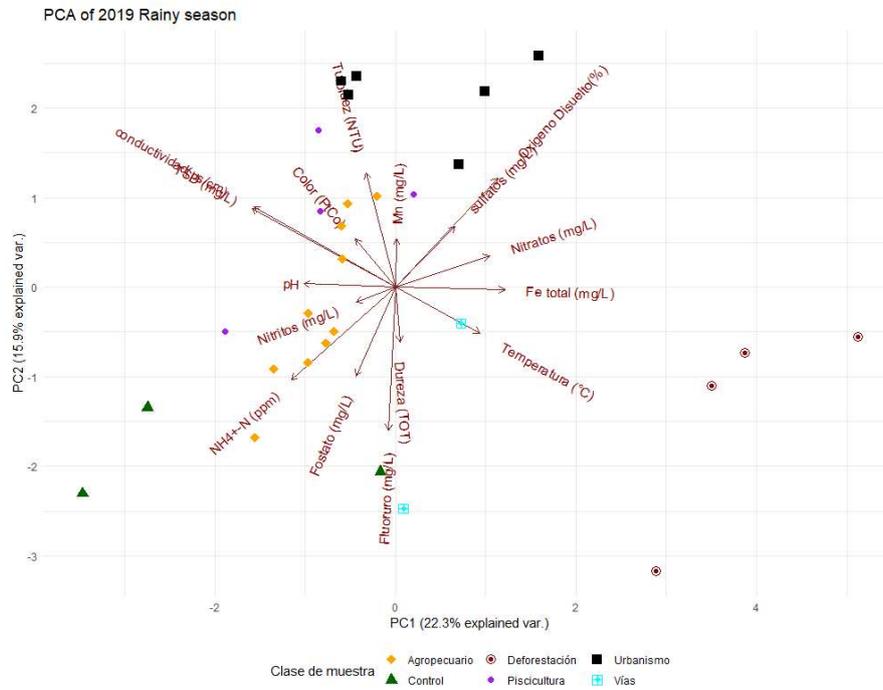
Para el caso del año 2019, caracterizado como temporada seca transitoria (Figura 18) con monitoreos realizados en el mes de agosto se muestran cinco grupos que corresponden a la localización del punto, su relación biofísica y socioeconómica. Los grupos observados son: un grupo control, el río Pashimbi, otros de agricultura, piscicultura, zonas con grandes índices de deforestación. Finalmente, se realizó un monitoreo en tributarios en el río Tena localizados en las zonas cercanas a las vías y carreteras (ver figura 5), perteneciendo al grupo de "vías". En la figura 18, los ejes (flechas) del PCA corresponden a una variación muy amplia de temperatura, pH y conductividad donde sólo la temperatura se mantuvo una correlación negativa con respecto al componente principal PC 1, el grupo de deforestación y el control. También se observó que el grupo control y el grupo de deforestación, se mostraron muy alejados de los ejes y demás grupos, pero son los únicos con una correlación positiva con respecto al PC 2. Por otra parte, los sulfatos, nitritos, fluoruro y la conductividad se correlacionaron positivamente con los dos componentes principales. La correlación del grupo de control. Se observó tuvo un comportamiento similar. El grupo de piscicultura se mostró en la misma dirección y sentido (mayor correlación y efecto de varianza) que la temperatura y el pH. El grupo agropecuario, se encontró muy cercano al eje de fosfato y la demanda química de oxígeno (DQO), con el cual guarda mayor correlación. Para este caso de análisis, la temperatura y los sulfatos se mostraron verticales, lo cual indica que están relacionados con el componente principal de segundo orden (varianza=23,4%). Los demás ejes se encontraron en inclinación con respecto al componente principal de segundo orden (varianza=23,4%). Ambos PC acumularon una representación de la varianza de 65,4%.



**Figura 17. Análisis de componentes principales (PCA) del año 2019 en la temporada seca.**

Por otro lado, el caso del año 2019 caracterizado como temporada lluviosa (Figura 19) con monitoreos realizados en los meses de abril y mayo, se mostraron todos los 6 grupos definidos en la tabla 6, que corresponden a la localización del punto y su relación biofísica y socioeconómica. Los grupos que se muestran son un grupo control, del río Pashimbi, otros de agricultura, piscicultura, zonas con grandes índices de deforestación y finalmente un monitoreo cercano a las vías de acceso dentro de la cuenca del río Tena y puntos monitoreados dentro de la zona urbana o centros poblados. Como se observó en la figura 19, los ejes del PCA corresponden a una variación muy amplia y sesgada entre grupos, pero con agrupación entre elementos del mismo grupo sugiriendo una menor varianza entre elementos de un mismo grupo. Se observó también que los grupos control, deforestación y urbanismo se muestran muy alejados de los ejes y demás grupos. Por otro lado, el grupo de uso agropecuario se muestra en la misma dirección y sentido (mayor correlación y varianza acumulada) que las variables fosfato, nitrógeno amoniacal, nitritos, pH, color conductividad y sólidos disueltos totales que guardan correlaciones negativas con el componente principal 1. El grupo de piscicultura se encontró muy cercano al eje de nitritos, conductividad, color, turbidez y manganeso. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que, para este caso de análisis, la dureza, fluoruro y manganeso se mostró casi totalmente

verticales, lo cual indica que están mayormente correlacionadas con el componente principal de segundo orden (varianza=42%). Los demás ejes se encontraron en inclinación con respecto al componente principal de segundo orden (varianza=23,4%). Ambos componentes principales (PC) acumularon una representación de la varianza de 38,2%.



**Figura 18. Análisis de componentes (PCA) del año 2019 en la temporada lluviosa.**

En la figura 20 se presentó el análisis del mes de enero de 2020, época definida como seca. En este caso se observaron también todos los 6 grupos definidos en la tabla 6. Sin embargo, las dos muestras control fueron tomadas en sitios de conservación (figura 5. A). Dos muestras se tomaron en lugares en donde se lleva a cabo la piscicultura, y uno en áreas agropecuarias, deforestadas grupos restantes. Los puntos de monitoreo de grupo control, están totalmente aislados entre si y de los demás grupos al igual que el grupo agropecuario. Sin embargo, los grupos de vías, piscicultura y deforestación se encontraron muy correlacionado ente sí y con el PC 2, mientras que el grupo de urbanismo y agropecuario guardó correlaciones negativas con ambos PC, 1 y 2. Para este caso, el componente principal PC1 correspondió a un valor significativo del 75,2% del total de la varianza y el componente principal PC 2 corresponde en cambio a un 9.9% de este acumulado, y entre ambos acumulan una representación de la varianza de 85,1%.

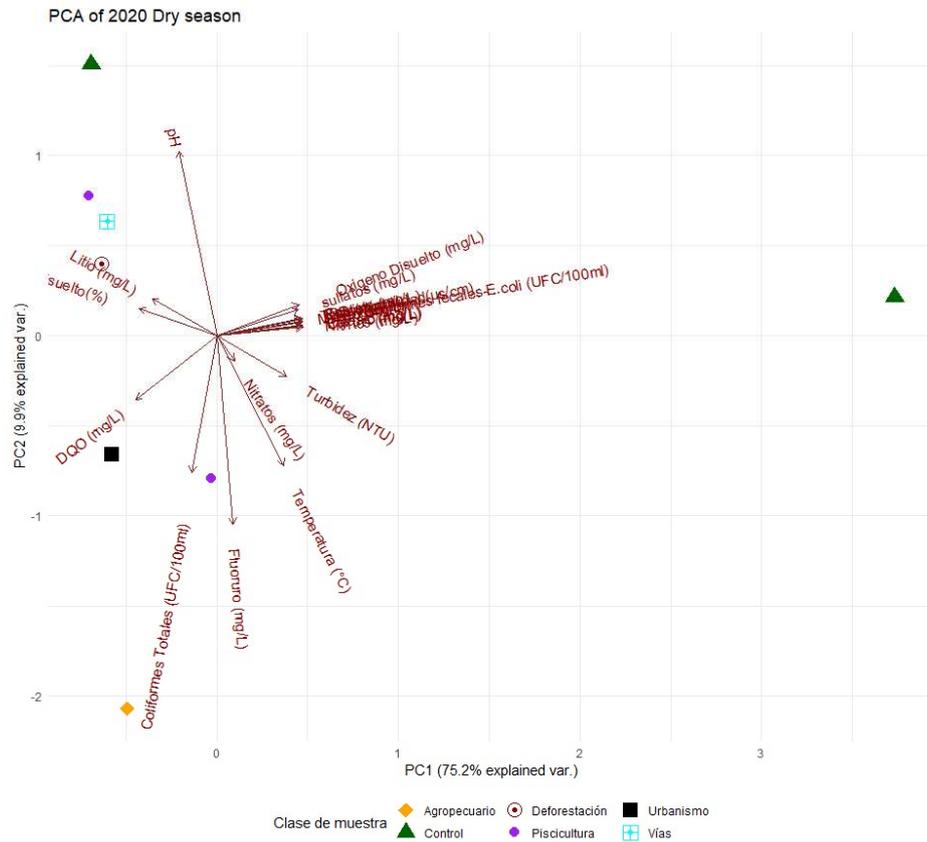


Figura 19. Análisis de componentes principales (PCA) del año 2020 temporada seca.

Tabla 8. Resumen de %varianza significativa para el componente principal PC1, análisis del número de monitoreos realizado por grupo/número de variables medida

| Temporada     | Lluviosa transitoria (Var=62,6%) | Seca (Var=42%) | Lluviosa (Var=22,3%) | Seca transitoria (Var=75,2%) |
|---------------|----------------------------------|----------------|----------------------|------------------------------|
| Grupo         |                                  |                |                      |                              |
| Control       | 1,33                             | 0,0625         | 0,1875               | 0,09                         |
| Agropecuario  | 0,66                             | 0,0625         | 0,62                 | 0,045                        |
| Piscicultura  | 0,33                             | 0,0625         | 0,25                 | 0,09                         |
| Deforestación | -                                | 0,0625         | 0,25                 | 0,045                        |
| Vías          | -                                | 0,0625         | 0,125                | 0,09                         |
| Urbanismo     | -                                | -              | 0,375                | 0,09                         |

### 3.1.4. Análisis de ensayos ecotoxicológico:

Los datos recolectados en la campaña de monitoreo fueron procesados dando como resultado las figuras 21 y 22. Los resultados de las pruebas de fitotoxicidad en agua (figura 21) y sedimento (figura 22) utilizando semillas de *lechuga* que fueron sometidas a la evaluación La fitotoxicidad mediante el porcentaje (%) de germinación, en comparación con tamaño del epicótilo y el tamaño de las raíces expuestas al agua y sedimentos extraídos de los sitios de muestreo en comparación con el control, en las cuales, son marcadas con asterisco (\*) dentro de las figuras 21 y 22, las que muestran diferencias con respecto al

control. Estas diferencias fueron significativas para el caso de los grupos de piscicultura y deforestación, con los cuales existió menos del 5% de germinación con respecto al grupo de control. En la figura 21, las columnas mostraron la media  $\pm$  error estándar (barras verticales sobre cada columna con  $n = 15$ ) en el crecimiento de raíces o epicótilo en ensayos realizados en muestras de agua. Se observa que para el caso del área de urbanismo monitoreada existió una diferencia media significativa ( $p < 0,05$ ), al igual que para el caso de vías con respecto al crecimiento de la raíz, que para estos dos grupos se mostró con mayor crecimiento; una diferencia significativa en el epicótilo de las muestras de urbanismo. Finalmente, también se observó que el menor porcentaje de crecimiento (93%) se encuentra presente en las muestras de áreas con presencia de deforestación, vías o uso agropecuario y con respecto a la raíz, los que muestran menor crecimiento de la misma son los sitios de urbanismo y vías.

Con respecto a los ensayos con sedimentos, en la figura 22, se observó que los porcentajes de germinación son muy diferentes con respecto al ensayo de control. Las muestras con mayor porcentaje fueron urbanismo (53%) y deforestación (45%). Las columnas, al igual que en la figura 21, mostraron la media  $\pm$  error estándar (barras verticales sobre cada columna con  $n = 15$ ) en el crecimiento de raíces o epicótilo. Se observó que para el caso del área de vías y uso de agricultura existió una diferencia media significativa ( $p < 0,05$ ), al igual que para el caso de vías y deforestación con respecto al crecimiento de la raíz. Con respecto al crecimiento del epicótilo, únicamente se muestra una diferencia significativa para el caso de deforestación. Finalmente, también se observó que el menor porcentaje de crecimiento se encuentra presente en las muestras de áreas con presencia de vías. Con respecto a la raíz, los que mostraron menor crecimiento de la misma son los sitios de urbanismo deforestación y agricultura.

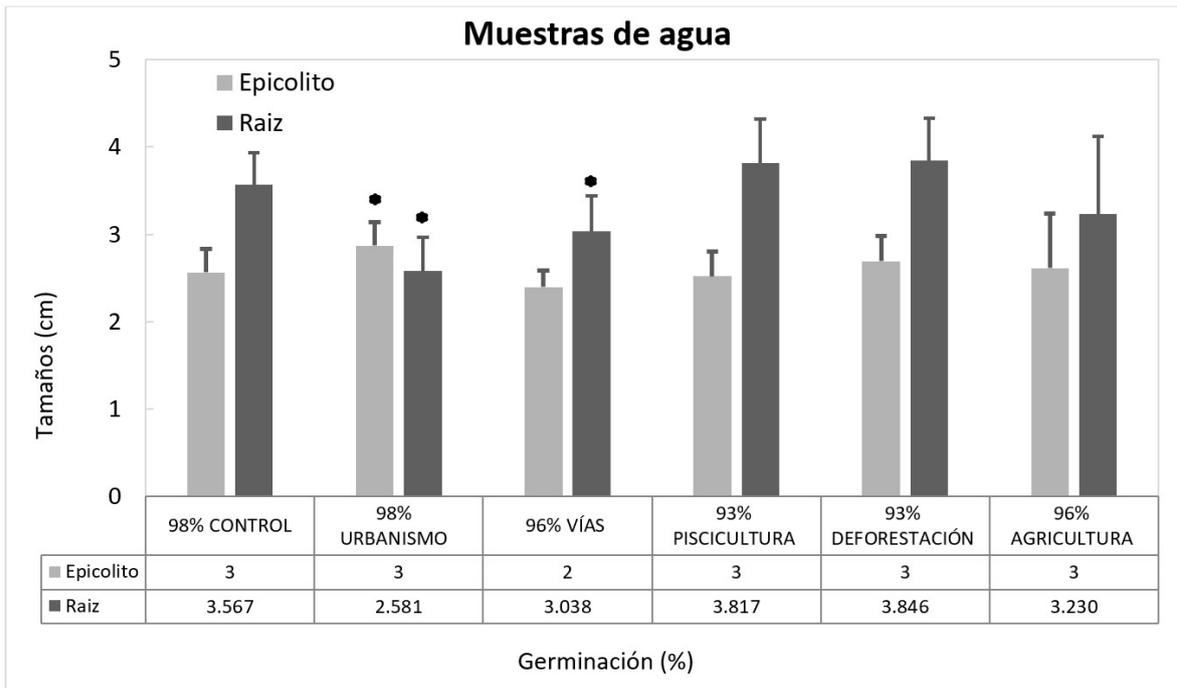


Figura 20. Análisis de ensayos ecotoxicológicos con *L. sativa* para las muestras de agua

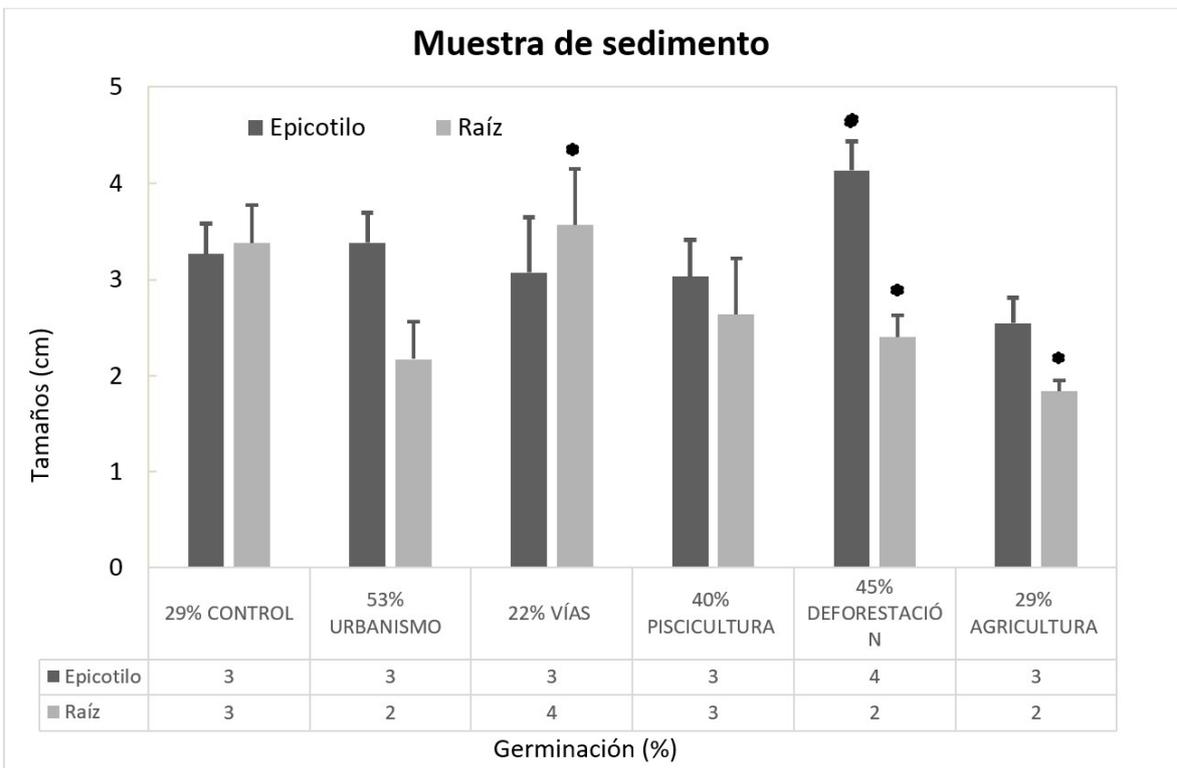


Figura 21. Análisis de ensayos ecotoxicológicos con *L. sativa* para las muestras de sedimento.

### 3.2. Diseño de redes de monitoreo: Calidad vs Cantidad

Los resultados obtenidos de los parámetros hidroquímicos de análisis de las condiciones

físicas, químicas, microbiológicas y ecotoxicológicas (calidad) y el resultado de las gráficas de datos socioeconómicos, biofísicos y meteorológicos (cantidad) expresados como múltiples líneas de evidencia, se muestran a continuación.

### 3.2.1. Clústeres jerárquicos del análisis jerárquico ponderado:

Las variables analizadas en la matriz de comparación por pares de las múltiples líneas de evidencia (tabla 9), mostraron la ponderación de relevancia o importancia de un parámetro o variable sobre otra en el análisis multicriterio referente a la tabla 6. Como se ha mencionado en la sección 2.5 de la metodología se empleó la escala numérica de Saaty (tabla 6) para realizar la matriz de comparaciones descrita en la tabla 9. Esta tabla corresponde a una comparación por pares de las búsquedas bibliográficas descritas en la misma sección 2.5 (sobre el diseño de la red de monitoreo y parametrización). Mediante el uso de la tabla 9, junto con la aplicación de las ecuaciones (1) y (2), se obtuvo los datos de la tabla 10, que corresponden a los datos de la proporción de consistencia para este caso de estudio en la cuenca del río Tena.

#### *Matriz de comparación por pares:*

**Tabla 9. Matriz de comparación por pares con respecto a las variables analizadas de las múltiples líneas (componentes biofísicos y socioeconómicos, variables meteorológicas y condiciones iniciales de calidad del agua (CA) de la base de datos) de evidencia mostrados en los resultados de esta investigación.**

| Variables |                             | C1                     | C2                          | C3                 | C4                          | Suma  | Ponderación % |
|-----------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|-------|---------------|
|           |                             | Componentes biofísicos | Componentes socioeconómicos | Variables Hidromet | Condiciones iniciales de CA |       |               |
| C1        | Componentes biofísicos      | 1                      | 0.33                        | 2                  | 0.20                        | 3.53  | 0.126         |
| C2        | Componentes socioeconómicos | 3                      | 1                           | 3                  | 0.5                         | 7.50  | 0.268         |
| C3        | Variables Hidromet          | 0.5                    | 0.33                        | 1                  | 0.142857143                 | 1.98  | 0.071         |
| C4        | Condiciones iniciales de CA | 5                      | 2                           | 7                  | 1                           | 15.00 | 0.536         |
| Suma      |                             | 9.5                    | 3.67                        | 13                 | 1.84                        | 28.01 | 1             |

#### *Proporción de consistencia:*

**Tabla 10. Valores obtenidos de las fórmulas de consistencia lógica en el análisis jerárquico ponderado.**

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| Máximo valor propio                | 5,082 |
| Índice de consistencia (CI)        | 0,028 |
| Índice aleatorio (RI)              | 0,9   |
| Proporción de consistencia (CI/RI) | 0,3   |

### **3.2.2. Criterios para la selección de zonas del diseño de la red de monitoreo y parametrización:**

#### ***Estimación de la carga contaminante:***

En el análisis por pares de la tabla 9 se observó la mayor ponderación corresponde al análisis previo de las condiciones iniciales de calidad del agua, por lo cual es importante analizar la carga contaminante de toda la cuenca. Según la ponderación de priorización de cada uno de los componentes (biofísico, socioeconómico, hidrometeorológico y condiciones iniciales de calidad del agua), estas se muestran recategorizadas. Para el caso de los 2 primeros componentes, su resultado fue la recategorización directa a partir de los shapefiles obtenidos como resultados en el sistema de información geográfica según las condiciones iniciales descritas en las figuras 3, 5. Para el caso de los datos meteorológicos y de calidad del agua, la información de ambos casos fueron introducidos en las tablas de atributos dependiendo de las áreas (ubicación geográfica) a la que pertenecía cada una de sus variables y el respectivo valor obtenido para cada caso. Esto permitió generar una estimación de la carga contaminante y cuánto aporta (influye) cada una de las líneas de evidencia a dicha carga. Para este caso y como se describe en la tabla 9, el componente biofísico aportó con un 20% del total de afectaciones o variables que afectan a la calidad del agua, a su vez, el componente socioeconómico aportó con un 22,3% y el meteorológico con un 5,24%. Con estas ponderaciones, se empleó como último paso a seguir, el uso de la calculadora raster, del cual se obtuvo como resultado la figura 23 mediante la cual se procedió a priorizar la localización de las estaciones de monitoreo, dependiendo de la relevancia de cada una de las áreas marcadas en el mapa.

#### **3.2.3. Localización de las estaciones de monitoreo:**

En la figura 23 se observó el resultado de aplicar el análisis jerárquico ponderado en el área de estudio. Se determinó que la zona de color oscuro zona 5 corresponde al área idónea para localizar los puntos de monitoreo permanente. También se identifican las zonas sin relevancia para realizar monitoreo (zona 1) marcadas con un color más claro.

#### ***Determinación de las afectaciones puntuales de la descarga:***

Estas se determinaron a partir de la figura 3 donde se identificaron las pendientes del terreno y con ello la afectación que se producirá en la descarga. Debido a su aporte con

respecto a la pendiente y la escorrentía propia del terreno. En el anexo 2 se realizó una ponderación de dichas afectaciones con respecto a las condiciones biofísicas mencionadas en el marco metodológico y resultados descritos en la sección 3.1.1 del capítulo 3 de resultados.

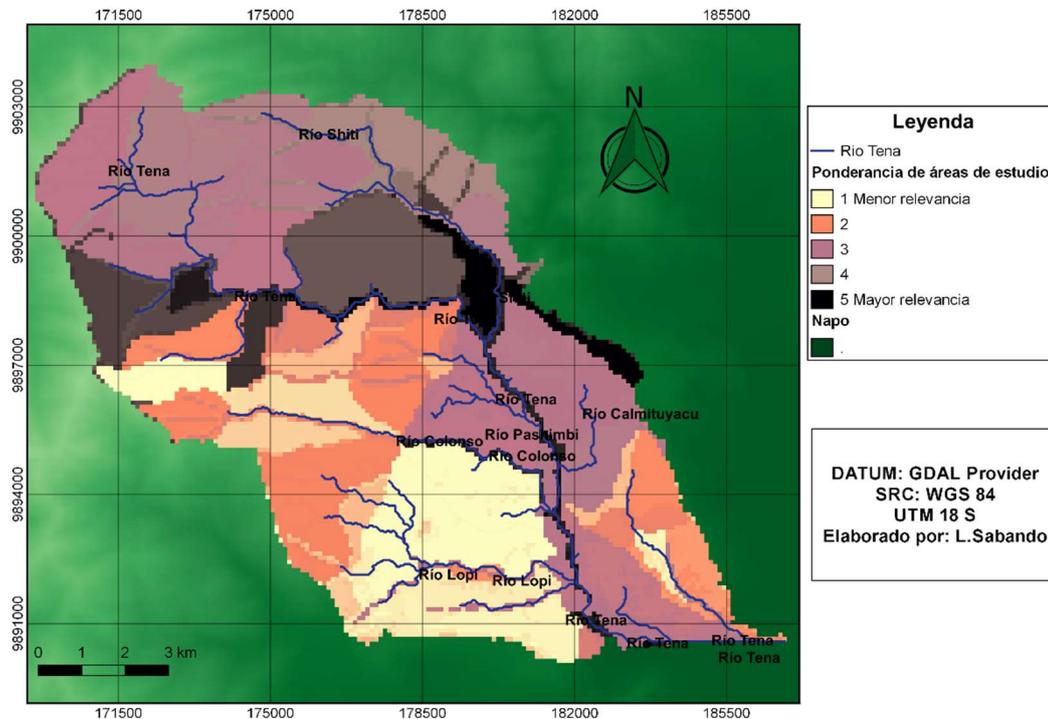


Figura 22. Mapa rasterizado de las ponderaciones generadas para cada uno de los componentes analizados según su relevancia e influencia con respecto a la calidad del agua dentro del área de estudio

### 3.2.4. Evaluación de los parámetros de diseño:

#### *Parámetros de diseño:*

Para la elección de estos parámetros se tomó en cuenta el análisis estadístico de los componentes principales realizado en la sección 3.1.3 del análisis de variables de calidad del agua. Para ello se tomó como prioridad a los componentes principales que posean un porcentaje de varianza significativa (menor a 40%) del total de la varianza generado, con respecto al número de muestras tomadas por cada grupo identificado a partir de la tabla 7, para cada análisis de las figuras 17, 18, 19 y 20. Esto dio. Esto como resultado una correlación mayor a 0,5 para ser considerado dentro de las variables que se analizaron para ser tomadas en cuenta para el monitoreo de cada temporalidad. También se tomó en consideración la combinación de factores que caracterizaron cada clase de muestra, de los cuales se tomó las expresiones gráficas de los valores elevados o por debajo del rango permisible establecido en las normativas.

En la tabla 11, se detallaron los parámetros sugeridos a monitorear para cada grupo, con respecto a la época del año en la que se realiza el monitoreo.

**Tabla 11. Parámetros sugeridos para el monitoreo según la temporada seca o lluviosa.**

| Grupo         | Temporada seca   | Temporada lluviosa  |
|---------------|--|---|
| Control       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- DQO / DBO5</li> <li>- Oxígeno disuelto</li> <li>- Fosfatos</li> <li>- Coliformes totales</li> <li>- Sulfatos</li> <li>- Ensayos ecotoxicológicos</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Nitrógeno amoniacal</li> <li>- Nitritos</li> <li>- Fosfato</li> <li>- Oxígeno disuelto</li> <li>- Fluoruros</li> </ul>  |
| Agropecuario  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- DQO / DBO5</li> <li>- Oxígeno disuelto</li> <li>- Coliformes totales</li> <li>- Nitratos</li> <li>- Sulfatos</li> <li>- Manganeso</li> <li>- Fosfato</li> <li>- Ensayos Ecotoxicológicos</li> </ul>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dureza</li> <li>- Color</li> <li>- Turbidez</li> <li>- Nitritos</li> <li>- Nitratos</li> <li>- Sulfatos</li> <li>- Hierro</li> <li>- Fosfato</li> </ul>  |
| Piscicultura  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- DQO / DBO5</li> <li>- Oxígeno disuelto</li> <li>- Turbidez</li> <li>- Coliformes totales</li> <li>- Fluoruros</li> <li>- Nitritos</li> <li>- Nitrógeno amoniacal</li> <li>- Ensayos Ecotoxicológicos</li> </ul>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Color</li> <li>- Turbidez</li> <li>- Manganeso</li> <li>- Conductividad</li> <li>- Nitritos</li> <li>- Nitrógeno amoniacal</li> <li>- Sulfatos</li> <li>- Fluoruro- Oxígeno disuelto</li> <li>- Sólidos disueltos totales</li> </ul> |
| Deforestación | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Oxígeno disuelto</li> <li>- Sulfatos</li> <li>- Hierro</li> <li>- Fluoruros</li> <li>- Sólidos disueltos Totales</li> <li>- Fosfatos</li> <li>- Ensayos Ecotoxicológicos</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dureza</li> <li>- Hierro</li> <li>- Oxígeno disuelto</li> <li>- Fluoruros</li> <li>- Fosfatos</li> </ul>   |
| Vías          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Oxígeno disuelto</li> <li>- Turbidez</li> <li>- Sólidos disueltos totales</li> <li>- Fluoruros</li> <li>- Color</li> <li>- Nitritos</li> <li>- Nitrógeno amoniacal</li> <li>- Ensayos Ecotoxicológicos</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dureza</li> <li>- Oxígeno disuelto</li> <li>- Turbidez</li> <li>- Fluoruros</li> <li>- Hierro</li> <li>- Fosfatos</li> </ul>   |
| Urbanismo     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- DQO / DBO5</li> <li>- Oxígeno disuelto</li> <li>- Turbidez</li> <li>- Coliformes totales</li> <li>- Fluoruros</li> <li>- Nitrógeno amoniacal</li> <li>- Sulfatos</li> <li>- Fosfatos</li> <li>- Ensayos ecotoxicológicos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Manganeso</li> <li>- Color</li> <li>- Turbidez</li> <li>- Oxígeno disuelto</li> <li>- Fluoruros</li> <li>- Nitrógeno amoniacal</li> <li>- Sulfatos</li> <li>- Fosfatos</li> </ul>  |

***Frecuencia de monitoreo:***

Se recomienda un mínimo de 2 monitoreos al año, uno en los meses de mayo a julio, considerados como la temporada lluviosa y otro en la temporada seca entre los meses de diciembre a febrero con base en la información descrita en la metodología de las variables de temperatura, precipitación, humedad relativa, radiación solar y nivel del agua. Al tratarse de grupos con características diferentes (deforestación, uso agropecuario, vías, urbanismo, control y piscicultura) no es necesario llevar a cabo las campañas de monitoreo en un rango de tiempo específico. Las campañas semestrales que se sugieren deberán ser realizadas primero mayo y julio y luego entre diciembre y febrero. No es necesario que el muestreo se lleve a cabo el mismo día. También es importante mencionar la accesibilidad o la distancia que se debe recorrer para llegar a las estaciones de monitoreo establecidas. Por ello no se indica un rango específico en el que se debe realizar cada campaña. Con estas consideraciones se recalca que lo importante es realizar las campañas de monitoreo semestrales dentro de una misma temporada (seca o lluviosa)

## **CAPÍTULO IV. INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN**

El diseño de una red de monitoreo de calidad del agua, basadas en las múltiples líneas de evidencia en la cuenca del río Tena, dio paso a la determinación y el futuro pronóstico de las condiciones ambientales de calidad del agua asociadas a la actividad antrópica. Estas líneas de evidencia, desarrolladas en la sección anterior, mostraron mediante un análisis comparativo, cuánto influye la variabilidad biofísica, socioeconómica e hidrometeorológica en la calidad del agua dentro de la cuenca del río Tena. La variabilidad ponderada de cada uno de los componentes, junto con la base de datos de condiciones iniciales de calidad del agua, como una componente de esta investigación, afirman las hipótesis planteadas.

Esta red de monitoreo provee información necesaria para la regulación y control dentro de la cuenca. La variabilidad biofísica, socioeconómica e hidrometeorológica en la cuenca del río Tena son de gran influencia en la variabilidad de las condiciones de calidad del agua del río Tena y deben ser consideradas en el diseño de la red de monitoreo dentro de su cuenca. A continuación, se interpretaron las afirmaciones en las cuales la influencia de cada uno de los componentes que componen esta investigación:

### **4.1. Análisis de las múltiples líneas de evidencia**

#### **4.1.1. Análisis del componente biofísico**

El análisis de las múltiples líneas de evidencia nos permitió conocer las condiciones tanto biofísicas como socioeconómicas que se encuentran presentes en el área de estudio [1,9]. Con respecto a cada uno de los cuatro componentes analizados (biofísico, socioeconómico, hidrometeorológico y condiciones iniciales de calidad de agua), las zonas identificadas en la figura 23, correspondieron a un patrón a seguir con respecto a las áreas a monitorear. Este patrón a seguir correspondió a la importancia (o relevancia) que se describió por los colores más oscuros dentro del mapa de la figura 23. En este caso, las zonas de mayor relevancia serán las zonas idóneas para establecer las estaciones de monitoreo.

Se observó que la cuenca del río Tena posee una variabilidad relevante con respecto a la pendiente que van desde los 531 (pendiente de 0%) hasta los 2126 m.s.n.m (pendientes que sobrepasan el 150%). Además, en esta investigación resaltaron también los principales afluentes y accesibilidad a los sitios de muestreo

Para el caso del componente biofísico las variables a considerar fueron el

dimensionamiento de la cuenca y los principales ríos (tributarios) que aportan sus aguas al río Tena, la cobertura vegetal que define las áreas de conservación y la pendiente de la cuenca. Esta última variable tomó un mayor peso con respecto a las otras dos debido a la accesibilidad del área de estudio y su importancia en el planteamiento de los sitios donde se ubican las estaciones de monitoreo. Este involucró la cuenca en su totalidad y las sub-áreas donde se clasificó por el tipo de pendiente baja y áreas que serían más accesibles al monitoreo [9]. Una vez identificados sus tipos de pendientes, estas se relacionaron con la localización de los ríos tributarios que desembocan en el río Tena y forman parte de la clasificación de la categoría de los ríos [4], de los cuales se tiene datos de calidad que fueron usados para este estudio en los ríos Shitig, Colonso, Pashimbi, Calmituyaku y el cauce principal del río Tena. Cabe recalcar que cada uno de ellos tuvo diferentes tipos de actividades socioeconómicas, lo cual permitió la concatenación de información geográfica analizada en ambas componentes. Finalmente, el área de conservación ANP Colonso Chalupas se descartó debido a que es poco intervenida, siendo tomada en cuenta únicamente para las muestras de control.

Las zonas con un porcentaje de pendiente entre 150 a 200% se denominan escarpadas y se consideran inaccesibles. Las zonas con pendientes mayores a 40%, son denominadas pendientes fuertes y se categorizan como zonas de poca accesibilidad. Las pendientes menores al 25%, denominadas medias, ya son accesibles para instalar estaciones de monitoreo. En estos sitios se realizaron algunos de los análisis previos de calidad del agua que preceden a esta investigación. Las pendientes de 5 al 0% son de alta accesibilidad, en esta categoría se localizaron la mayoría de los monitoreos previos, guardando concordancia con lo explicado sobre la accesibilidad a las zonas de monitoreo.

#### **4.1.2. Análisis de la componente socioeconómica**

La componente socioeconómica fue estudiada en dos años diferentes, con la finalidad de observar el cambio de actividades sociales y económicas ligadas al área de estudio. En ambos años se observaron las mismas clasificaciones, lo que significa que las actividades socioeconómicas que predominan dentro de la cuenca no han cambiado. Sin embargo, para el año 2014 [19], las áreas de las actividades socioeconómicas eran [19], más pequeñas con respecto al 2018 [18]. Así por ejemplo, para el año 2018 se observó que las áreas de deforestación han incrementado en un 20% [18]. y se han esparcido generalmente cerca de

las áreas de uso agrícola, de urbanismo y de vías.

Esto indica que las áreas deforestadas se convirtieron en zonas de prácticas agrícolas, de construcción de casas o desarrollo de infraestructura vial. Este patrón se observó también con la presencia de obras de infraestructura (presentes antes del año 2014) con presencia de áreas de deforestación [18]. Cabe indicar también que las áreas deforestadas correspondieron al orden de pastizal o áreas con baja cobertura vegetal. Estas áreas correspondieron a 1% del total de la cuenca evaluado hasta el año 2018. Dentro de este análisis socioeconómico la presencia de carreteras y caminos que fueron implantados desde el 2014 [19] hasta el 2018 [18], denotaron una variación escasa entre ellos, pero representan el 10.9% del total de la cuenca. Es importante recalcar que la presencia de una carretera o camino, también cuenta como un análisis a las vías de acceso a los lugares donde se planteó colocar los puntos de monitoreo, por lo cual también se superpuso inicialmente en el análisis de la componente biofísica.

Los otros componentes estudiados (piscicultura, urbanismo y agricultura) correspondieron a un área menor al 2% del total de la cuenca. Esto indica que las zonas de urbanismo se muestran como áreas poco prioritarias para el establecimiento de los sitios de muestreo dentro de la componente socioeconómica ya que es su área de intervención antropógena con respecto a las áreas de vías o las de deforestación es inferior en área.

Finalmente, en el análisis socioeconómico, al igual que en el biofísico, se superpuso a la capa de puntos de las coordenadas donde se realizaron los monitoreos y con ello es evidente que las anteriores investigaciones al igual que este estudio, monitoreaban zonas con intervención del tipo antropogénico presente en la cuenca del río Tena.

#### **4.1.3. Análisis de la componente hidrometeorológica**

El resultado de las variables hidrometeorológicas inicialmente se categorizó por cantidad [54,55]. La presencia de dos estaciones hidrológicas, con más de un año de datos recolectados, nos dio un indicio de la cantidad de agua que se encuentra presente tanto en la parte media (Estación HEI2), como en la desembocadura (estación HEI1) de la cuenca de estudio. El nivel de agua que presenta la parte media de la cuenca se evidenció que es menor con respecto a en nivel de la desembocadura que llega a niveles más elevados. Esto es un indicio que de que no existen pérdida de cantidad de agua, sino que más bien a medida que los tributarios depositan sus aguas en el río Tena, el nivel de agua va

incrementando. Así pues, el resultado de caudal de la desembocadura mostró picos de crecidas que indican que en esos meses existió un aporte mayor de la cantidad de agua a la desembocadura; ligada directamente a la presencia del tiempo atmosférico y las condiciones meteorológicas de precipitación, temperatura y humedad relativa, variables que justificaron la escorrentía y/o evapotranspiración presente en el área de la cuenca.

La precipitación de la estación M1219-Chaupishungo (figura 8), de los datos históricos, en su comportamiento unimodal coincidió inicialmente con la bibliografía correspondiente a la zona de pie de monte amazónico [31,36]. Por otra parte, las estaciones meteorológicas M5147 (figura 9) y M5148 (figura 10), con datos más recientes y actuales de las condiciones climáticas [43] dentro de la cuenca, guardaron correlación con respecto a los datos históricos obtenidos de la estación M1219 [42]. Por otro lado, las dos estaciones de Ikiam si expresaron comportamientos en discordancia con respecto a las otras estaciones. Para ambas en el primer mes de diciembre monitoreado se mostraron elevadas cantidades de precipitación, al igual que en el mes de mayo, que se encontró dentro del temporalidad definida como lluviosa. De esta forma, los datos obtenidos de este resultado, sirvieron de indicativo sobre el comportamiento del tiempo atmosférico durante el transcurso del tiempo de investigación. Tiempo atmosférico que guardó una estrecha relación con la base de datos de parámetros físico-químicos obtenida para poder modelar una correlación entre ellas más adelante.

Al igual que con la precipitación, la temperatura fue analizada históricamente por la estación M1219-Chaupishungo, esta corresponde a una curva sinusoidal con un máximo de temperatura proporcional al mínimo dentro de un mismo año de estudio [42]. La desviación estándar del mes de agosto indicó que este es el mes más inestable con respecto a la variación de temperatura. Cabe recalcar para este punto, que esta estación se encuentra localizada a una altura de 665 m.s.n.m. La estación ubicada a una elevación más baja, (596 m.s.n.m), M5147, mostró valores con aproximadamente un grado más bajo; sucesivo a ello está la estación MEI2 a 612 m.s.n.m que sigue esta tendencia, en la cual entre mayor sea la altura, menor será la temperatura [56,57], siendo la estación M5148, con una altura de 3582 m.s.n.m la estación que mostró temperaturas más bajas del área de estudio. Estos datos están correlacionados con respecto a su comportamiento normal atmosférico.

La humedad relativa y la radiación, estudiada en las estaciones M5147 y M5148, también mostraron un patrón de comportamiento parecido al de la temperatura con respecto al gradiente de altura [31]. Para el caso de la humedad relativa esta llegó a tener valores del 100% de saturación a un gradiente de altitud mayor en la estación M5148, que no se diferencia mucho de la estación M5147 que también tiene un alto porcentaje de saturación [36]. La radiación también fue mayor según aumentó el gradiente de elevación, su valor máximo indicó que en la parte alta de la cuenca la irradiación llega hasta los 285 vatios por metro cuadrado.

Esta evaluación permitió aceptar la hipótesis 1.5.1., ya que las variables hidrometeorológicas permitieron establecer temporadas de monitoreo en la cuenca del río Tena. Esto debido a que su comportamiento se mostró vinculado con la cantidad, por parte de los niveles de agua, el caudal y la precipitación y a la calidad del agua con respecto a los parámetros de temperatura humedad relativa y radiación solar. Finalmente cabe mencionar que estas variables mencionadas fueron tomadas en cuenta en el análisis de los componentes principales y su interpretación gráfica, lo cual afirmó el vínculo de las mismas con respecto a la calidad del agua del río Tena.

#### **4.1.4. Análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de la base de datos analizada en componentes principales**

Para los parámetros físicos, químicos y microbiológicos se categorizaron con respecto a la interpretación de los datos de meteorología [23,55], y su correspondencia de los meses de mayo, junio y julio como la temporada lluviosa y los meses de diciembre, enero y febrero como los meses de temporada seca; los demás meses como transitorios a las dos temporalidades.

Luego, en el análisis de los componentes principales las interpretaciones de las actividades socioeconómicas de la cuenca se subdividieron los monitoreos dentro de las áreas que pertenecían en la clasificación de grupos de control, piscicultura, vías, deforestación, uso agropecuario y uso de predios urbanos. La correspondencia del porcentaje del total de la varianza de cada componente principal fue significativo y relevante [58] para la determinación de variables que se sugirieron como variables a monitorear dentro del área de estudio [59] dependiendo de la estacionalidad [55,60]. En este análisis de componentes principales se denota un porcentaje de varianza diferente descrito en la Tabla 8 con

respecto a los parámetros de temperatura y pH que se correlacionan directamente con los grupos socioeconómicos de estudio. Por lo cual estas variables se mantienen en constante monitoreo para cada grupo y temporalidad de estudio [59,60]. Además, las normativas internacionales mencionan que las variables de temperatura y pH son parámetros de monitoreo control que dan paso a la interpretación de otros parámetros [50]. Es decir que son parámetros que deben ser monitoreados en cualquiera que sea el escenario propuesto para monitoreos dentro de las cuencas del territorio ecuatoriano.

En el caso de los porcentajes de varianza su valor porcentual del total de la misma fue más relevante y cubrirá mayor parte de la misma [58,59]. Por ende, también se correlacionó entre el número de variable medida y el número de monitoreos realizados.[58,59]. En este caso, el resultado de las variables sugeridas para el monitoreo, expresadas en la tabla 11, corresponde a los parámetros que mostraron mayor importancia por su valor elevado mostrado en cada uno de los grupos de monitoreo. Entre más definidos se tengan los sitios de monitoreo, las variables identificadas abarcarán una mayor representatividad dentro de las muestras que serán analizadas a futuro en las estaciones de monitoreo, por lo cual las mismas deben ser medidas y monitoreadas prioritariamente.

El resultado obtenido de los análisis de componentes principales aceptó la hipótesis 1.5.2. Las variables fisicoquímicas y microbiológicas evaluadas en zonas con diferente tipo de actividad socioeconómica son completamente divergentes entre sí debido a la influencia de dicha actividad dentro del área de estudio. Esto se mostró muy claramente en su porcentaje de varianza representado y la correlación de cada uno de los parámetros monitoreados. Sin embargo, existieron parámetros que guardan correlación similar entre dos o más grupos, por lo cual estos pueden ser tomados como parámetros comparativos o para el planteamiento de una nueva hipótesis a partir de resultados similares después de varias campañas de monitoreo.

#### **4.1.5. Análisis de ensayos ecotoxicológicos**

El análisis fitotoxicológico expresó que los resultados de las pruebas de fitotoxicidad [61] realizadas en muestras de agua y sedimento presentan una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ). Esto con respecto a la media de crecimiento de la raíz y el epicótilo en los puntos monitoreados separados con respecto al ensayo de control realizado para ambos tipos de muestras [61,62] ya su clasificación de grupos socioeconómicos divididos dentro de la

cuenca.

En la figura 21 se observó que existe una diferencia significativa en el tamaño de epicótilo con un valor de  $p=0,01$  para la muestra tomada en zonas urbanas y, de tamaño de raíz para las muestras de urbanismo y vías con un valor de  $p$  de 0,0001 y 0,03 respectivamente. Por esto se deduce que existe una inhibición del crecimiento de la raíz para las muestras de urbanismo y vías. Se identificó un porcentaje menor del crecimiento de la raíz que se relaciona el análisis estadístico de las muestras tomadas de piscicultura, vías y deforestación, lo cual es un indicio de contaminación [46] por lo cual se recomendó realizar un monitoreo anual junto con las variables físico-químicas a medir en la época seca dentro de estas áreas.

Con respecto a los ensayos con sedimentos de la figura 22, debido a que los porcentajes de germinación fueron muy bajos en todas las muestras (sin considerar la de control), se deduce que las cargas contaminantes inhibieron el crecimiento en contraste con sedimentos provenientes de ecosistemas poco alterados [32,35,62]. Para el caso de la cuenca del río Tena, los sedimentos corresponden a partículas características de suelos limosos, limo-arcilloso y limo-arenosos de la zona [18,21,31] que se depositaron o quedan atrapadas en las zonas riparias o el fondo del río [5,32,36,61,62]. El menor porcentaje de crecimiento o inhibición de crecimiento con respecto a la muestra control se encontró en las áreas de agricultura con  $p=5 \times 10^{-15}$ , de deforestación con  $p=1 \times 10^{-14}$  y con presencia de vías con un valor de  $p=1 \times 10^{-3}$ , por lo cual su monitoreo también es sugerido [30,32,61]. Estos resultados permitieron aceptar la hipótesis 1.5.3., ya que las pruebas t-student realizadas en el análisis de los ensayos ecotoxicológicos, mostraron diferencias medias significativas ( $p < 0,05$ ) en las muestras antes mencionadas. Para estos tipos de muestras, los ensayos ecotoxicológico se vuelve relevante para el estudio de las condiciones de la calidad del agua de la cuenca del río Tena debido a que indicaron diferencias significativas entre las zonas de estudio definidas.

#### **4.2. Evaluación del diseño de las redes de monitoreo: Calidad vs Cantidad**

Con respecto a la elección inicial de parámetros sugeridos, en la tabla 8, del resumen del porcentaje de varianza se. Se observa que para los monitoreos realizados en la época lluviosa el que posee un porcentaje significativo de la varianza es el monitoreo realizado en 2019 el cual correspondió a las variables identificadas en la tabla 11. Con respecto a su

aporte de correlación, se deben considerar también las variables que guardaron mayor relación [44,45,58,59] con el eje de ambas componentes PC 1 y PC2, y estas corresponden a un valor representativo más elevado para cada grupo definido. Por otra parte, para la temporada seca monitoreada, el porcentaje de varianza de mayor relevancia (75,2%) se observó en el año 2020. Este también guarda relación con respecto a su aporte de correlación menor a 0,1 para todos los grupos de estudio. De la figura 17 entonces, se recomienda monitorear los parámetros establecidos en la tabla 11. Además de ello, se mostró una tabla los parámetros que tuvieron un comportamiento más variable en las áreas de estudio con respecto a su temporalidad [23,41]. Estos parámetros son una sugerencia, los cuales deben ser medidos por las estaciones de monitoreo propuestas en la figura 23 [9,55]. En este punto, se muestra que existe una relevancia o jerarquía de importancia en la predomina la calidad del agua como una componente indispensable para el estudio, ya que representa un 54% de ponderación dentro de la matriz de Saaty.

Los otros componentes, también han sido demostradas como importantes dentro del estudio de calidad del agua. Sin embargo, para el análisis jerárquico ponderado, estos componentes resaltaron su ponderación y aporte con respecto al resultado de áreas a considerar para el monitoreo. De esta forma, en la tabla 9 se describieron los porcentajes en la cual se detalla que la componente socioeconómica aportó con un 27% de relevancia, la variable biofísica con 12% y finalmente la variable hidrometeorológica con un 7%.

Este resultado con respecto a la hipótesis 1.5.4, rechazó su planteamiento. Los componentes y propiedades físicas (componente biofísico, socioeconómico e hidrometeorológico) de la cuenca del río Tena son factores que aportan al establecimiento de un sistema de redes de monitoreo con un porcentaje equivalente al 46% del total de ponderación. La suma de sus aportaciones no contribuye en igual proporción que el conocimiento de sus condiciones iniciales de calidad del agua, como se plantea en la hipótesis 6, sin embargo, dichas componentes si se expresan de manera significativa con un porcentaje mayor al 45% de aportación.

En la figura 23, la jerarquía ponderada empleada para llevar a cabo el análisis de las áreas tomó en cuenta también a las áreas poco conocidas o que no han sido monitoreadas. Por orden de ponderación de los componentes, colocó como prioridad a todas la áreas descritas de la cuenca con respecto a los SIG elaborados a partir de esta información [9].

Como precedente a esto, sobre la accesibilidad de los puntos donde se quieren colocar las estaciones de monitoreo, las clasificaciones deben tomar en cuenta la relevancia de las áreas de estudio de la figura 23 y hacer contraste con la accesibilidad de las mismas, ya sea por presencia de carreteras o vías de acceso y por lugares con pendientes accesibles. Esta descripción correspondió a la ponderación calificada como 4 y 3 de la figura 23, que se localizaron en la parte alta de la cuenca, al interior de la Reserva biológica Colonso Chalupas (RBCC). Al ser esta una reserva, esta sección fue descartada considerando que no existe una intervención antropógena significativa y que su ponderación era inevitable dentro del grupo, pues la misma no podía ser excluida y la ser una reserva poco estudiada. Por esta razón, no se pudieron prever las condiciones iniciales de las cuales, no se tiene conocimiento. Por otra parte, para el monitoreo tampoco se tomaron en cuenta las zonas de ponderación 1, ya que estas pertenecen a zonas conocidas en las cuales existe un mínimo de intervención identificado[18]. Esta descripción hizo parte de los resultados de determinación de las afectaciones puntuales de la descarga, donde se menciona la importancia de tomar en cuenta la interpretación de los resultados y la discusión, de las secciones de análisis de los componentes biofísicos y socioeconómicos para el manejo y gestión de cuencas hidrográficas, con respecto a sus condiciones socioeconómicas [3,45]

#### **4.3. Evaluación de la localización, parámetros y periodos de evaluación establecidos para la red de monitoreo**

##### **4.3.1. Alternativas para optimización:**

Una alternativa para la optimización de este proceso es el uso de sistemas geográficos con información básica preexistente en la zona que se desea analizar [9]. Los sistemas de información geográficos empleados dan como resultado del estudio un sistema de referencia sobre el cual se pueda categorizar o interpretar datos de manera visual y muy entendible.

Por otro lado, la optimización de la información aquí analizada también depende de un factor esencial que es el conocimiento previo de la zona de estudio [22,26], para este caso el conocimiento previo de las condiciones tanto biofísicas como socioeconómicas y meteorológicas de la cuenca nos permitieron analizar la información obtenida como resultado y brindaron confianza sobre lo obtenido con la finalidad de que el investigador pueda emplear sus resultados como una propuesta a los gobiernos locales para la

implementación de sus sistema dentro de sus planes de gestión administrativas [23].

Con respecto a los análisis estadísticos empleados en este estudio, estos expresaron de forma más específica y detallada las características propias de la zona de estudio, debido a las condiciones climáticas muy variables correspondientes [36,43] y su crecimiento poblacional de los últimos años [39,49]. Sin embargo, la información base que se poseía es muy importante para el avance de este tipo de análisis y dependió mucho del tipo de datos que se posea, desde datos crudos, hasta datos sintetizados, listos para ejecutar el procedimiento final de este estudio, en análisis jerárquico ponderado y la delimitación de variables a estudiar, junto con su periodicidad [9,25,60].

El factor económico por otro lado, también se vuelve un vínculo muy importante dentro del diseño de redes de monitoreo [3], de ello dependerá, la cantidad de estaciones a instalar, así como también la frecuencia con la que se realizaran los monitoreos. Para este caso, se propuso únicamente 6 puntos de monitoreo, uno por cada actividad socioeconómica identificada, con monitoreos de al menos dos veces al año (temporada seca y lluviosa). La cantidad de recursos a emplear disminuye al denotar zonas con mayor accesibilidad, junto con el hecho de que dichas zonas no se encuentren tan alejadas entre sí (adicional a que el área de la cuenca relativamente pequeña) y que no se toma en consideración la parte de la reserva de la que se sabe no hay intervenciones antropogénicas relevantes [3,9,23].

#### **4.3.2. Manejo de la información:**

La información procesada hizo un análisis de múltiples parámetros para en la cuenca del río Tena. Sin embargo, el análisis pudo realizarse por separado en caso de no contar con los recursos necesarios para el diseño de una red de monitoreo. similar a la propuesta. En dicho caso, se sugiere colocar puntos de estaciones fijas en los lugares establecidos como idóneos o de mayor relevancia para el monitoreo de las condiciones en las que se encuentra el recurso hídrico. Al ser la ciudad del Tena una ciudad en desarrollo [19], sus gobernadores no deberían descuidar la calidad de uno de sus principales recursos hídricos, que los provee desde una captación para la potabilización de agua [21], hasta balnearios [41] y el uso directo del agua para el consumo de las comunidades que se sitúan en las orillas del río Tena [20].

Además de ello, también se encuentra el hecho de formar parte del sistema de cuencas

nacientes que conectan a los ecosistemas de páramo o vertientes, hacia la gran cuenca amazónica como se mostró en la figura 1, volviéndose un sistema de estudio transfronterizo, debido a la interconexión existente entre los países mediante sus sistemas fluviales, recursos hídricos y acuáticos. Un sistema de gestión de cuencas transfronterizas [13,45] y el conocimiento de su estado actual con respecto a sus condiciones biofísicas y socioeconómicas son de gran relevancia para la buena gestión del uso y aprovechamiento de los recursos hídricos en los diferentes países que forman parte o comparten cuencas transfronterizas [63–65].

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

El análisis de los componentes biofísicos y actividades socioeconómicas que predominaron en la cuenca del río Tena nos permitieron identificar las áreas más representativas con respecto a la intervención antropogénica dentro de la zona de estudio, estas correspondieron a áreas de uso agropecuario, piscicultura, urbanismo, y vías; áreas que están deforestadas, además de la identificación de áreas de conservación que se consideró como punto de control. Para el caso de la componente biofísica, las variables identificadas fueron el dimensionamiento general de la cuenca y la identificación de los principales tributarios (los ríos Colonso, Shitig y Calmituyaku), además de la cobertura vegetal en la que se resaltó la importancia del área de conservación. Por otra parte, para la componente socioeconómica, predominaron las actividades socioeconómicas, seguidas de los centros poblados, carreteras y caminos (vías de acceso).

Las variables hidrológicas de nivel de agua en una sección de aforo, y la cantidad de agua que pasa por dicha sección en la zona de descarga de la cuenca (caudal, Q) nos proporcionan información para el análisis del comportamiento del sistema de drenaje que posee la cuenca. Además de ello, sus variables meteorológicas de temperatura (T), humedad relativa (HR), precipitación (P) y radiación solar (SR), sometidas al análisis estadístico, permitieron definir el tiempo meteorológico característico del clima que posee la región amazónica, específicamente la ciudad de Tena. De este análisis se obtuvo como resultado principal las temporalidades (Seca y Lluviosa) en las cuales se llevará a cabo las campañas de monitoreo. Finalmente, la información de cada estación georreferenciada en un mapa permitió observar las áreas de mayor influencia de estas variables, por lo cual también fue empleada como uno de los componentes, aunque con menor ponderación que las anteriores.

La evaluación de la calidad del agua del río Tena a partir de la base de datos de los parámetros físico-químicos, microbiológicos y ecotoxicológicos a partir de un análisis de componentes principales permitió identificar las variables sugeridas a monitorear para el diseño de la red de monitoreo de la calidad del agua del río Tena que se muestran en la tabla 11. Los clusters (grupos) jerarquizados de las múltiples líneas de evidencia,

correspondientes a componentes biofísicos, componentes socioeconómicos, variables hidrometeorológicas y condiciones iniciales de calidad del agua, sometidos al análisis jerárquico ponderado, identifican las zonas de relevancia en las cuales se sugiere instalar las estaciones de monitoreo que determinan la calidad del agua en la cuenca del río Tena. El diseño de una red de monitoreo de la calidad del agua permitió conocer y pronosticar las condiciones ambientales del recurso hídrico asociadas a la actividad antrópica de la cuenca del río Tena. El análisis de parámetros físico-químicos, microbiológicos, ecotoxicológicos y su relación con la variabilidad meteorológica, biofísica y socioeconómica, descritos dentro del diseño de esta red de monitoreo, proporcionaron información necesaria para la regulación y control en la cuenca del río Tena. Información idónea para llevar un control adecuado sobre uno de los principales recursos hídricos que posee la ciudad de Tena; además de mencionar que inicialmente esta forma parte del sistema hídrico de vertientes que alimentan a la gran cuenca transfronteriza amazónica. Finalmente, se concluye que las zonas idóneas para establecer las estaciones (sitios) de monitoreo en la cuenca del río Tena, observadas en el mapa de la figura 23, deberían ser localizadas en la comunidad de Alto Tena (río Shitig), en Muyuna (río Calmituyaku), en la zona de descarga de los afluentes que depositan sus aguas en el río Tena y en salida de la cuenca; así como también se debe considerar un punto de control dentro de un área de conservación dentro de la reserva biológica Colonso Chalupas.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda emplear el diseño de la red de monitoreo en la cuenca del río Tena para estudio de sus condiciones de calidad del agua y el monitoreo permanente de la misma que permita tener un buen sistema de gestión con respecto al recurso hídrico para su uso y aprovechamiento controlado y adecuado. Esto con el fin de que este estudio pueda ser aplicado a nivel de microcuencas y que, mediante ello, se conozca cuánto aportas, con respecto a calidad versus cantidad de agua de sus condiciones fisicoquímicas, microbiológicas y de análisis ecotoxicológico al sistema de cuencas que aportan a la cuenca transfronteriza del río Amazonas. Los estudios de las condiciones iniciales de una cuenca se demostraron como esenciales dentro de esta investigación. Una perspectiva ampliada del contexto en el cual se encuentran las condiciones tanto biofísicas, socioeconómicas e hidrometeorológicas de un área de estudio que se desea investigar, implica el estudio

previo de dichas componentes. Replicar dicho sistema con una metodología de análisis basado en las múltiples líneas de evidencia es recomendable para las cuencas de cabecera principalmente, ya que estas aportan sus aguas a los grandes sistemas de cuencas que interconectan a varios países mediante el uso de su recurso hídrico compartido. A partir de esta premisa se recomienda también que los sistemas de redes de monitoreo para el control y regulación del recurso hídrico sean replicados con metodologías que impliquen el conocimiento de sus condiciones iniciales y de las propiedades de la cuenca que se desea estudiar. Un sistema de microcuencas que cuente con una red de monitoreo permanente, permite determinar la gestión del recurso hídrico.

Con respecto al número de parámetros físicos, químicos y microbiológicos a medir, se recomienda considerar la tabla 11 de parámetros clasificada a partir de la temporada seca o lluviosa en la que se vaya a monitorear, y el grupo de clasificaciones de la componente socioeconómica empleada, es decir, si el área de monitoreo corresponde al área de control, se sugiere monitorear los parámetros descritos en la tabla para dicha área; de esta forma para cada una de las descritas en la tabla 11. Esta recomendación, haciendo énfasis en que los parámetros descritos para cada grupo y cada temporada, deben coincidir con el grupo de control.

La temporalidad meteorológica del área de estudio definida, sugiere al menos dos monitoreos anuales. Se recomienda emplear para cada temporada, el mes más representativo dentro de su reparación sea seca o lluviosa; esto se puede identificar mediante la recolección de datos en tiempo real de las estaciones hidrometeorológicas presentes en la zona.

## REFERENCIAS

1. Rivera S. La sostenibilidad del recurso hídrico en el Ecuador. Análisis multicriterial de la gestión del agua. 2016. Available: <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/9108/1/TFLACSO-2016SIRP.pdf>
2. Arias C. Boletín Hídrico-Edición especial SUBSECRETARÍA TÉCNICA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Pág. 35. 2017. Available: <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2018/02/boletin-hidrico.compressed.pdf>
3. Once Collaguazo, Byron Santiago; Rivera Velásquez1, María Fernanda; Izurieta Recalde CW. Valoración Económica del Servicio de Provisión Hídrica de la Microcuenca del río Chimborazo. NOVASINERGIA Rev Digit CIENCIA, Ing Y Tecnol. 2019;2: 96–103. doi:10.37135/unach.001.03.09
4. Chow V Te. Hidrología Aplicada. Potencia. 1994.
5. Chow V Te. Ven Te Chow Hidrologia Aplicada.pdf. 2008. p. 299.
6. SENAGUA. REGLAMENTO LEY RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA. 2015 Aug. Available: [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
7. Hispagua. Cuencas Transfronterizas en América: Cuencas compartidas. 2012 [cited 3 Aug 2020]. Available: <http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/especiales/Trasvases/monograficocuenas2012/Cuencas-compartidas-peru-ecuador.html>
8. Dourojeanni A, Jouravlev A, Chávez G. Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. Santiago de Chile; 2002 Aug.
9. Cano L, Escobar J. Diseño de redes de monitoreo apoyadas por herramientas SIG y modelación geoespacial. Aqua-LAC. 2011;3: 18–25.
10. Yáñez L, Franco P, Bastidas W, Córdova V, (CISPDR). RESUMEN DEL PLAN NACIONAL DE GESTIÓN INTEGRADA E INTEGRAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS y DE LAS CUENCAS y MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS DE ECUADOR. Aqua-LAC. 2017;9: 124–132. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
11. Serrano Hernandez. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. No dejar a nadie atrás. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 2019. Available:

- <http://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2019/>
12. iAgua. Perú y Ecuador, unidos por la gestión integrada de los recursos hídricos transfronterizos | iAgua. 16 Sep 2013 [cited 28 Jul 2020]. Available: <https://www.iagua.es/noticias/peru/13/09/16/peru-y-ecuador-unidos-por-la-gestion-integrada-de-los-recursos-hidricos-transfronterizos-36514>
  13. Mestre E. Gestión integrada en cuencas transfronterizas y rol de las Entidades de Cuenca Transfronterizas ante el estrés hídrico. 2018: 1–16.
  14. Melo M, Ortiz-t P, López A. V. Petróleo, Ambiente y Derechos en la Amazonía Centro Sur. 2002.
  15. Larenas D, Fierro V, Fierro C. Minería a Gran Escala: Una Nueva Industria para Ecuador. Polémika. 2017; 25. Available: <https://www.usfq.edu.ec/publicaciones/polemika/Paginas/revistas/polemika012.aspx>
  16. López V, Espíndola F, Calles J, Janette U. Atlas Amazonía Ecuatoriana Bajo Presión. 2013.
  17. López V. IMPLICACIONES DEL PROYECTO COCA CODO SINCLAIR PARA LA AMAZONÍA ECUATORIANA. EcoCiencia, Proy Fortalec a Gobiernos Locales. 2008; 1–10.
  18. GADM Tena. Actualización PDOT-PUGS-2020-2023. 2019; 699.
  19. Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio de Tena. ACTUALIZACIÓN PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DIAGNÓSTICO Administración 2014-2019 Prof . Kléver Ron. 2014; 433.
  20. Gutiérrez IA. Plan de manejo de la microcuenca del río Tena. 2009.
  21. Freire C. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE POTABILIZACION DE AGUA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO COLONSO: TENA. 2013.
  22. Prensa SDE, Envar R, Monitoreo LR. Redes de monitoreo de calidad de agua. 2015 [cited 27 Dec 2020] pp. 1–5. Available: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/redes-monitoreo-calidad-agua>
  23. Establecimiento Público Ambiental - EPA Cartagena OA de C de I. PROTOCOLOS DE RED INTELIGENTE DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA. 2015 [cited 27 Dec 2020]. Available: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/gestion-ambiental/seguimiento-y-monitoreo/protocolo-monitoreo-calidad-del-recurso->

hidrico/protocolos-de-red-inteligente-de-monitoreo-y-seguimiento-de-la-calidad-del-agua/

24. Osorio Gómez J, Orejuela Cabrera J. El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. *Sci Tech*. 2008;XIV: 247–252. doi:10.22517/23447214.3217
25. Moreno J. El Proceso Análítico Jerárquico (AHP). Fundamentos, metodologías y aplicaciones. *Recta monográfico*. 2002;1: 21–53.
26. Desarrollo P, Ambiental I. Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente Metodologías Diseño de redes de monitoreo , estadísticas , precisión de las determinaciones analíticas , control de calidad.
27. Lessmann J, Troya MJ, Flecker AS, ChrisFunk WW, Guayasamin JM, Ochoa-Herrera V, et al. Validating anthropogenic threat maps as a tool for assessing river ecological integrity in Andean-Amazon basins. *PeerJ*. 2019;2019: e8060. doi:10.7717/peerj.8060
28. Torres P, Hernan C, Patiño P. ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA. *Ing Univ Medellin*. 2009;8: 1–16. doi:10.1039/9781788012669-00386
29. Tobergte DR, Curtis S. Ensayos Toxicológicos y Métodos de Evaluación de Calidad de Aguas. *Journal of Chemical Information and Modeling*. 2013. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
30. Capparelli MV, Moulatlet GM, Abessa DM de S, Lucas-Solis O, Rosero B, Galarza E, et al. An integrative approach to identify the impacts of multiple metal contamination sources on the Eastern Andean foothills of the Ecuadorian Amazonia. *Sci Total Environ*. 2020;709. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.136088
31. Hurtado J, Celi J, Yaguache L. Efectos Del Cambio De Cobertura Del Suelo En La Geomorfología Fluvial Del Río Tena, Amazonía Ecuatoriana. III Encuentro Nac Cienc Reg y I Simp Desarro Territ y Ambient la Construcción Sostenible. 2017; 61–75. Available: <http://manglareditores8.wixsite.com/misitio/libro-cientifico-memorias-recir>
32. Galarza E, Cabrera M, Espinosa R, Espitia E, Moulatlet GM, Capparelli M V. Assessing

- the Quality of Amazon Aquatic Ecosystems with Multiple Lines of Evidence: The Case of the Northeast Andean Foothills of Ecuador. 2021.
33. OMS. Monitoreo de la calidad del agua: una guía práctica para diseñar e implementar estudios y programas de monitoreo de la calidad de aguas dulces. OMS. 2013.
  34. Pauta Calle G, Chang Gómez J. Indices de calidad del agua de fuentes superficiales y aspectos toxicológicos, evaluación del Río Burgay. MASKANA, I+D+ingeniería. 2014; 165–176.
  35. Yumbo K, Iler V, Espinoza W, Campos D, Castro R, Chirinos DT. Determinación de la calidad de aguas mediante indicadores biológicos y físico-químicos en el río Paján, Manabí, Ecuador. Marzo,2018. 2018; 32–40.
  36. Nugra SF, Benítez MB, Zarate E, Fernández de Córdova J, Celi JE. Sistemas Hidrográficos de la CUENCA DEL RÍO NAPO , ECUADOR PECES comunes. 2016.
  37. Arias OR, Carlos R, Delgado O, Manuel R, Martínez Q, Terán AS, et al. ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA) EN LA PRESA LA BOQUILLA EN CHIHUAHUA, MÉXICO Water quality index (WQI) in the dam La Boquilla in Chihuahua, Mexico 1. 2014;1: 139–150.
  38. Córdova S, Gaete H, Aránguiz F, Figueroa R. Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos. Lat Am J Aquat Res. 2009;37: 199–209. doi:10.3856/vol37-issue2-fulltext-7
  39. INEC. Población por áreas. 2001; 5–8.
  40. INEC. Estructura de la población ¿QUÉ EDAD TENEMOS LOS HABITANTES DE NAPO? ¿CUÁNTOS SOMOS Y CUÁNTO HEMOS CRECIDO? 2010; 0–7. Available: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manualateral/Resultados-provinciales/napo.pdf>
  41. Rosero B, Galarza E, Guerrero G, Lucas O, Tuba D. Diagnostico Calidad de Agua de la Cuenca del río Tena. 2020. Available: [https://www.academia.edu/35916213/Diagnostico\\_Calidad\\_de\\_Agua\\_de\\_la\\_Cuenca\\_del\\_río\\_Rímac](https://www.academia.edu/35916213/Diagnostico_Calidad_de_Agua_de_la_Cuenca_del_río_Rímac)
  42. Moreno Carlosama S. ESTUDIO Y DISEÑO VIAL DE LA AV. 15 DE NOVIEMBRE (ETAPA III DE 1.71 KM DE LONGITUD), CANTÓN TENA, PROVINCIA DE NAPO TRABAJO. 2013.
  43. Service IH. Meteorological and Hydrological stations network. Tena, Ecuador; 2020.

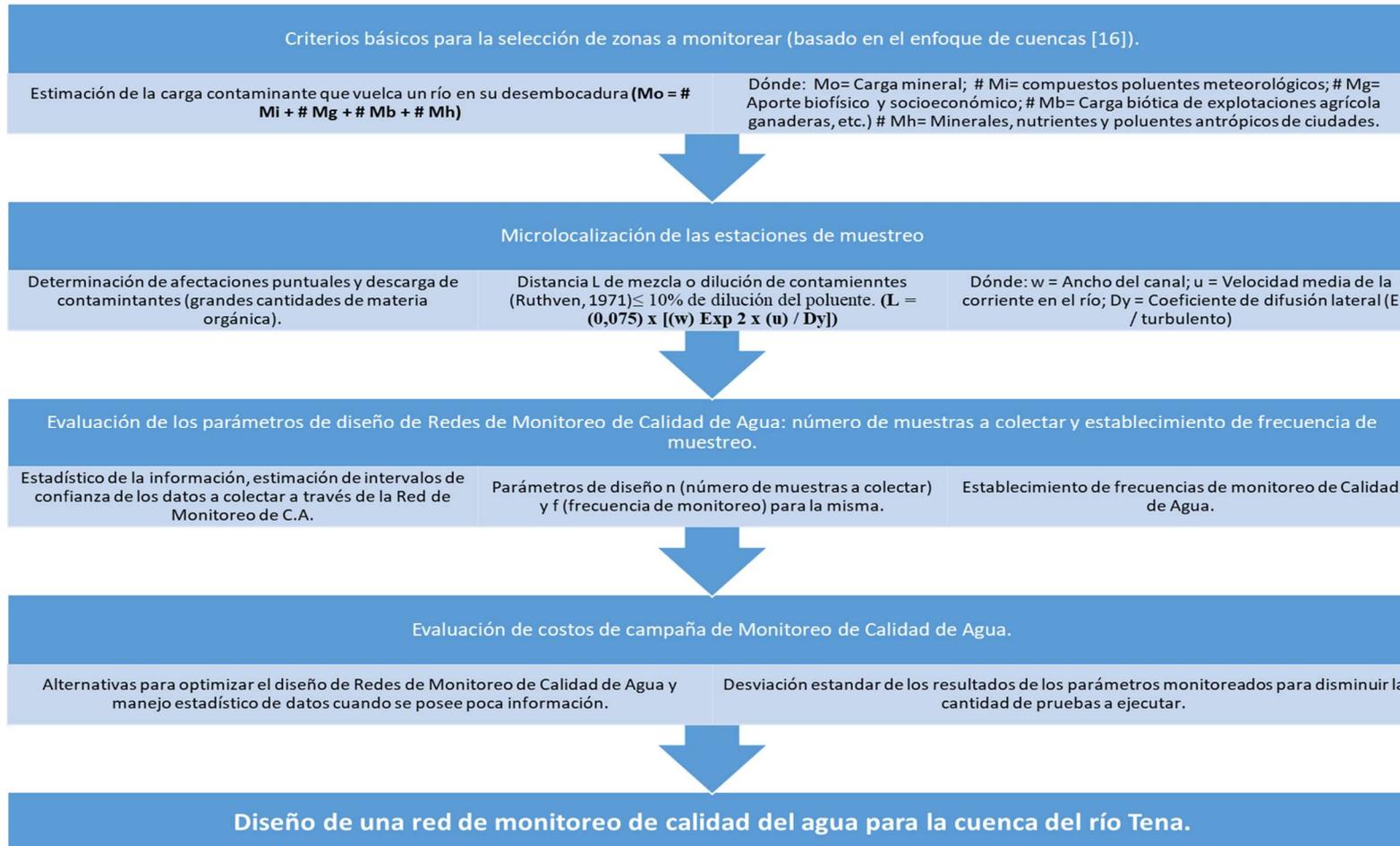
- Available: <http://meteorologia.ikiam.edu.ec:3838/>
44. Margalef O, Álvarez-Gómez JA, Pla-Rabes S, Cañellas-Boltà N, Rull V, Sáez A, et al. Revisiting the role of high-energy Pacific events in the environmental and cultural history of Easter Island (Rapa Nui). *Geogr J.* 2018;184: 310–322. doi:10.1111/geoj.12253
  45. Benitez M. La Gestión Integrada del Recurso Hídrico ( GIRH ) como herramienta para contribuir al proceso de adaptación del Cambio Climático en la Cuenca Transfronteriza Catamayo-Chira. 2018.
  46. US EPA. Guidelines for Ecological Risk Assessment. Washington, DC; 1998.
  47. Hoekstra NJ, Bosker T, Lantinga EA. Effects of cattle dung from farms with different feeding strategies on germination and initial root growth of cress (*Lepidium sativum* L.). *Agric Ecosyst Environ.* 2002;93: 189–196. doi:10.1016/S0167-8809(01)00348-6
  48. Desmet J. Physicochemical analysis and biological evaluation of the Misahualli River watershed (Ecuador): a comparison. Hogeschool Gent - URAI. 2019.
  49. Zabala Pozo DF. Universidad Nacional De Loja Autor. Univ Nac Loja. 2017;1: 100. Available: [http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17025/1/TESIS WILSON FERNANDO.pdf](http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17025/1/TESIS_WILSON_FERNANDO.pdf)
  50. Ministerio del Ambiente. Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Libr VI, Anexo 4. 2011; 10. Available: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112183.pdf> [http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria\\_Ambiente/red\\_monitoreo/informacion/norma\\_ecuato\\_calidad.pdf](http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/norma_ecuato_calidad.pdf)
  51. OECD. OECD Guidelines for the testing of chemicals. 2006;208.
  52. Beltrán Obando ES, Jaramillo Idrobo JA. VALORACION ECONOMICA AMBIENTAL DEL RECURSO HIDRICO Y DISEÑO DE UNA PROPUESTA PARA PAGO POR SERVICIO HIDRICO EN LA MICROCUENCA “SHUCOS” DEL CANTON LOJA. 2010.
  53. Saaty TL. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *Eur J Oper Res.* 1990;48: 9–26. doi:10.1007/978-1-4419-6281-2\_31
  54. Aucancela PI, Chiluzza PC. “ ESTUDIO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHIQUICAHUA EN FUNCIÓN DE LA CANTIDAD , CALIDAD Y APROVECHAMIENTO HÍDRICO DE SUS AFLUENTES ”. Tesis de Grado Previo a la obtención del título de : 2011.

55. Strobl RO, Robillard PD, Shannon RD, Day RL, McDonnell AJ. A water quality monitoring network design methodology for the selection of critical sampling points: Part I. *Environ Monit Assess.* 2006;112: 137–158. doi:10.1007/s10661-006-0774-5
56. Dykes AP. Climatic patterns in a tropical rainforest in Brunei. *Geogr J.* 2000;166: 63–80. doi:10.1111/j.1475-4959.2000.tb00007.x
57. Mitnik LM, Kuleshov VP, Pichugin MK, Mitnik ML. Sudden stratospheric warming in 2015-2016: Study with satellite passive microwave data and ERA5 reanalysis. *Int Geosci Remote Sens Symp.* 2018;2018-July: 5556–5559. doi:10.1109/IGARSS.2018.8517495
58. Rodríguez M, Moraña L, Salusso M. Evaluación de la calidad del agua mediante Análisis de Componentes Principales , Localidad de Vaqueros, Salta. 2012.
59. da Silva R, Varela I, García A, Valcárcel M. Aplicación del análisis de componentes principales para evaluar la composición del agua de una cuenca agroforestal. *VI Congr sobre uso e manejo do solo.* 2014;1: 1–4. Available: <https://www.researchgate.net/publication/262846361>
60. Strobl RO, Robillard PD. Network design for water quality monitoring of surface freshwaters: A review. *J Environ Manage.* 2008;87: 639–648. doi:10.1016/j.jenvman.2007.03.001
61. Asociación Brasileña de normas técnicas. ABNT NBR Ecotoxicologia aquática-Toxicidade crônica-Método de ensaio com Ceriodaphnia spp (Crustacea, Cladocera) Aquatic ecotoxicology-Chronic toxicity-Test method with Ceriodaphnia spp (Crustacea, Cladocera). 2017;13373. Available: [www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)
62. Iannacone J, Camcha N, Alvariño L. VARIABILIDAD DEL ENSAYO ECOTOXICOLÓGICO CON Chironomus calligraphus Goeldi (DIPTERA: CHIRONOMIDAE) PARA EVALUAR CADMIO, MERCURIO Y PLOMO. *Ecol Apl.* 2003;2. Available: [http://revistas.concytec.gob.pe/scielo.php?script=sci\\_pdf&pid=S1726-22162003000100016&lng=en...&nrm=iso&tlng=es](http://revistas.concytec.gob.pe/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S1726-22162003000100016&lng=en...&nrm=iso&tlng=es)
63. Hídricos D de C y P de R, (ANA) Á de CT. Foro internacional de gestión del agua en cuencas transfronterizas en el contexto del cambio climático. 2015.
64. IRAGER. Foro Internacional "La Gestión del agua en cuencas transfronterizas e by Instituto de Promoción para la Gestión del Agua - IPROGA - issuu. 2015 [cited 3 Aug

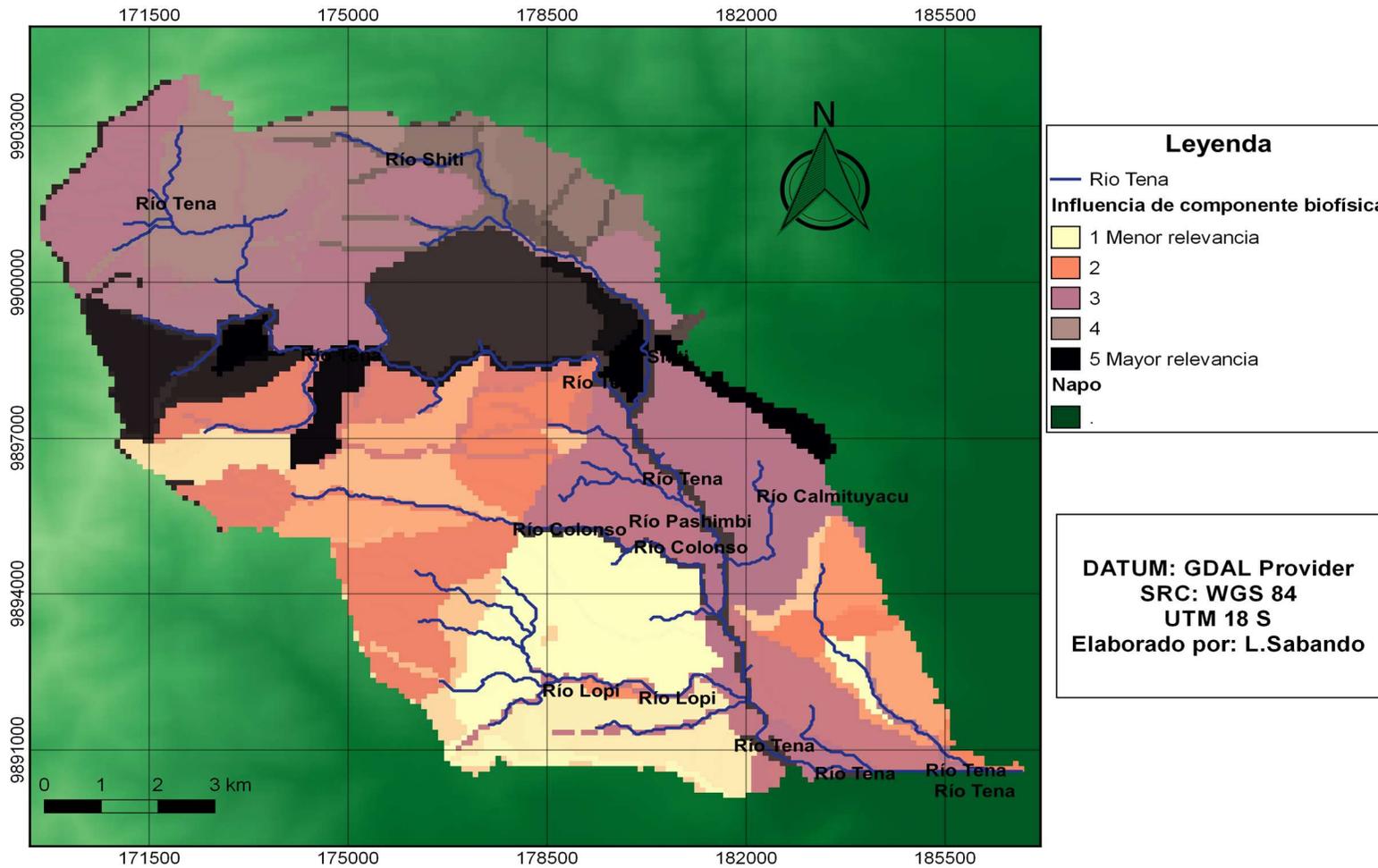
- 2020]. Available: [https://issuu.com/iproga/docs/foro\\_la\\_gesti\\_\\_n\\_del\\_agua\\_irager](https://issuu.com/iproga/docs/foro_la_gesti__n_del_agua_irager)
65. Lloret P (SecretarioTécnico DF. FONAG-Inversiones y medidas fiscales para la protección de la biodiversidad Ecuador. UnWater. 2011.

## ANEXOS:

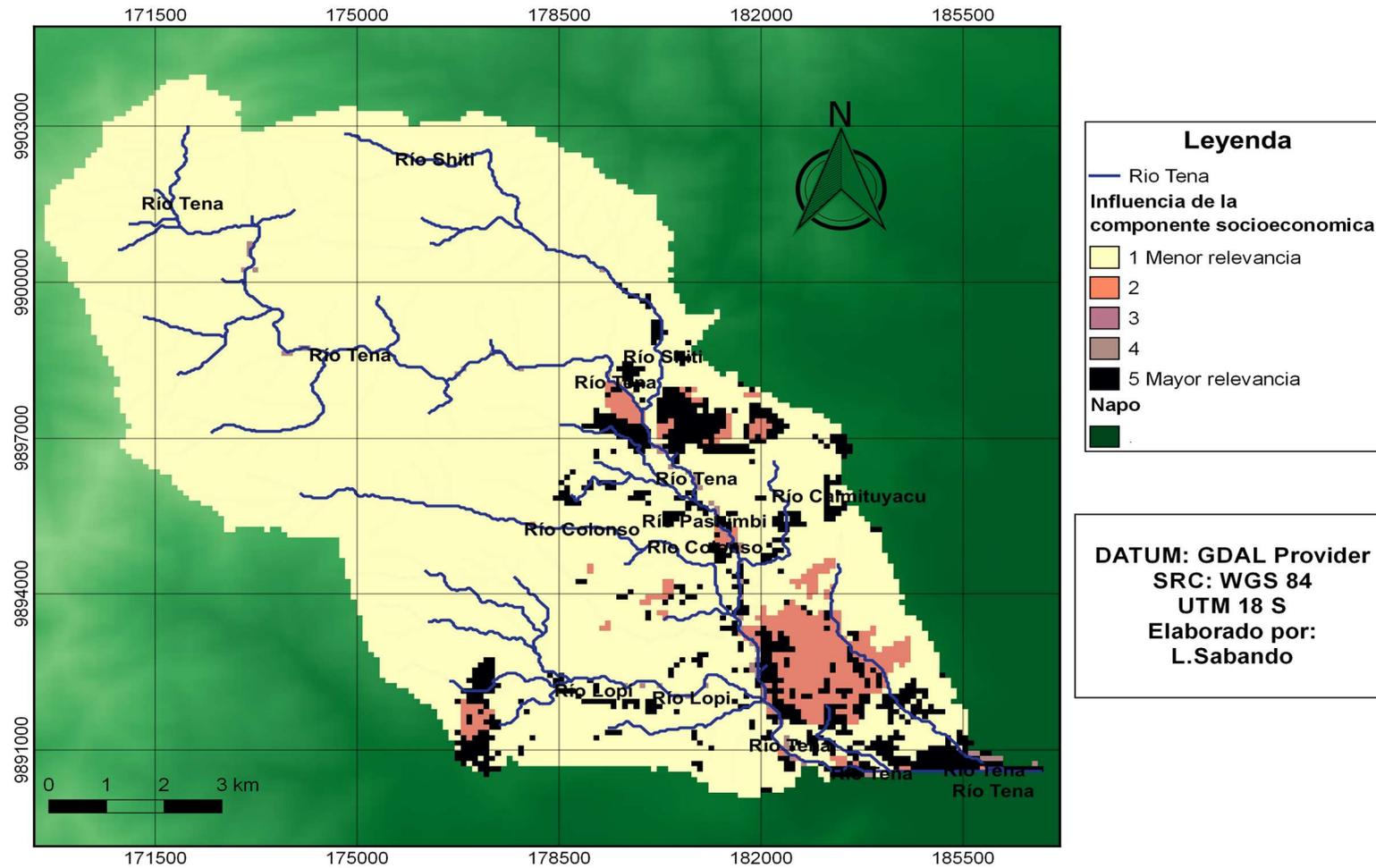
### Anexo 1. Cuadro metodológico del procedimiento a seguir en el diseño de las redes de monitoreo en general.



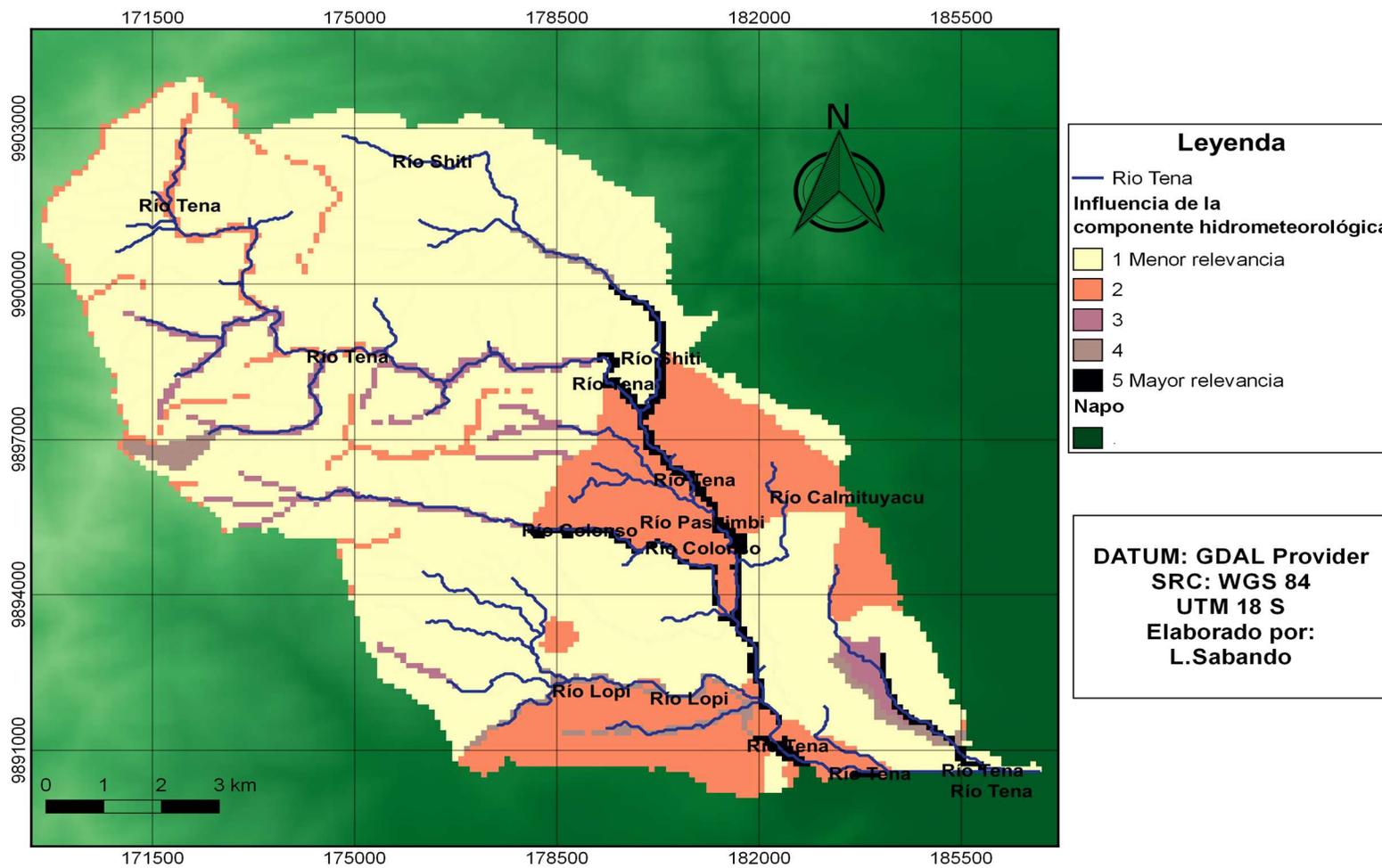
Anexo 2. Capa de información geográfica de la componente biofísica característica de la zona de estudio de la cuenca del río Tena, re categorizada en imagen ráster según la ponderación de priorización de las variables que la componen.



Anexo 3. Capa de información geográfica de la componente socioeconómica característica de la zona de estudio de la cuenca del río Tena, re categorizada en imagen ráster según la ponderación de priorización de las variables que la componen.



Anexo 4. Capa de información geográfica de la componente hidrometeorológica característica de la zona de estudio de la cuenca del río Tena, re categorizada en imagen ráster según la ponderación de priorización de las variables que la componen.



Anexo 5. Capa de información geográfica de la componente las condiciones iniciales de calidad del agua previamente conocidas, característica de la zona de estudio de la cuenca del río Tena, re categorizada en imagen ráster según la ponderación de priorización de las variables que la componen.

