



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO Y CALIDAD DEL AGUA, EN LA ESTACIÓN HIDROGRÁFICA “SAN PEDRO EN MACHACHI H0159” PERTENECIENTE A LA MICROCUENCA DEL RÍO SAN PEDRO, MEDIANTE EL MÉTODO DE TENNANT EN RSTUDIO, PERÍODO 1995-2018”

Trabajo de Titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniera Ambiental

AUTORA: DANIELA PAOLA ALBAN TASIGUANO

TUTOR: EDWIN RODRIGO ARIAS ALTAMIRANO

Quito - Ecuador

2024


**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Daniela Paola Alban Tasiguano con documento de identificación N° 1718694431
manifiesto que:

Soy la autora responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la
Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o
parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 19 de marzo del año 2024

Atentamente,



Daniela Paola Albán Tasiguano

1718694431

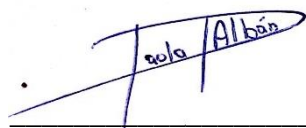
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Daniela Paola Albán Tasiguano con documento de identificación No. 1718694431, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del Trabajo Experimental: “Determinación del caudal ecológico y calidad del agua, en la estación hidrográfica “San Pedro En Machachi H0159” perteneciente a la microcuenca del río San Pedro, mediante el método de Tennant en Rstudio, período 1995-2018”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega final del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 19 de marzo del año 2024

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Daniela Albán', written over a horizontal line.

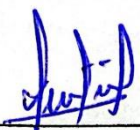
Daniela Paola Albán Tasiguano
1718694431

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Edwin Rodrigo Arias Altamirano con documento de identificación N° 1710165869, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO Y CALIDAD DEL AGUA, EN LA ESTACIÓN HIDROGRÁFICA “SAN PEDRO EN MACHACHI H0159” PERTENECIENTE A LA MICROCUENCA DEL RÍO SAN PEDRO, MEDIANTE EL MÉTODO DE TENNANT EN RSTUDIO, PERÍODO 1995-2018, realizado Daniela Paola Alban Tasiguano con documento de identificación N° 1718694431, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 19 de marzo de 2023

Atentamente,



Ing. Edwin Rodrigo Arias Altamirano M.Sc.

1710165869

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi familia, quienes, con amor y apoyo incondicional, me han ayudado a cumplir mis metas. En todo este proceso académico, ustedes, que con paciencia y comprensión han sido el soporte para nunca darme por vencida. A mi padre, Luis Albán, que desde el cielo me ha acompañado en cada paso que he dado, a quien prometí terminar mi carrera. Espero que esté orgulloso y feliz por mí; es mi motivación, un hombre trabajador que dio todo por su familia, priorizando el amor que nos teníamos. Es mi fuerza para cumplir muchos más objetivos. A mi madre, Ximena Tasiguano, quien ha sido mi compañera de vida y mi pilar más importante. Su cariño y acompañamiento han sido mi refugio para cada momento que he vivido. A mis hermanas Doris, Evelyn y Alejandra, quienes con sus consejos y apoyo constante me han ayudado a ser mejor cada día. Son mi inspiración y ejemplo de mujeres luchadoras que día a día salen adelante. A mis sobrinos Benjamín y Jeremy que me dan la energía para levantarme a seguir con mis metas y así algún día lograr ser un ejemplo para ellos.

A mis amigos, con quienes compartí cada momento de esta vida universitaria; su amistad ha sido una clave muy importante para llegar motivada a clases. A todas las personas que son parte de mi vida, quienes con sus palabras motivadoras me han dado ánimo para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a principalmente a Dios por haberme brindado salud y vida para poder cumplir mis metas, la fuerza para lograr alcanzar mis objetivos y por regalarme la paciencia para soportar todos los retos impuestos en mi camino.

Agradezco a mis padres por su amor infinito y por el sacrificio que han puesto para brindarme la mejor educación, todo lo que soy y todo lo que tengo, es por el esfuerzo de ustedes, de toda una vida. Su comprensión y apoyo me ha llevado a cumplir con este logro. Una mención importante de agradecimiento para mi querida madre que me acompañó en mis amanecidas haciendo tareas.

Agradezco a la docencia del área de Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana, que fueron parte de todo mi proceso de aprendizaje, por sus conocimientos impartidos me han formado profesional y personalmente. A mi tutor Ing. Edwin Arias Altamirano, por creer en mí e instruirme académicamente para la realización de mi trabajo de titulación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|------|
| RESUMEN | xiv |
| ABSTRACT | xiii |
| 1 INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Problema | 1 |
| 1.2 Delimitación | 2 |
| 1.3 Pregunta de investigación | 4 |
| 1.4 Objetivos | 4 |
| 1.5 Hipótesis..... | 5 |
| 2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA | 5 |
| 2.1 Marco Legal | 5 |
| 2.2 Marco Teórico | 6 |
| 2.2.1 Cantón Mejía | 6 |
| 2.2.2 Microcuenca río San pedro | 8 |
| 2.2.3 Hidrología..... | 8 |
| 2.2.4 Cuenca Hidrográfica | 8 |
| 2.2.5 Tipos de cuenca hidrográfica | 9 |
| 2.2.6 Caudal Ecológico..... | 10 |
| 2.2.7 Métodos de caudal ecológico..... | 10 |
| 2.2.8 Parámetros de calidad de agua | 12 |
| 3 MATERIALES Y MÉTODOS | 13 |
| 3.1 Diseño..... | 13 |
| 3.2 Población y Muestra | 15 |
| 3.2.1 Encuestas | 16 |
| 3.3 Variables..... | 17 |
| 3.4 Recogida de datos | 17 |
| 3.4.1 Caudal ecológico Método Tennant | 17 |
| 3.4.2 Parámetros de calidad del agua | 17 |
| 3.5 Protocolo de Caudal Ecológico | 17 |
| 3.6 Protocolo Parámetros de Calidad de agua | 18 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.6.1 | <i>Equipos (marca)</i> | 19 |
| 4 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 20 |
| 4.1 | Determinación caudal ecológico | 20 |
| 4.1.1 | <i>Estadísticas Resumidas</i> | 20 |
| 4.2 | Resultado de Curva de Caudal Clasificado | 27 |
| 4.3 | Resultado Encuestas..... | 29 |
| 4.4 | Resultado determinación de parámetros de calidad de agua | 38 |
| 4.4.1 | <i>Comparación de la calidad del agua vs la norma ambiental vigente</i> | 39 |
| 4.5 | Resultado de análisis estadístico ANOVA | 42 |
| 5 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 44 |
| 5.1 | Conclusiones..... | 44 |
| 5.2 | Recomendaciones | 45 |
| 6 | BIBLIOGRAFÍA | 47 |
| 7 | ANEXOS | 50 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Delimitación Estación Hidrográfica H0159 | 3 |
| Tabla 2. Reglamento Legal en Ecuador | 5 |
| Tabla 3. Caracterización de los puntos de muestreo | 14 |
| Tabla 4. Descripciones del caudal ecológico por el método Tennant 1976 | 18 |
| Tabla 5. Determinación de los parámetros de calidad de agua | 19 |
| Tabla 6. Estadística resumida | 21 |
| Tabla 7. Caudales al 10,20,30,40 % para la época de Avenida..... | 23 |
| Tabla 8. Caudales al 10,30,50,60% para la época de Estiaje | 23 |
| Tabla 9. Resultados de los parámetros de calidad de agua..... | 38 |
| Tabla 10. Análisis de resultados de parámetros calidad del agua y normativa ambiental del TULSMA. Límites de Calidad Admisibles preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces..... | 39 |
| Tabla 11. Análisis estadístico ANOVA | 42 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación área de estudio | 3 |
| Figura 2. Delimitación de la microcuenca ArcGIS | 13 |
| Figura 3. Puntos de muestreo | 14 |
| Figura 4. Caudales mensuales y su dispersión según el valor de caudal. | 22 |
| Figura 5. Determinación época de avenida y estiaje | 22 |
| Figura 6. Caudal ecológico categoría excepcional..... | 24 |
| Figura 7. Caudal ecológico categoría excelente..... | 24 |
| Figura 8. Caudal ecológico categoría bueno | 25 |
| Figura 9. Caudal ecológico categoría mínimo | 26 |
| Figura 10. Determinación del nivel de caudal ecológico válido para el Río San Pedro | 26 |
| Figura 11. Representación en la Hoja de Cálculo para realizar el grafico | 28 |
| Figura 12. Curva de caudales clasificado para el río San Pedro | 28 |
| Figura 13. Pregunta 1 | 30 |
| Figura 14. Pregunta 2 | 30 |
| Figura 15. Pregunta 3 | 31 |
| Figura 16. Pregunta 4 | 31 |
| Figura 17. Pregunta 5 | 32 |
| Figura 18. Pregunta 6 | 32 |
| Figura 19. Pregunta 7 | 33 |
| Figura 20. Pregunta 8 | 34 |
| Figura 21. Pregunta 9 | 34 |
| Figura 22. Pregunta 10 | 35 |
| Figura 23. Pregunta 11 | 35 |
| Figura 24. Pregunta 12 | 36 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Modelo de la encuesta | 50 |
| Anexo 2. Recopilación de datos hidrológicos..... | 51 |
| Anexo 3. Completación por el método media aritmética y proyección de datos hidrológicos..... | 52 |
| Anexo 4. Concentración de oxígeno disuelto equivalente a un grado de saturación del 100% para la temperatura anotada (y la presión barométrica normal). Solo para agua dulce | 53 |
| Anexo 5. Límites admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios | 54 |
| Anexo 6. Equipos usados en laboratorio..... | 55 |
| Anexo 7. Encuestados | 56 |
| Anexo 8. Método de Tennant en Rstudio | 57 |
| Anexo 9. Variabilidad de caudales por año de estudio | 57 |

RESUMEN

La microcuenca del Río San Pedro es un efluente afectado por las actividades domésticas, industriales, de agricultura y ganadería, que causan un impacto negativo en los ecosistemas de agua dulce y las especies que habitan en los mismos, causando deterioro y afectación a los organismos.

Se utilizó el enfoque Tennant mediante R Studio para el diseño de caudal ecológico; se tomaron valores desde el año 1995 hasta 2018. El estudio tiene como objetivo principal analizar si el caudal ecológico válido es útil para garantizar la preservación de ecosistemas existentes en el río San Pedro, es por ello que también se hace una determinación de parámetros de calidad de agua para observar si este río garantiza la preservación de la vida acuática mediante una comparación con la normativa ambiental TULSMA.

Primero se hace una recopilación de datos identificando si existen datos faltantes, si estos son menores al 10% y se completará mediante el método media aritmética. Después de ello se obtuvieron los caudales medios, máximo y mínimo de la estación H0159, con el promedio anual se obtendrá la época de avenida y de bajante (estiaje), se determinó el 10%, 20%, 30%, 40%, 50% y 60% del caudal medio. Se determinó el caudal ecológico válido, utilizando los caudales mínimos medios, estableciendo así que es mínimo 10% el recomendable para conservar la sobrevivencia de la mayoría de las formas de vida acuática, validando el Art. 411 de la Constitución del Ecuador.

En el trabajo de campo se utilizó las técnicas de muestreo en base “INEN 2176” obteniendo así que la calidad de agua es regular para la mantener la flora y fauna acuática en base a la, denotando altos niveles de DQO, DBO5, SST y Turbidez.

Palabras Clave: caudal ecológico, parámetros calidad de agua, preservación, vida acuática, sobrevivencia

ABSTRACT

The San Pedro River microbasin is an effluent affected by domestic, industrial, agricultural and livestock activities, which cause a negative impact on freshwater ecosystems and the species that inhabit them, causing deterioration and affecting organisms.

The Tennant approach using R Studio was used for the design of ecological flow; values were taken from 1995 to 2018. The main objective of the study is to analyze if the valid ecological flow is useful to guarantee the preservation of existing ecosystems in the San Pedro river, that is why a determination of water quality parameters is also made to observe if this river guarantees the preservation of aquatic life through a comparison with the environmental regulation TULSMA.

First, a data collection is made identifying if there are missing data, if these are less than 10% and will be completed using the arithmetic mean method. After that, the average, maximum and minimum flows were obtained for station H0159, with the annual average the flood and low water (low water) periods will be obtained, and the 10%, 20%, 30%, 40%, 50% and 60% of the average flow will be determined. The valid ecological flow was determined using the minimum average flows, thus establishing that 10% is the minimum recommended to preserve the survival of most forms of aquatic life, validating Art. 411 of the Constitution of Ecuador.

In the field work we used sampling techniques based on "INEN 2176", thus obtaining that the water quality is regular to maintain the aquatic flora and fauna, showing high levels of COD and BOD5, TSS and Turbidity.

Keys words: ecological flow, water quality parameters, preservation, aquatic life, aquatic life, survival

1 INTRODUCCIÓN

Los caudales ecológicos son una herramienta en el control global e integral del medio acuático que tienen la destreza de conservar su función, conformación y su sistema de hábitat fluvial, para que el curso de agua contenga las condiciones similares a las de su estado natural. (García de Jalón & González del Tánago, 1984)

El método de caudal ecológico más relevante es el método hidrológico Tennant que define diferentes niveles de flujo como caudal ecológico, garantizando la conservación del ecosistema en base a un porcentaje de caudal promedio. (Acreman & Dunbar, 2004)

Los parámetros de calidad del agua se determinan según el propósito para el cual vamos a hacer uso del agua y de que manera se necesita su calidad y pureza. El agua contiene distintas clases de impurezas flotantes, disueltos, suspendidos y microbiológicos; es por ello por lo que se realiza pruebas físicas para establecer su color, olor, temperatura, pH, turbidez, etc., y pruebas químicas que analizan la DBO, DQO, oxígeno disuelto, entre otros

1.1 Problema

La gestión inapropiada y desorganizada ocasiona cambios en las corrientes superficiales y subterráneas (Escobar, 2002). La implementación de estrategias y métodos en la mayor cantidad de territorios posibles ayuda a reducir los efectos negativos.

Los ríos han sido utilizados en proyectos, como la hidroelectricidad, agua potable, riego, recreación, etc. En Ecuador, los afluentes han sido receptores de desechos de origen industrial, doméstico y aguas residuales, lo que ha provocado cambios físicos y ecológicos en los ecosistemas acuáticos. La principal causa de estos cambios es la reducción del flujo de agua de los ríos

(Acreman & Dunbar, 2004). Entre mayor sea presencia de estas alteraciones del ciclo hidrológico, los factores ambientales serán menores. (WWF, 2009)

El río San Pedro es un tributario significativo que se origina en el deshielo de los Illinizas, el cual se ve afectado por actividades como la agricultura, ganadería e industria presente en sus alrededores, que generan un impacto negativo en los ecosistemas de agua dulce y las especies que habitan en los mismos, causando alteración en las características del flujo de agua, y con ello el deterioro y afectación a los organismos. (Ballard et al., 2021)

La determinación del caudal y de los parámetros de calidad de agua en los ríos es importante para el funcionamiento y conservación del ecosistema acuático, ya que explica la morfología, estructura del fondo, las características del agua y las comunidades bióticas existentes. Los ciclos biológicos de los organismos acuáticos han experimentado cambios adaptándose a las fluctuaciones temporales de caudal, por lo que es importante para el equilibrio ambiental de los ríos (Poff et al., 1997).

1.2 Delimitación

La estación hidrográfica San Pedro en Machachi H0159, se encuentra en el río San Pedro, provincia Pichincha y cantón Mejía. El río San Pedro recibe aguas de los varios ríos y quebradas entre las cuales se menciona el río Pedregal, Pita, Chiche, Santa Clara y Guambi hasta formar parte de la cuenca del río Guayllabamba, su microcuenca fluvial comprende los territorios de los cantones Rumiñahui, Mejía, Cayambe y Quito, cuenta con una extensión cercana a 750.89 km² (Pilalumbo, 2020). En cercanía de la estación hidrográfica existe un complejo hidroeléctrico denominado La Calera.

El estudio de investigación se lo realiza desde octubre del 2023 hasta enero del 2024, donde se efectúa 4 salidas técnicas para obtener muestras, que son tomadas en distintos puntos, cercanos a la estación.

Tabla 1.

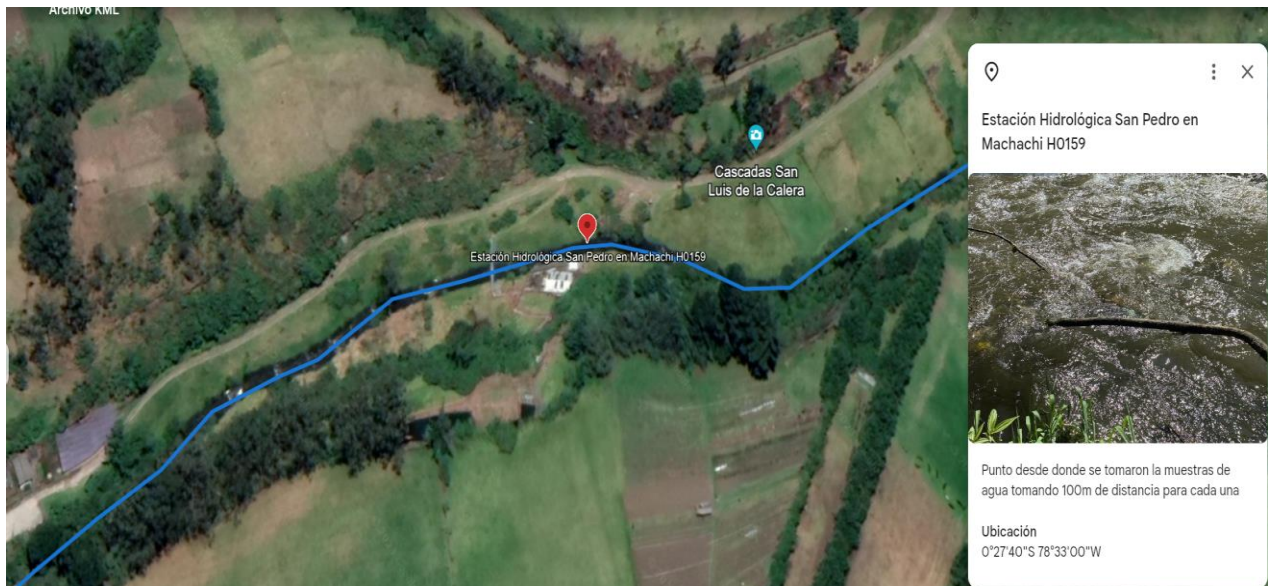
Delimitación Estación Hidrográfica H0159

| Ubicación Estación Hidrográfica H0159 San Pedro en Machachi | | |
|--|-----------------|------------------|
| Latitud | Longitud | Elevación |
| 0° 27' 40" S | 78° 33' 00" W | 2680.00 msnm |

Nota: esta tabla muestra las coordenadas geográficas de la estación hidrográfica de estudio H0159. Elaborado por Daniela Albán (2024).

Figura 1

Ubicación área de estudio



Nota: Ubicación de la estación hidrográfica San Pedro en Machachi H0159. Elaborado por Daniela Albán (2024).

1.3 Pregunta de investigación

- ¿Cuál es el caudal ecológico del río San Pedro, enfocado en la zona de la estación hidrográfica San Pedro en Machachi H0159, se puede utilizar el método Tennant en Rstudio?
- ¿Cuáles son los parámetros de calidad de agua en los distintos meses del año?

1.4 Objetivos

General

- Determinar el caudal ecológico y calidad del agua en la estación hidrográfica “San Pedro en Machachi H0159” de la microcuenca del Río San Pedro, mediante el método de Tennant en Rstudio, para garantizar la preservación de ecosistemas existentes en el mismo.

Específicos

- Aplicar un análisis exploratorio de datos del caudal en la estación hidrográfica del Río San Pedro de Machachi, obtenidos en los anuarios hidrológicos del INAMHI para determinar los caudales mínimos.
- Determinar el caudal ecológico utilizando el enfoque de Tennant en el Software Rstudio versión online.
- Establecer los parámetros de calidad de agua, mediante muestras y análisis físico-químicos siguiendo los estándares de laboratorio, para identificar las condiciones del Río San Pedro en Machachi en relación con la preservación de la vida acuática.

1.5 Hipótesis

Hipótesis nula: Los parámetros de calidad del agua son similares en cada mes de estudio.

Hipótesis alterna: Los parámetros de calidad del agua son distintos en cada mes de estudio.

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Marco Legal

Tabla 2

Reglamento Legal en Ecuador

| REGLAMENTO | ARTÍCULO | DESCRIPCION |
|---|------------|---|
| Constitución de la República del Ecuador(2008) | 318 | El agua se considera un recurso estratégico de ámbito nacional para uso público, y su gestión está limitada exclusivamente para entidades públicas o comunitarias, prohibiéndose cualquier forma de privatización. El Estado promueve y apoya las iniciativas comunitarias relacionadas con la gestión del agua y la provisión de servicios públicos. Del mismo modo, asume la responsabilidad de planificar y gestionar los recursos hídricos, dando prioridad al consumo humano, al riego para la soberanía alimentaria, al caudal ecológico y a las actividades productivas. |
| | 411 | El Estado está comprometido a resguardar la preservación, restauración y manejo holístico de los recursos hídricos, así como de las cuencas hidrográficas y caudales ecológicos vinculados al ciclo hidrológico. Se instaurará regulaciones para supervisar cualquier actividad que influya en la calidad y cantidad de agua, así como el equilibrio de los ecosistemas, principalmente en las fuentes y áreas de recarga hídrica. En el uso y aprovechamiento del agua, se dará prioridad a la sustentabilidad de los ecosistemas y a las necesidades del consumo humano. |
| | 412 | Determina que “La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y |

| | | |
|---|----|--|
| | | control, además cooperará y coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental garantizando el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.” (Constitución del Ecuador, 2008) |
| Código Orgánico del Ambiente (2017) | 5 | Los habitantes tienen derecho a vivir en un entorno saludable y en armonía ecológica: la prevención, gestión sustentable y restauración del recurso natural, la diversidad biológica y todos sus factores, respetando los derechos tanto de la naturaleza como de las comunidades, pueblos y nacionalidades; el uso sostenible de las áreas naturales, principal atención a los ecosistemas más susceptibles y en peligro; la inalterabilidad del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, según lo establecido en la Constitución y la legislación; el cuidado, protección y restauración de las fuentes hídricas, cuencas hidráulicas y caudales ecológicos vinculados al ciclo hidrológico |
| Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (2014) | 76 | Caudal ecológico: La Autoridad Única del Agua y la Autoridad Ambiental Nacional estipulará según el reglamento las normas, indicadores y métodos para establecer el caudal ecológico de acuerdo con las normas y las propiedades de los cursos de agua, que serán contemplados dentro de la organización hídrica nacional |
| TULSMA (2015) | • | “Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua” (097-A Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria, 2015). Tiene como objetivo preservar la calidad del recurso hídrico con el fin de conservar y cuidar los usos asignados, la dignidad personal, de los ambientes naturales y sus correlaciones. |

Nota: Análisis de artículos y leyes ambientales en Ecuador correspondientes en el contexto de este estudio. Elaborado por Daniela Albán (2024).

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Cantón Mejía

Ubicado en la provincia de Pichincha, cuenta con una superficie de 1410,82 km², limitado por Rumiñahui, Quito y Santo Domingo con dirección norte; Latacunga y Sigchos con dirección sur; Archidona al este; y al oeste con Santo Domingo y Sigchos. (GAD Mejía, 2015)

El cantón Mejía es afortunado por hallarse en medio de áreas protegidas, mencionando: el área Nacional de Recreación el Boliche, el Parque Nacional Cotopaxi, el Refugio de Vida Silvestre Pasochoa y la Reserva Ecológica los Illinizas, por este motivo Mejía posee un gran valor ecosistémico. (GAD Mejía, 2020)

2.2.1.1 Componentes abióticos

El cantón Mejía está formado en gran parte por material eruptivo provenientes del volcán Cotopaxi, en la parte oriente se halla formaciones de andesitas, riolitas y piroclastos provenientes del volcán Pisayambo. La morfología terrestre es muy asimétrica, pues existe terrenos montañosos, elevaciones de altura media, terrenos planos, pendientes empinadas, etc.

La hidrología en el cantón cuenta con gran abundancia de fuentes acuáticas, dentro de la superficie se ubican 56 microcuencas, que forman parte de las subcuencas de los ríos Guayllabamba y Blanco. Cerca de 384 ríos y arroyos cruzan el cantón Mejía. (GAD Mejía, 2020)

El clima en Mejía está determinado por dos componentes clave que son la topografía y la cadena montañosa, con ello la temperatura y precipitaciones presentan variaciones desde rangos bajos en los sitios altos (páramos) y rangos superiores en las áreas bajas del cantón. (GAD Mejía, 2020)

2.2.1.2 Componentes bióticos

El cantón Mejía tiene abundantes especies endémicas en flora, que son amenazadas por distintos factores, provocando la extinción de estas. Entre las familias vegetativas con más relevancia se

encuentran: Asteraceae, Ericaceae, Poaceae, Apiaceae, Solanaceae, Orchidiaceae, etc. En relación con la fauna existe la presencia de aves y mamíferos entre los que se puede destacar mono araña cabeza café y bandumia carinegra que se pertenecen a una categoría de riesgo crítico de extinción; el oso de anteojos, el ciervo enano, gato andino, puma, águila andina, corcovado dorsioscuro, etc. que se encuentra en una categoría vulnerable en la desaparición de especies. Así también existen especies de menor preocupación como el lobo de paramo, pecarí labio blanco, conejo, zumbador, torcaza, quilico, entre otros. (GAD Mejía, 2020)

2.2.2 Microcuenca río San pedro

El río de esta microcuenca nace de la vertiente del volcán Illiniza y se dirige hacia el norte del país, recogiendo aguas de distintos afluentes, hasta el cruce con el río Guayllabamba. (Avilés, 2018)

2.2.3 Hidrología

La hidrología es una disciplina natural que se enfoca en la inspección y estudio del agua, abordando su origen, desplazamiento y distribución en la superficie como en los niveles subterráneos de la Tierra, así como sus aspectos físicos y químicos, y su vínculo con el entorno ambiental, incluyendo todas las formas de vida (Villón Béjar, 2004). Es la ciencia geofísica que detalla y pronostica las fluctuaciones en el espacio y tiempo del agua, en las fases atmosférica, oceánica y terrestre dentro del sistema hidrológico a nivel global. (Dingman, 2015)

2.2.4 Cuenca Hidrográfica

La cuenca hidrográfica son áreas topográficamente delimitadas por líneas acuíferas (picos montañosos), en estos espacios se reúnen los flujos acuáticos como arroyos y ríos, desembocando

en un punto común de salida, esto puede ser en una cuenca endorreica si el agua llega hacia un lago o laguna; o en una exorreica si el agua termina en el mar. (Ávalos et al., 2013)

La cuenca hidrográfica se utiliza como unidad de gestión para reservas acuíferas. Aunque es fundamental destacar que las cuencas hidrográficas de los cursos de agua principales se conforman por ríos secundarios. Ecuador utiliza la definición de demarcación hidrográfica que es empleado por la Unión Europea como: la región marítima y terrestre que está conformada por una o varias cuencas hidrográficas adyacentes, aguas subsuperficiales y costeras interrelacionadas. (Vásconez et al., 2019)

2.2.5 Tipos de cuenca hidrográfica

Según Ordoñez (2011) una cuenca hidrográfica se clasifica en diferentes divisiones operativas, entre los que se menciona:

- Cuenca: Sistema unificado por varias subcuencas o microcuenca, donde todos los arroyos se reúnen en una sola corriente de agua, la cual está limitada por un límite hidrográfico.
- Subcuenca: Agrupación de microcuencas que convergen en un solo afluente con un caudal que presenta variaciones pero que mantiene constante
- Microcuenca: Es cualquier área en la que su sistema evacuación de agua conduce hacia corriente principal de una subcuenca

Los componentes de una cuenca están conformados por:

- Quebradas: Son áreas que conducen su caudal de forma directa hacia curso principal de una microcuenca

- Cuenca alta: Pertenece a las regiones montañosas o cumbres de las colinas, que son limitadas en la parte superior por las divisorias hidrográficas
- Cuenca media: Se reúnen las aguas provenientes de las partes altas, y en esta área, el río principal conserva un caudal definido
- Cuenca transicional: En esta zona, el río vierte a ríos más grandes o en áreas bajas como desarenadores y pantanos.

2.2.6 Caudal Ecológico

El caudal ecológico se refiere al caudal mínimo para conservar ambientes naturales los cuales son fundamentales para la protección del paisaje, la flora y fauna; y depuración natural de agua (Santacruz De León & Aguilar-Robledo, 2009), que se ven afectados debido al incremento de la funcionalidad de los ríos y sus beneficios integradores, es por ello que el mantenimiento de los caudales asegurarán la supervivencia de especies acuáticas, la biodiversidad y los servicios ambientales tales como la regulación hídrica, el control de inundaciones y escases de lluvias, la recuperación hídrica de acuíferos y la creación de microclimas (Diez, 2006).

2.2.7 Métodos de caudal ecológico

2.2.7.1 Métodos Hidrológicos

Los métodos hidrológicos forman parte del 30% de los métodos más reconocidos, donde usan valores hidrológicos basado en documentos pasados (diarios, mensuales o anuales) de caudales, esto permitirá que se elabore propuestas del caudal. Son sencillos de emplear debido a que no necesitan realizar investigación de campo, es por ello que se denominan metodologías de

programación de escritorio (Oyola, 2017). Estos enfoques hidrológicos son recursos que nos facilitan a entender, examinar e interpretar estos procedimientos, de igual manera nos permite la evaluar alternativas para un manejo sostenible. (Moreno Ronquillo, 2008)

2.2.7.2 Métodos Hidráulicos

También llamados metodologías de análisis de variabilidad hidráulica. Utilizan las conexiones entre el caudal de agua y las propiedades específicas del cauce. Constituyen un progreso en cuanto a los métodos hidrológicos ya que dependen de mediciones de campo, que son afectadas fluctuaciones naturales del caudal del río. Sin embargo, su fundamento se basa principalmente en los aspectos físicos del cauce, excluyendo las necesidades de la vida biológica (Castro Heredia et al., 2006).

2.2.7.3 Métodos de simulación de hábitat

Los métodos hidrobiológicos, tiene la capacidad de archivar registros históricos de caudal con períodos más extensos, parámetros morfo-hidráulicos de diversas áreas, procesos físicos-químicos y también algunas variables biológicas. En otras palabras, este enfoque establece una conexión entre el entorno del ecosistema del río y sus propiedades hidráulicas; el cambio en el medio físico está sujeto a la variación de determinados elementos hidráulicos (Oyola, 2017).

2.2.7.4 Métodos Holísticos

El enfoque holístico para establecer el caudal ecológico requiere de equipos de expertos de diferentes campos que, mediante el consenso, definen el caudal después analizar las propiedades fundamentales del río y de los ecosistemas presentes que pueden tener efectos medioambientales.

Estas propiedades se incorporan en un régimen de flujo modificado con el propósito de preservar la flora y fauna, así como también la funcionalidad de la fuente hídrica superficial (Oyola, 2017).

2.2.8 Parámetros de calidad de agua

Los parámetros de calidad de agua nos dan información sobre las características del recurso hídrico, generando una cantidad considerable de datos informativos (Samboni Ruiz et al., 2007), se determinan según el propósito para el cual vamos a hacer uso del agua y de que manera se necesita su calidad y pureza. El agua contiene distintas clases de impurezas flotantes, disueltos, suspendidos y microbiológicos; es por ello por lo que se realiza pruebas físico-químicas como:

1. pH
2. Temperatura
3. Oxígeno Disuelto
4. DBO
5. DQO
6. Sólidos disueltos totales
7. Turbiedad
8. Coliformes Fecales
9. Nitratos
10. Fosfato Total (Martínez & Barrero, 2018)

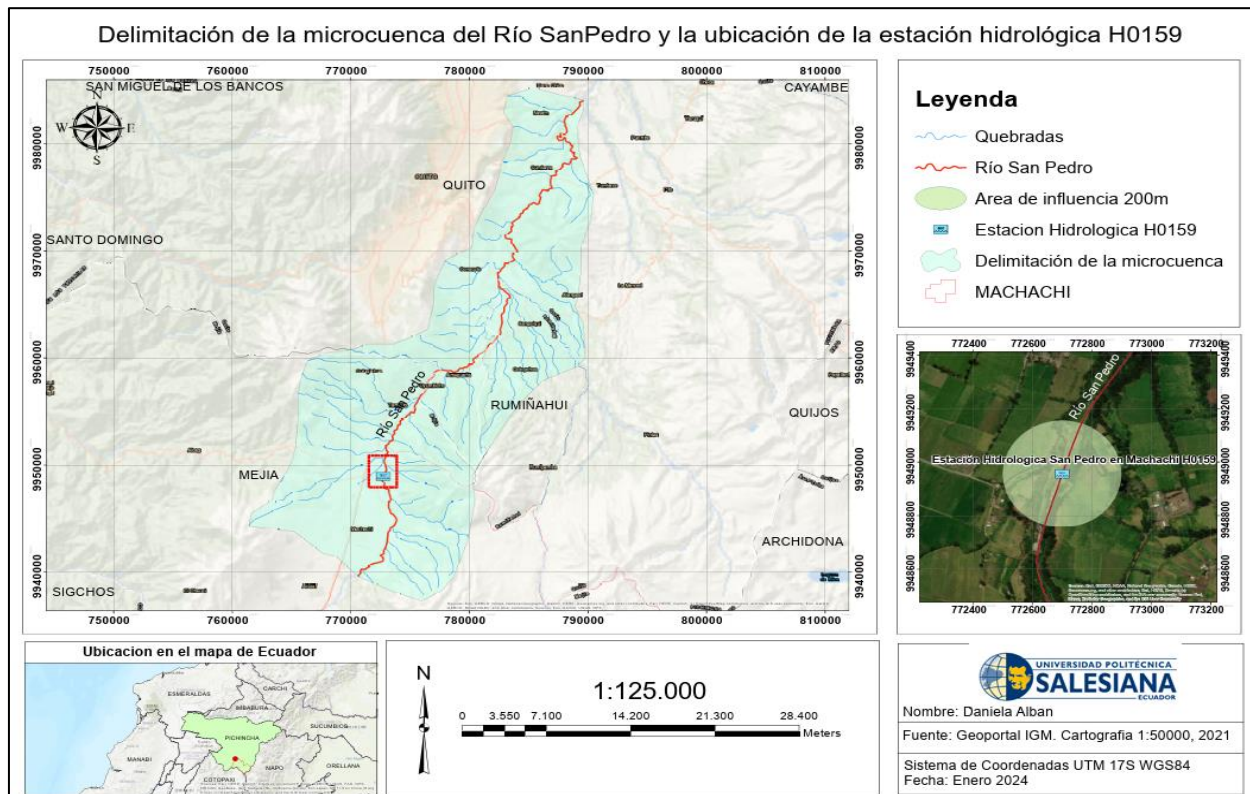
3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Diseño

El área donde se realiza el estudio para la evaluación del caudal ecológico y los parámetros de calidad de agua es la estación hidrográfica San Pedro en Machachi H0159, debido que se realiza la recopilación de datos por parte de Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, en esta zona para toma de muestras se consideró una distancia $\geq 100m$, entre cada punto. Tomando como referencia un área de influencia de 200m, desde la estación hidrográfica.

Figura 2

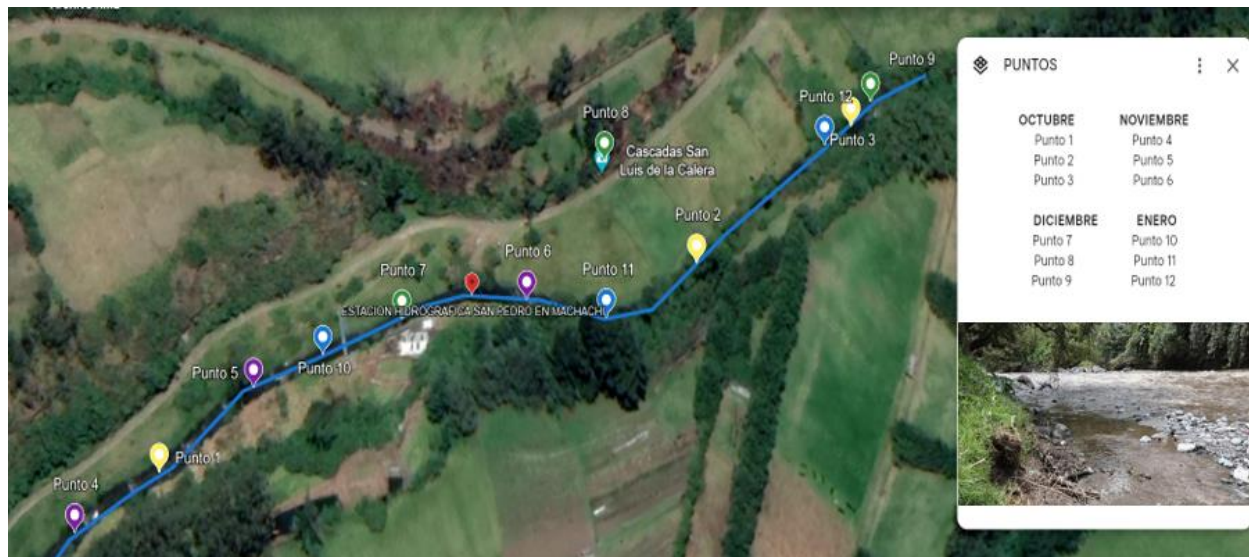
Delimitación de la microcuenca ArcGIS



Nota: Delimitación de la microcuenca del Río San Pedro en Machachi y ubicación de la estación hidrográfica H0159, área de influencia para la toma de muestras de agua. Elaborado por Daniela Albán (2024).

Figura 3

Puntos de muestreo

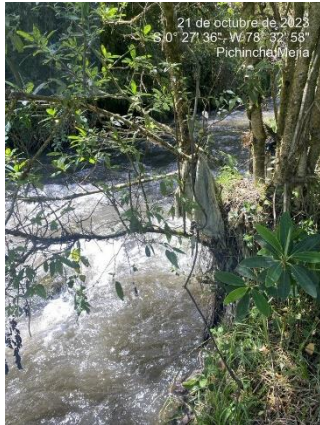


Nota: Sitios de muestreo. Elaborado por Daniela Albán (2024)

Tabla 3

Caracterización de los puntos de muestreo

| Puntos | Descripción del lugar |
|---------------|--|
| | <p>Puntos aguas arriba (6, 11, 2, 3, 12, 9)</p> <p>Existe la presencia de vegetación como árboles de <i>Caesalpinia spinosa</i>, conocido como Guarango y <i>Pennisetum clandestinum</i> como Kikuyo, es una zona con actividad industrial, debido a la infraestructura eléctrica cercana al lugar, existe desechos ganaderos en el borde del río.</p> |



Puntos aguas abajo
(1, 4, 5, 10, 7)

En estos sitios se observa la presencia de vegetación como la *Ilex Parafuariensis* conocido como Yerba Mate y *Sideroxylon Cinereum*, es una zona de actividad ganadera debido a los desechos vacunos encontrados en cercanía con el río, existe poca actividad industrial



Punto 8: Cascada Es una zona donde se encuentra una *San Luis de la Calera* cascada que se une con el curso del río, existe la presencia de vegetación como *Sporobolus Indicus* conocido como Cola de ratón, y *Blechnum appendiculatum*, expuesta a una gran cantidad de residuos sólidos en los alrededores y flotando en sus aguas, sin embargo es una zona turística; no existe actividad industrial,

Nota: Caracterización de los puntos de muestreo, tomando como referencia la estación hidrográfica. Elaborado por Daniela Albán (2024)

3.2 Población y Muestra

En Machachi donde se encuentra la estación hidrográfica, existe una población de 32.814 Hab según el Censo Ecuador 2022, realizado por el INEC, sin embargo, en la zona donde se realiza el trabajo experimental, la población existente es mínima, contando con trabajadores de la central hidroeléctrica, se determinó una cantidad mínima de personas, dando así el tamaño de población.

3.2.1 Encuestas

Con el objetivo de conocer acerca de la calidad de agua en la zona donde está ubicada la estación.

Se recopila información, sobre del uso del recurso acuático y la preservación del ecosistema, la encuesta llevara preguntas cerradas y abiertas, de fácil entendimiento. En la obtención del tamaño de muestra se utiliza la siguiente formula:

$$\text{Tamaño de muestra} = \frac{\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2 N}\right)}$$
$$\text{Tamaño de muestra} = \frac{\frac{1,28^2 \times 0,8(1-0,8)}{0,1^2}}{1 + \left(\frac{1,28^2 \times 0,8(1-0,8)}{0,1^2 \times 20}\right)}$$

$$\text{Tamaño de muestra} = 11,344 \approx 11$$

Donde:

N = Tamaño de población

e = Margen de error

z = Puntuación Z

p = Nivel de confianza deseado

Teniendo en cuenta un nivel de confianza deseado del 80% le corresponde una puntuación “z” del 1.28, según el método que se utilizó, y con un margen de error de 10%, destacando un tamaño de población pequeña. Si el nivel de confianza es alto, se reduce la posibilidad de errores en la estimación de la población.

3.3 Variables

Variable Independiente: Mes de estudio

Variable Dependiente: Parámetros de la calidad del agua.

3.4 Recogida de datos

3.4.1 Caudal ecológico Método Tennant

Este método necesita un registro de por lo menos 20 años es por ello por lo que se toman datos medios mensuales desde el año 1995 hasta 2018, obtenidos en los anuarios hidrológicos del INAMHI, por medio del sitio web oficial se consiguió los valores hasta el 2013, y en relación a los otros años se realizó una solicitud de petición al instituto donde se tuvo datos del 2014 y 2015, y con ello se tiene una base de datos realizada en Excel (Anexo 2), y por último por falta de datos de se realizó una proyección con ayuda de Excel, ocupando la formula correcta que siga el mismo patrón de valores.

3.4.2 Parámetros de calidad del agua

Se realizará una recolección de muestras en el Río San Pedro en Machachi cerca de la estación hidrográfica H0159, posteriormente se realizarán los análisis físico-químicos respectivos en los laboratorios de la UPS, para obtener los datos de cada parámetro.

3.5 Protocolo de Caudal Ecológico

Con los datos recopilados se realiza un análisis exploratorio donde se observa si existe datos faltantes y se los completa mediante el método media aritmética, teniendo en cuenta que estos sean menores al 10%, para posteriormente realizar estadísticas resumidas. Con la base de datos ya listos

de caudales mensuales, se aplica el Método Tennant en Rstudio, donde se calcula los caudales mínimos, máximos y medios, con estos últimos se calcula los caudales ecológicos por categoría siguiendo los porcentajes para época de avenida y de estiaje. Se realiza una validación en el Art. 411 de la Constitución del Ecuador.

Tabla 4

Descripciones del caudal ecológico por el método Tennant 1976

| Descripción de caudales | Regímenes de caudales recomendados | |
|--------------------------------|---|--------------------------|
| | Estación lluviosa | Estación seca |
| <i>Máximo</i> | 200% del caudal medio | 200% del caudal medio |
| <i>Rango óptimo</i> | 60-100% del caudal medio | 60-100% del caudal medio |
| <i>Sobresaliente</i> | 40% | 60% |
| <i>Excelente</i> | 30% | 50% |
| <i>Bueno</i> | 20% | 30% |
| <i>Justo o degradable</i> | 10% | 30% |
| <i>Pobre o mínimo</i> | 10% | 10% |
| <i>Grave degradación</i> | 10% | 10% |

Nota: Categorías para determinar el caudal ambiental por el Método Tennant. Tomado de: (Rojas Vasquez & Tarambis Enriquez, 2012)

3.6 Protocolo Parámetros de Calidad de agua

Se recogerá las muestras por 4 meses. Estas muestras se harán con tres repeticiones en distintos horarios y sectores, donde cada muestra será inmediatamente transportada al laboratorio para su análisis, manteniendo así sus condiciones iniciales. La metodología aplicada para conservar y

transportar todo tipo de muestras de agua se establecerá en base a la normativa vigente “INEN 2176:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO”

3.6.1 Equipos (marca)

- Fosfatos: Orbeca Hellige – SP600 Spectrophotometer
- Nitratos, DQO, DBO5 : Hanna Instruments – HI 83099
- Turbidímetro: Sper Scientific – 860040
- pH-metro, temperatura, conductividad: Combo by Hanna - Waterproof
- Oxímetro: Horiba Scientific – LAQUA act OM – 71
- Sólidos Suspendidos Totales: Mettler Toledo, Bomba de filtración al vacío

Tabla 5

Determinación de los parámetros de calidad de agua

| Parámetro | Procedimiento |
|--------------------------------|---|
| pH | Para la determinación de pH se lo realizó in situ con ayuda del equipo Combo by Hanna, se tomó 300 ml de la muestra en un contenedor, y se espera unos minutos hasta que muestre el resultado. |
| Temperatura (C°) | Se determinó in situ con el pH-metro Combo by Hanna, colocando en un envase 300 ml de la muestra y se procede a esperar la lectura |
| Conductividad (mS/cm) | Con ayuda del equipo Combo by Hanna, se toma la muestra de 300ml in situ y se espera unos minutos hasta que se muestre el resultado |
| Turbidez (NTU) | Análisis en laboratorio, se usa 10 ml de agua destilada (blanco) para calibrar, luego se toma 10 ml de la muestra, se inserta en un vial y con el turbidímetro Sper Scientific se realiza la lectura. |
| Oxígeno Disuelto (mg/L) | Se coloca 100 ml de la muestra en un vaso de precipitación y con ayuda del oxímetro Horiba Scientific se procede hacer la lectura |
| DBO5 (mg/L) | Se realiza la preparación del agua de dilución, usando 1ml de MgSO ₄ , 1ml de CaCl ₂ y 1ml FeCl ₃ y se agrega a un 1L de agua destilada, |

| | |
|---|---|
| | <p>posteriormente se requiere airear durante una media hora con ayuda de la plancha de agitadora a 650 rpm. (IDEAM, 2017)</p> <p>Una vez realizada el agua de disolución, se procede a llenar los frascos Winkler, agregando 75 ml de la muestra y agua de disolución hasta la mitad del frasco, y se procede a medir el Oxígeno inicial</p> <p>Después de realizar esta medición, se llena completamente el frasco Winkler observando que no haya presencia de burbujas dentro de la misma y se coloca en la incubadora por 5 días a 20°C, finalmente se realiza la medición de Oxígeno final y se calcula la DBO5 con la su fórmula respectiva. (IDEAM, 2017)</p> |
| <i>DQO (mg/L)</i> | Se prepara el vial que será el blanco utilizando 2ml de agua destilada y colocándolo en el vial de DQO, posteriormente se realiza los viales con nuestras muestras colocando 2ml de la muestra en el vial y homogenizar las muestras, luego ponerlas en el biodigestor a una temperatura de 150 °C por 2h. una vez finalizado se dejó enfriar para poder medir en el espectrofotómetro. |
| <i>Nitratos (mg/L)</i> | En un vial se agregó 5ml de muestra para posterior colocar un sobre de nitratos que se homogenizo, se espera unos minutos y se hace la lectura en respectivo equipo |
| <i>Fosfatos (mg/L)</i> | En un vial se agregó 5ml de muestra para posterior colocar un sobre de fosfatos, se homogeniza y se hace la lectura en respectivo equipo |
| <i>Sólidos suspendidos Totales (g/L)</i> | Se realiza una medición del peso del papel filtro con una capsula vacía en la balanza analítica, con ayuda de la bomba de filtración al vacío se procede a filtrar la muestra colocando 50ml de la misma y ubicando correctamente el filtro. Una vez que paso toda el agua se coloca el papel filtro con la capsula en la estufa por 30 min a 104.5 °C. se espera hasta que se enfría y se vuelve a pesar. |

Nota: Pasos para determinar los parámetros de calidad de agua. Elaborado por Daniela Albán (2024). Tomado de: (IDEAM, 2017)

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Determinación caudal ecológico

4.1.1 Estadísticas Resumidas

Una vez realizado la proyección de datos de caudales mensuales de los años 2016-2018 y completados los datos hidrológicos faltantes, utilizando Excel y Rstudio (Anexo 3). Los resultados

de estadística resumida (Tabla 5), el valor obtenido en caudal máximo es perteneciente al mes de mayo, año 2000. Y el caudal mínimo es en el mes de agosto, año 2002.

Tabla 6

Estadística resumida

| Medida de resumen | Valor |
|---------------------------------|----------------|
| <i>Promedio anual(media)</i> | 3,9042 |
| <i>Mediana</i> | 3,1063 |
| <i>Varianza</i> | 7,4173 |
| <i>Desviación estándar</i> | 2,7235 |
| <i>Coefficiente de simetría</i> | 1,7401 |
| <i>Caudal Máximo</i> | 15,6737 |
| <i>Caudal Mínimo</i> | 0,2788 |

Nota: Medidas de resumen de los caudales mensuales de la estación hidrográfica H0159.

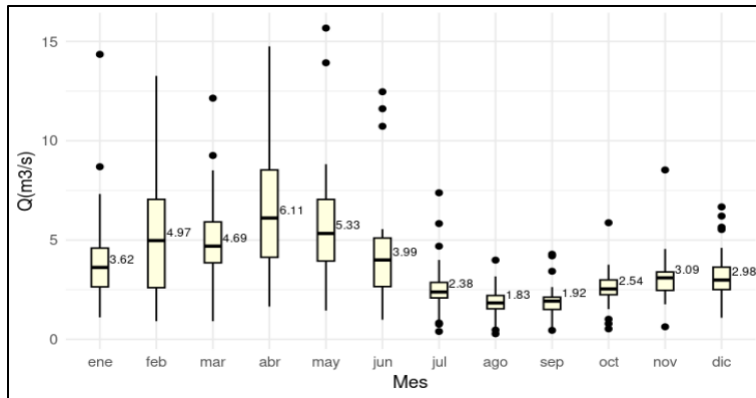
Elaborado por Daniela Albán (2024).

La variabilidad interanual es >1.6 es decir que los cambios de caudal en este período de 24 años de este estudio son significativos, el río San Pedro ha pasado de tener años con caudales relativamente bajos (1995, 1997, 2001, 2004-2005, 2013-2015) a tener años con caudales altos (2000, 2007-2009, 2011-2012, 2016), (Anexo 9) esto puede deberse a las precipitaciones que existieron en el transcurso del tiempo.

El diagrama de cajas (Fig. 3) presenta una comparación de los caudales mensuales del año según su distribución según el valor de caudal, donde se observa que mientras mayor sea la dispersión los caudales son más altos; mientras que los caudales más bajos tienen una dispersión menor, con ello se determinará los meses de época lluviosa y los meses de época seca.

Figura 4

Caudales mensuales y su dispersión según el valor de caudal.

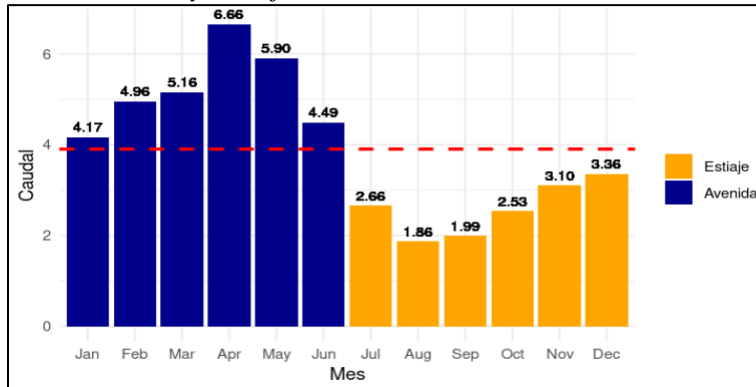


Nota: Diagrama de cajas de caudales mensuales, período 1995-2018. Elaborado por Daniela Albán (2024).

Se calculó los caudales medios mensuales en el período de 24 años y tomando como referencia al promedio anual, se determinó los meses de avenida y estiaje. (Fig. 4)

Figura 5

Determinación época de avenida y estiaje



Nota: Caudales medios mensuales y promedio anual, épocas lluviosas y secas, período 1995-2018. Elaborado por Daniela Albán (2024).

Una vez conocidos cuales son los meses de avenida y estiaje, y utilizando los caudales medios mensuales se determinó, para la época lluviosa los Regímenes de Caudales Recomendados (Tabla 3) para el 10%, 20%, 30%, 40%.

Tabla 7

Caudales al 10,20,30,40 % para la época de Avenida

| Meses | Mínimo | Aceptable | Bueno | Excelente | Excepcional |
|----------------|---------------|------------------|--------------|------------------|--------------------|
| Enero | 0,4167 | 0,4167 | 0,8333 | 1,2500 | 1,6667 |
| Febrero | 0,4958 | 0,4958 | 0,9916 | 1,4874 | 1,9832 |
| Marzo | 0,5162 | 0,5162 | 1,0323 | 1,5487 | 2,0649 |
| Abril | 0,6656 | 0,6656 | 1,3313 | 1,9969 | 2,6625 |
| Mayo | 0,5902 | 0,5902 | 1,1805 | 1,7707 | 2,3609 |
| Junio | 0,4493 | 0,4493 | 0,8986 | 1,3478 | 1,7971 |

Nota: Porcentaje de caudales recomendados para la época de avenida en el río San Pedro en la estación hidrográfica H0159. Elaborado por Daniela Albán (2024).

Así mismo se determinó con base a los caudales medios mensuales los regímenes de caudales recomendados (Tabla 3), para el 10%, 30%, 50%, 60% para la época de estiaje.

Tabla 8

Caudales al 10,30,50,60% para la época de Estiaje

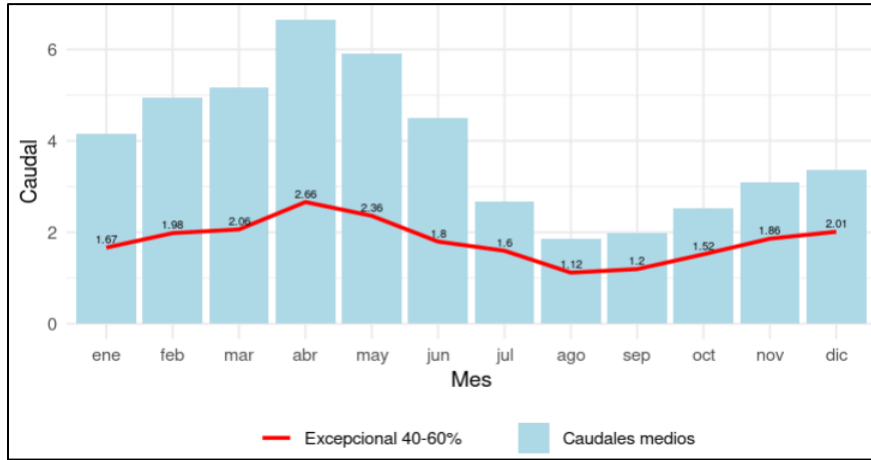
| Meses | Mínimo | Aceptable | Bueno | Excelente | Excepcional |
|-------------------|---------------|------------------|--------------|------------------|--------------------|
| Julio | 0,2661 | 0,7985 | 0,7985 | 1,3309 | 1,5971 |
| Agosto | 0,1864 | 0,5594 | 0,5594 | 0,9324 | 1,1189 |
| Septiembre | 0,1993 | 0,5980 | 0,5980 | 0,9968 | 1,1961 |
| Octubre | 0,2533 | 0,7601 | 0,7601 | 1,2667 | 1,5201 |
| Noviembre | 0,3102 | 0,9306 | 0,9306 | 1,5511 | 1,8613 |
| Diciembre | 0,3355 | 1,0066 | 1,0066 | 1,6777 | 2,0132 |

Nota: Porcentaje de caudales recomendados para la época de estiaje en el río San Pedro en la estación hidrográfica H0159. Elaborado por Daniela Albán (2024).

El caudal ecológico en la categoría excepcional que son el 40 y 60% en épocas de avenidas y estiaje, este caudal apropiado para formar un hábitat con condiciones sobresalientes que sea accesible para toda una vida acuática.

Figura 6

Caudal ecológico categoría excepcional

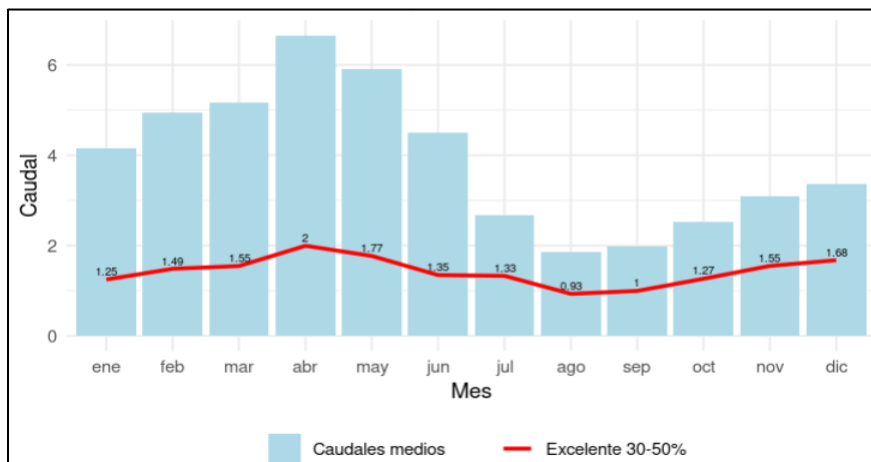


Nota: Determinación del caudal ecológico excepcional en el río San Pedro en la estación hidrología H0159, período 1995-2018. Elaborado por Daniela Albán (2024).

El caudal ecológico de categoría excelente, que va del 30 y 50%, proporciona un flujo necesario para mantener un hábitat acuático con condiciones excelentes para las diversas formas de vida acuática.

Figura 7

Caudal ecológico categoría excelente

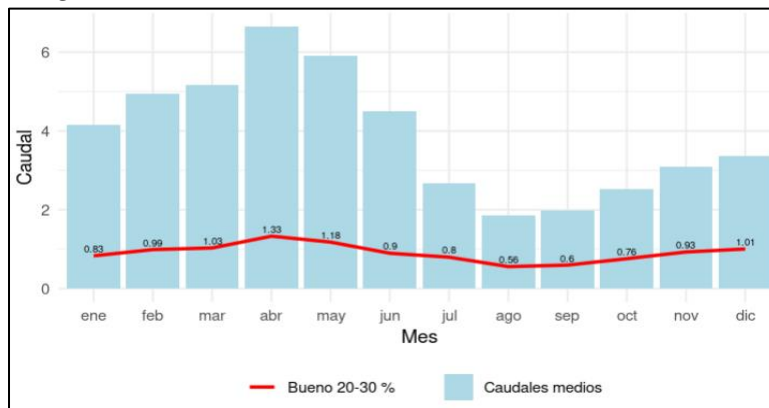


Nota: Determinación del caudal ecológico excelente en el río San Pedro en la estación hidrología H0159, período 1995-2018. Elaborado por Daniela Albán (2024).

El caudal ecológico en la categoría bueno que tiene el 20 y 30%, proporciona un flujo necesario para mantener un hábitat acuático con condiciones adecuadas para la mayoría de las formas de vida acuática.

Figura 8

Caudal ecológico categoría bueno



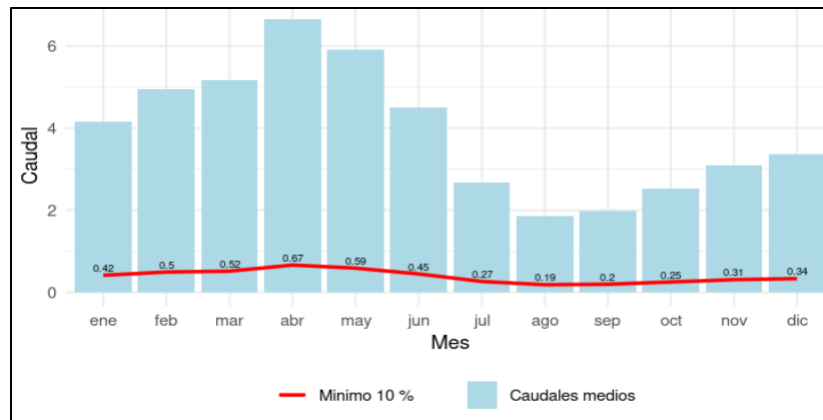
Nota: Determinación del caudal ecológico bueno en el río San Pedro en la estación hidrología H0159, período 1995-2018. Elaborado por Daniela Albán (2024).

El caudal ecológico en la categoría aceptable que tiene el 10 y 30%, tiene caudales iguales a la categoría mínimo y bueno, es por ello que solo se mostrará el caudal ecológico de la categoría mínimo (10%), muestra que el río San Pedro, la mayoría de las formas de vida acuática mantienen su sobrevivencia a corto plazo en un caudal mínimo recomendado, este tipo de caudal ecológico se valida con el Art. 411 de la Constitución del Ecuador, donde la SENAGUA debe asegurar la sostenibilidad, restauración y gestión completa de las fuentes de agua, cuencas fluviales y caudales ecológicos vinculados al ciclo hidrológico. Actualmente, las concesiones que entrega la legislación

toman en cuenta el 10% del caudal de un río, que se estableció conforme a las características y el estado de las fuentes hídricas, acordado por la planificación hídrica nacional.

Figura 9

Caudal ecológico categoría mínimo

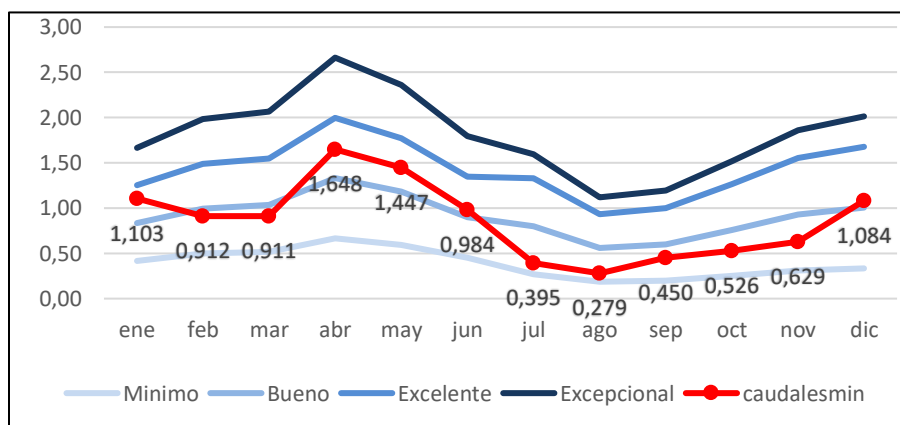


Nota: Determinación del caudal ecológico mínimo en el río San Pedro en la estación hidrología H0159, período 1995-2018. Elaborado por Daniela Albán (2024).

El método Tennant se determina por distintos niveles de caudal adecuados para mantener la vida acuática, con base a los caudales medios mensuales, sin embargo, para determinar cuál nivel de caudal va conforme, se utiliza los caudales mínimos mensuales. (Brown et al., 2016)

Figura 10

Determinación del nivel de caudal ecológico válido para el Río San Pedro



Nota: Caudales mínimos mensuales y categorías de caudal ecológico para determinar el nivel adecuado, período 1995-2018. Elaborado por Daniela Albán (2024).

Los caudales ecológicos de la categoría excepcional y excelente con relación a los caudales medios mínimos no aseguran que los organismos acuáticos habiten en circunstancias hidráulicas adecuadas, ya que los valores de estos caudales sobrepasan los valores de los caudales mínimos del río San Pedro. Para la categoría de caudal ecológico bueno, los meses como enero, abril, mayo y junio presentan condiciones aptas para la vida acuática, con valores por debajo del caudal mínimo. El caudal ecológico válido en su totalidad es el mínimo o también denominado de sobrevivencia (10%), debido a que sus valores son menores a las de los caudales medio mínimos.

4.2 Resultado de Curva de Caudal Clasificado

Con los datos de caudales diarios de la estación hidrográfica San Pedro en Machachi H0159 obtenidos del INAMHI, con un período de 1995-2013 que se obtuvieron de forma gratuita en su página web, se realizó la curva de caudales clasificados utilizando la Herramienta Excel donde se ordena de mayor a menor los 365 datos diarios de cada año, exceptuando los años con datos incompletos y posterior se calcula la probabilidad (%) de superar, usando la formula.(Sánchez San Ramon, 2013)

$$prob (\%) = \frac{n - 0,5}{N} * 100$$

Donde:

n = número de orden del caudal

N = número total de datos de caudales diarios (5845)

Figura 11

Representación en la Hoja de Cálculo para realizar el gráfico

fx $= (C5 - 0,5) / \$C\$5848 * 100$

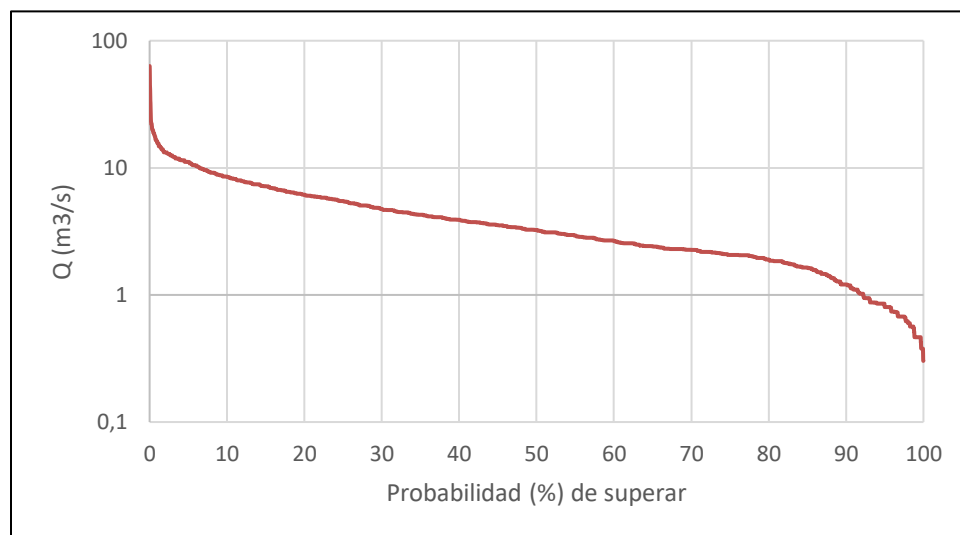
| Q(m3/s) | n° orden | Probabilidad (%) de superar |
|---------|----------|-----------------------------|
| 63,207 | 1 | 0,008554 |
| 56,885 | 2 | 0,025663 |
| 45,001 | 3 | 0,042772 |
| 42,541 | 4 | 0,059880 |
| 38,909 | 5 | 0,076989 |
| 33,966 | 6 | 0,094098 |

$$= \frac{2 - 0,5}{5845} * 100$$

Nota: Uso de la herramienta Excel para realizar la curva de caudales clasificados. Elaborado por Daniela Albán (2024).

Figura 12

Curva de caudales clasificado para el río San Pedro



Nota: Representación de datos caudales diarios período de 16 años de la estación hidrográfica H0159. Elaborado por Daniela Albán (2024).

En la curva de caudal clasificado se determinó que una probabilidad de 90% indica que un caudal 1,209 m³/s es superado durante 5261 días, para una probabilidad de 70% muestra que durante 4091 días el caudal será superior a 2,262 m³/s, para una probabilidad de 50% el caudal 3,241 m³/s será superior durante 2923 días, en una probabilidad del 30% señala que durante 1754 días el caudal será superior a 4,723 m³/s y finalmente para una probabilidad de 10% expresa que durante 585 días el caudal será superior a 8,544 m³/s, teniendo en cuenta que existen 5845 días en el transcurso de 16 años.

4.3 Resultado Encuestas

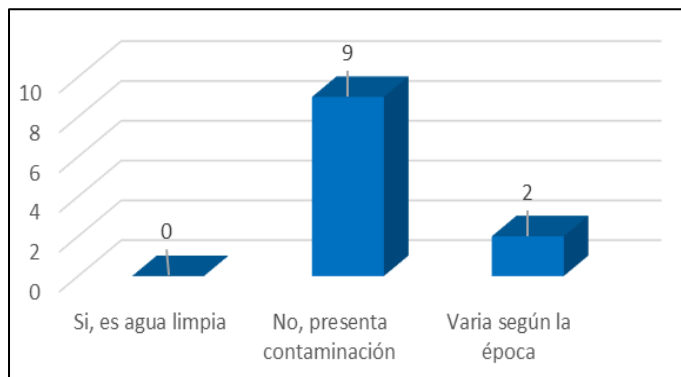
Se realizó las encuestas (Anexo 3) a 11 personas, contado trabajadores de la central hidroeléctrica y los pocos habitantes hallados en la zona cercana a la estación hidrográfica H0159, se muestran los datos obtenidos mediante gráficos con sus porcentajes correspondientes para cada pregunta realizada.

- **Pregunta 1.- Considera usted, ¿que el agua del río San Pedro en esta zona es un agua limpia?**

En esta zona del río San Pedro el 81,8% (9) de las personas encuestadas consideran que el agua presenta contaminación en su curso de agua, mientras que el 18,2% (2) creen que la contaminación varía según la época.

Figura 13

Pregunta 1



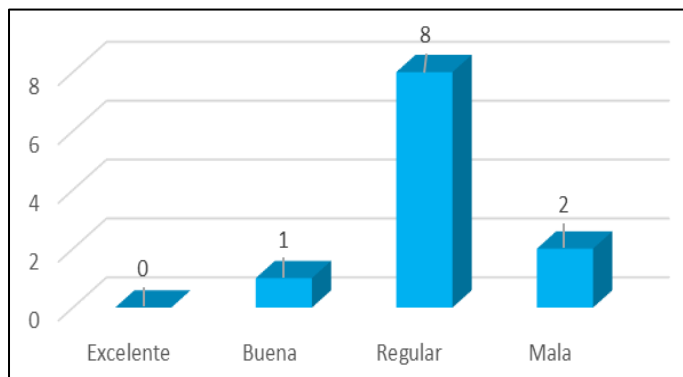
Nota: Contaminación del agua en la estación H0159. Elaborado por Daniela Albán (2024).

- **Pregunta 2.- ¿Cómo califica la transparencia y pureza del agua del río, en esta área?**

El 72.7% (8) de los encuestados opinan que el río presenta una transparencia regular, el 18.2% (2) consideran que el río tiene una mala claridad visual, mientras el 9.1% (1) piensa que el río tiene buena claridad en el agua.

Figura 14

Pregunta 2



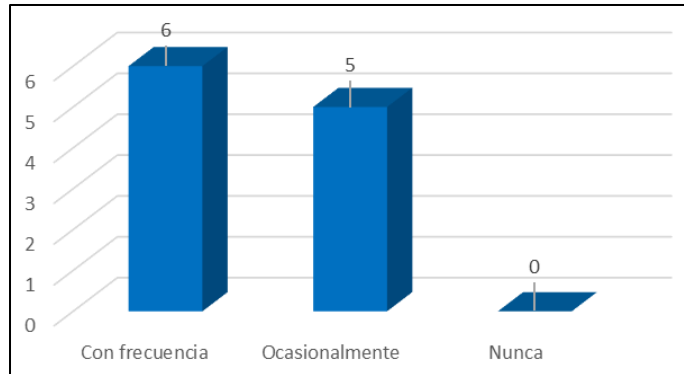
Nota: Transparencia del Río San Pedro. Elaborado por Daniela Albán (2024).

- **Pregunta 3.- Ha notado residuos o espumas flotando en la superficie del río.**

El 54.5% (6) de los encuestados han observado frecuentemente residuos o espuma flotando en esta zona del río San Pedro, y el 45.5% (5) han observado rara vez residuos flotantes.

Figura 15

Pregunta 3



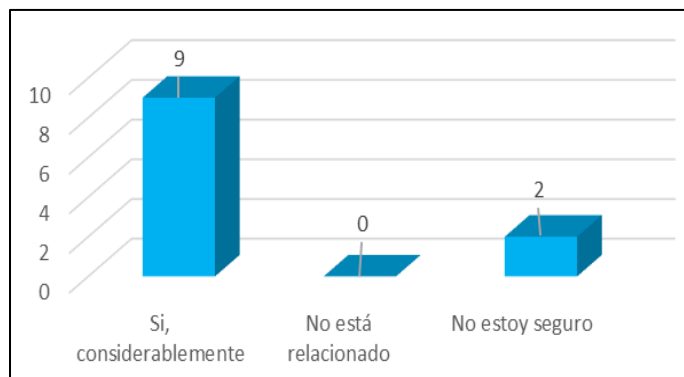
Nota: Presencia de residuos o espuma flotante. Elaborado por Daniela Albán (2024).

- **Pregunta 4.- Considera que la presencia de residuos sólidos en el río es perjudicial para la vida acuática.**

El 81.8% (9) de los encuestados están conscientes de que los residuos sólidos destruyen la vida acuática en el río, el 18,2% (2) no conocen sobre este tema.

Figura 16

Pregunta 4



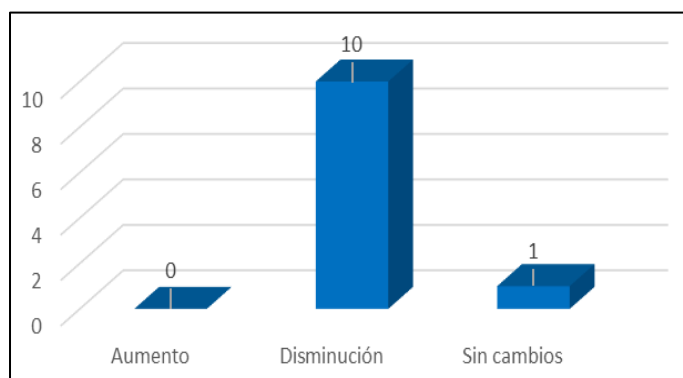
Nota: Agua perjudicial para la vida acuática. Elaborado por Daniela Albán (2024).

- **Pregunta 5.- Ha notado algún cambio en la cantidad de flora y fauna acuática en el río, en los últimos años.**

El 90.9% (10) de los encuestados han notado disminución en la flora y fauna presentes en el río, mientras el 9.1% (1) no han observado cambios al respecto.

Figura 17

Pregunta 5



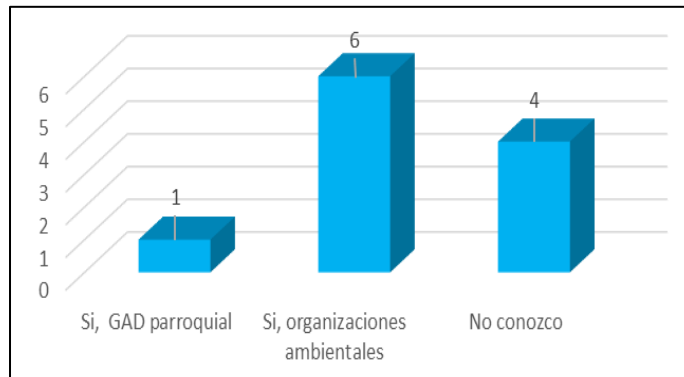
Nota: Cambios en la flora y fauna del río. Elaborado por Daniela Albán (2024).

- **Pregunta 6.- Si existe gran contaminación en el río, usted conoce a quien reportar el problema.**

El 54.5% (6) tiene el conocimiento de que si el río presenta excesiva contaminación debe reportar a organizaciones ambientales, el 9.1% (1) sabe que puede reportarlo al GAD parroquial, mientras el 36.4% (4) no conoce quien puede hacerse responsable del problema.

Figura 18

Pregunta 6



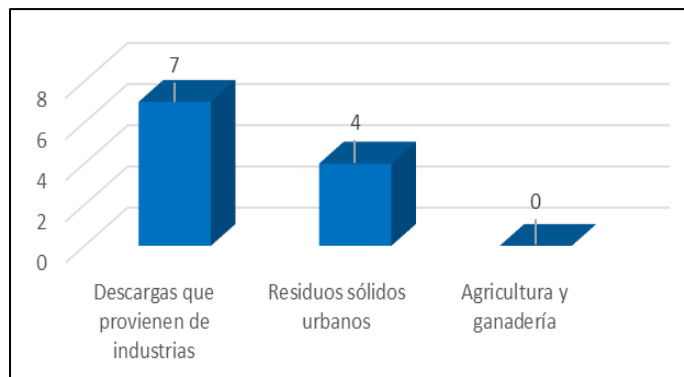
Nota: Responsable de la contaminación del río. Elaborado por Daniela Albán (2024).

- Pregunta 7.- Conoce usted cual es la principal fuente de contaminación del río.**

El 63.6% (7) considera que la principal fuente de contaminación son por descargas que provienen de industrias, mientras que el 36,4% (4) considera que es por arrojar residuos sólidos al río

Figura 19

Pregunta 7



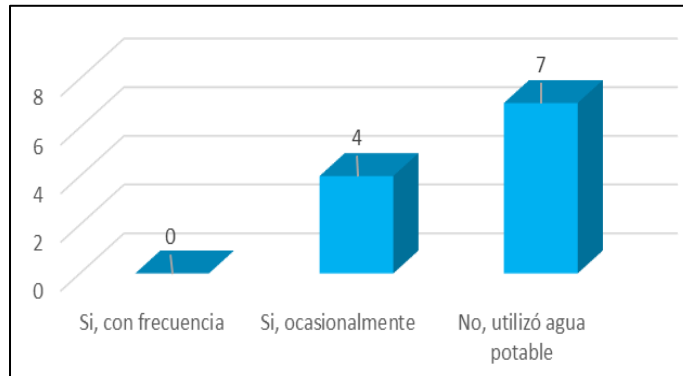
Nota: Las descargas que provienen de industrias consideradas la principal fuente contaminante. Elaborado por Daniela Albán (2024).

- Pregunta 8.- Usted utiliza el agua del río para actividades domésticas, agricultura y ganadería**

El 63.6% (7) de los encuestados no usan el agua del río San Pedro, son abastecidos de agua potable, sin embargo, el 36.4% (4) usan esta agua ocasionalmente para actividades ganaderas.

Figura 20

Pregunta 8



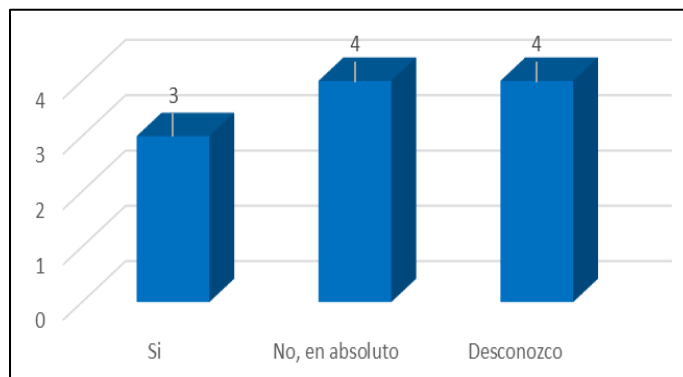
Nota: Uso del agua para diferentes actividades. Elaborado por Daniela Albán (2024).

- **Pregunta 9.- Considera que las autoridades parroquiales brindan cuidado al río.**

El 27.3% (3) han observado que las autoridades si han realizado mantenimiento al río, el 36,4% (4) no están conscientes de que eso ha sucedido, y el otro 36,4% (4) desconocen el tema.

Figura 21

Pregunta 9



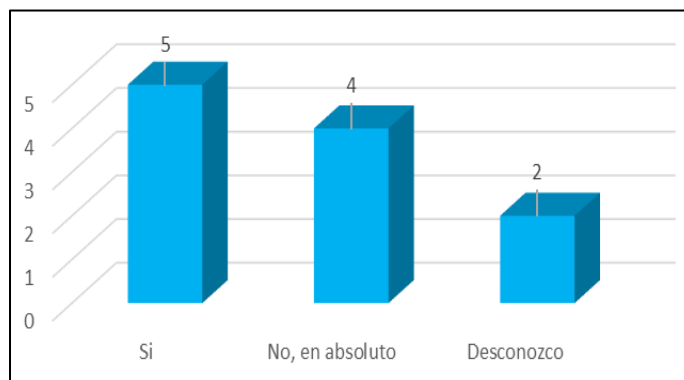
Nota: Mantenimiento por las autoridades correspondientes. Elaborado por Daniela Albán (2024).

- **Pregunta 10.- Conoce si anteriormente se han realizado campañas de concientización para la conservación del río.**

El 45.5% (5) afirma que, si se han realizado campañas de concientización, el 36.4% (4) no han visto la realización de estas campañas, mientras que el 18.2% (2) desconocen el tema.

Figura 22

Pregunta 10



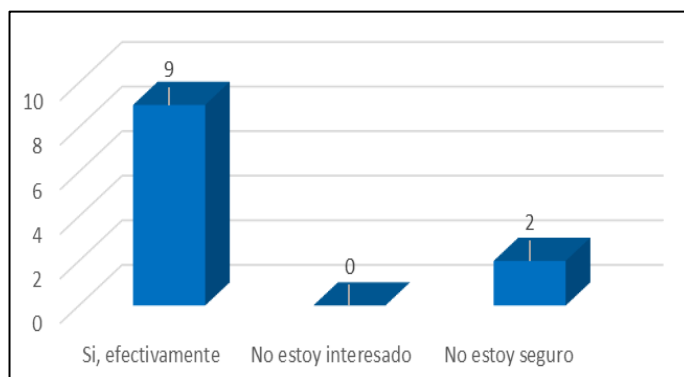
Nota: Campañas de concientización. Elaborado por Daniela Albán (2024).

- **Pregunta 11.- Participaría en las campañas de concientización y en actividades para conservar el río.**

El 81.8% (9) de los encuestados si participaran en actividades de conservación, mientras el 18.2% (2) no están seguros de si se participaran en estas campañas.

Figura 23

Pregunta 11



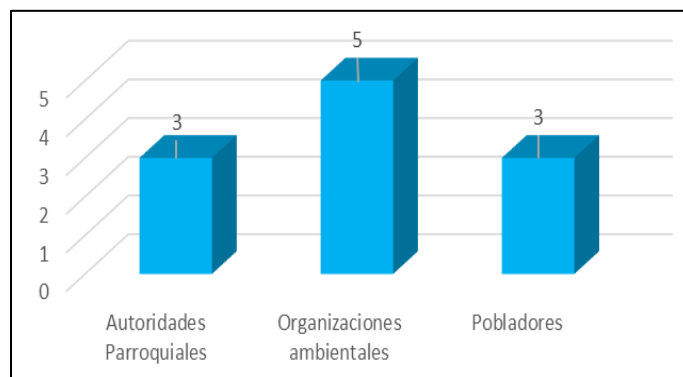
Nota: Actividades de conservación. Elaborado por Daniela Albán (2024).

- Pregunta 12.- Por quién considera usted que se debería realizar estas campañas**

El 45.5% (5) de los encuestados creen que estas campañas deberían realizar las organizaciones ambientales con más conocimiento del tema, el 27.3% (3) consideran que las autoridades parroquiales podrían encargarse de las campañas, el otro 27.3% (3) creen que entre los pobladores podrían realizar esta actividad.

Figura 24

Pregunta 12



Nota: Entidades encargadas de campañas de conservación. Elaborado por Daniela Albán (2024).

Los trabajadores y personas encontradas en esta zona consideran que el río no se encuentra en condiciones aptas para la vida acuática, y tampoco es apta para el consumo humano, sin embargo,

la minoría de estos habitantes en la zona ocupan el agua de este río para fines ganaderos, también mencionan el recurso hídrico suele verse más contaminado en épocas lluviosas pues mientras más lluvias existe, el caudal es más fuerte y arrastra los desechos sólidos que provienen de otros sitios, así como los vertidos industriales. Los trabajadores de la central hidroeléctrica mencionan que, para el funcionamiento de las maquinarias, se debe retirar los residuos sólidos y por ello el curso de agua pasando la hidroeléctrica no presenta gran cantidad de contaminantes. Los encuestados aseguran que les gustaría conocer más acerca de prácticas ambientales que ayuden a la preservación de este.

4.4 Resultado determinación de parámetros de calidad de agua

Los resultados obtenidos fueron realizados en el laboratorio de aguas de la UPS del campus sur, se comparan con la normativa ambiental del TULSMA, Libro VI, Anexo 1: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua; donde se muestran los límites permisibles para la preservación de la vida acuática en recursos de agua dulce.

Tabla 9

Resultados de los parámetros de calidad de agua

| | | DBO5 | DQO | Fosfatos | Nitratos | Sol Sus Tot | pH | Temperatura | Conductividad | Turbidez | OD |
|------------------|--------------|------|------|----------|----------|----------------|------|-------------|---------------|----------|------|
| | | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | g/L | | °C | mS/cm | NTU | mg/L |
| Octubre | Repetición 1 | 344 | 40 | 1,31 | 8,20 | 0,008 | 7,67 | 18,70 | 0,70 | 1,03 | 8,7 |
| | Repetición 2 | 168 | 250 | 1,44 | 6,00 | 0,018 | 7,76 | 17,40 | 0,72 | 2,87 | 8,26 |
| | Repetición 3 | 244 | 57 | 1,35 | 6,90 | 0,024 | 7,63 | 16,80 | 0,49 | 0,75 | 8,44 |
| Noviembre | Repetición 1 | 292 | 79 | 0,21 | 3,90 | 0,162 | 7,93 | 15,50 | 1,05 | 1,94 | 7,87 |
| | Repetición 2 | 284 | 243 | 0,26 | 7,40 | 0,158 | 7,91 | 16,10 | 0,95 | 2,55 | 8,26 |
| | Repetición 3 | 220 | 46 | 0,50 | 13,90 | 0,152 | 8,02 | 16,40 | 0,60 | 1,57 | 8,34 |
| Diciembre | Repetición 1 | 856 | 684 | 0,02 | 3,50 | 0,140 | 7,7 | 19,70 | 0,62 | 3,81 | 9,58 |
| | Repetición 2 | 712 | 1217 | 0,03 | 11,50 | 0,144 | 7,92 | 19,50 | 0,48 | 10,58 | 7,14 |
| | Repetición 3 | 420 | 755 | 0,06 | 5,50 | 0,124 | 7,62 | 18,80 | 0,59 | 3,09 | 8,73 |
| Enero | Repetición 1 | 322 | 159 | 0,36 | 3,40 | 0,145 | 7,24 | 17,50 | 0,65 | 2,45 | 8,65 |
| | Repetición 2 | 220 | 278 | 0,41 | 6,80 | 0,172 | 7,98 | 17,10 | 0,46 | 2,68 | 8,24 |
| | Repetición 3 | 398 | 210 | 0,78 | 5,20 | 0,158 | 7,62 | 16,80 | 0,51 | 2,86 | 9,12 |

Nota: Resultados del agua por repetición y mes de estudio. Elaborado por Daniela Albán (2024).

4.4.1 Comparación de la calidad del agua vs la norma ambiental vigente

Los límites permisibles que se presentan tienen como finalidad conservar la diversidad vital de los ecosistemas, evitando alteraciones en los mismos. También permite que exista reproducción, supervivencia, crecimiento, obtención y utilización de las especies acuáticas.

Tabla 10

Análisis de resultados de parámetros calidad del agua y normativa ambiental del TULSMA.

Límites de Calidad Admisibles preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces.

| Parámetro | Mes | Resultado | Límite Máximo permisible | Observaciones |
|---|-----------|-----------|--------------------------|--|
| <i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) mg/L</i> | Octubre | 252 | 20 | <i>No cumplen con la normativa ambiental</i> |
| | Noviembre | 265 | | |
| | Diciembre | 663 | | |
| | Enero | 313 | | |
| <i>Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg/L</i> | Octubre | 116 | 40 | <i>No cumplen con la normativa ambiental</i> |
| | Noviembre | 123 | | |
| | Diciembre | 885 | | |
| | Enero | 216 | | |
| <i>Nitratos mg/L</i> | Octubre | 7,03 | 13 | <i>Cumplen con la normativa ambiental</i> |
| | Noviembre | 8,40 | | |
| | Diciembre | 6,83 | | |
| | Enero | 5,13 | | |

| | | | | |
|---|-----------|--------|---|--|
| <i>Sólidos suspendidos totales mg/L</i> | Octubre | 16,67 | <i>máx. incremento de 10% de la condición natural</i> | <i>No cumplen con la normativa ambiental</i> |
| | Noviembre | 157,33 | | |
| | Diciembre | 136,00 | | |
| | Enero | 158,33 | | |
| <i>pH</i> | Octubre | 7,69 | 6,5-9 | <i>Cumplen con la normativa ambiental</i> |
| | Noviembre | 7,95 | | |
| | Diciembre | 7,75 | | |
| | Enero | 7,61 | | |
| <i>Temperatura °C</i> | Octubre | 17,63 | <i>Condición natural +5</i> | <i>Cumplen con la normativa ambiental</i> |
| | Noviembre | 16 | | |
| | Diciembre | 19,33 | | |
| | Enero | 17,13 | | |
| <i>Turbidez NTU</i> | Octubre | 1,55 | <i>Condición natural más 5%,</i> | <i>No cumplen con la normativa ambiental</i> |
| | Noviembre | 2,02 | | |
| | Diciembre | 5,83 | | |
| | Enero | 2,66 | | |
| <i>Oxígeno Disuelto % de saturación</i> | Octubre | 88,19 | >80 | <i>Cumplen con la normativa ambiental</i> |
| | Noviembre | 82,39 | | |
| | Diciembre | 91,22 | | |
| | Enero | 89,38 | | |

Nota: Cumplimiento de la normativa ambiental del TULSMA. Elaborado por Daniela Albán

Los parámetros DQO, DBO5, turbidez y SST no cumplen con la normativa, debido a que en la zona donde se realizó el muestreo existe la presencia descomposición de materia orgánica natural y ganado vacuno, además es un lugar intermedio en el río donde llegan vertidos agrícolas provenientes de haciendas y también pocos vertidos industriales como la Lechera Aguasblancas (Ballard et al., 2021)

Por otra parte, los parámetros de pH, temperatura y nitratos cumplen con la normativa, sin embargo, visualmente el río San Pedro en el área cercana a la estación hidrográfica, está en mal estado (contaminado) y no se observó la presencia de organismos acuáticos.

En el caso del Oxígeno Disuelto sus resultados fueron medidos en mg/L, sin embargo, para conocer si cumplen con la normativa, se necesitó que estos valores estén en porcentajes de saturación es por ello que se utiliza la siguiente formula:

$$\% \text{ de saturacion} = \frac{\text{Oxigeno Disuelto medido}}{100\% \text{ oxigeno disuelto}} * 100$$

Para lograr la concentración de oxígeno disuelto correspondiente a una saturación del 100% se utiliza la una tabla (Anexo 4) donde se toma en cuenta la temperatura anotada (y la presión barométrica normal). Esta solo será para recursos hídricos de agua dulce.

Una vez calculado el % de saturación que ya se muestran en la Tabla 9; se determina que efectivamente este si cumple con los límites permisibles.

Según (Guayasamín & Padilla, 2023) en su estudio, determinaron los parámetros de calidad de agua en los meses de diciembre y abril, en el Rio San Pedro, parroquia de San pedro de Taboada, cantón Rumiñahui, sus valores promedio obtenidos de los dos meses fueron altos en DBO5 > 70 y DQO >140, incumpliendo con la normativa del TULSMA, en relación con el pH, temperatura y

sólidos disueltos en comparación con esta normativa ambiental si cumplen con los límites permisibles. Junto con los resultados obtenidos en este estudio se puede deducir que a lo largo del río San Pedro existe alta contaminación, pues este cruza por varias zonas residenciales, industriales, agrícolas, comerciales, que son fuentes de contaminación.

4.5 Resultado de análisis estadístico ANOVA

Los resultados adquiridos de los parámetros físico-químicos nos permiten realizar el diseño estadístico ANOVA, donde tendremos a los parámetros como variable dependiente y como variable independiente los meses que se hizo el estudio, se tomó en cuenta tres repeticiones que fueron alzar en puntos y en horarios.

Tabla 11

Análisis estadístico ANOVA

| Parámetros | Oct. | Nov. | Dic. | Ene. | Valor_p _Prueba DW | Independ encia | P_valor | F | Diferencias significativas TUKEY |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------------------------|-------------------|----------|---------|--|
| DBO5. | 252.00 | 265.00 | 663.00 | 313.00 | 0.344 | Existe | 0.0135 | 6.821 | Existe entre dos o más grupos |
| DQO | 116.00 | 123.00 | 885.00 | 216.00 | 0.894 | Existe | 0.0013 | 14.645 | Existe entre dos o más grupos |
| Fosfatos | 1.37 | 0.32 | 0.04 | 0.52 | 0.089 | Existe | 1.82e-05 | 48.199 | Existe entre dos o más grupos |
| Nitratos | 7.03 | 8.40 | 6.83 | 5.13 | 0.783 | Existe | 0.72 | 0.456 | No existe entre los grupos |
| SST | 0.02 | 0.16 | 0.14 | 0.16 | 0.201 | Existe | 2.74e-07 | 142.992 | Existe entre dos o más grupos |
| pH | 7.69 | 7.95 | 7.75 | 7.61 | 0.684 | Existe | 0.283 | 1.5164 | No existe entre los grupos |

| Parámetros | Oct. | Nov. | Dic. | Ene. | Valor_p _Prueba DW | Independencia | P_valor | F | Diferencias significativas TUKEY |
|------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|---------------|---------|-------|--|
| Temperatura | 17.63 | 16.00 | 19.33 | 17.13 | 0.005 | No existe | ----- | ----- | ----- |
| Conductividad | 0.64 | 0.87 | 0.56 | 0.54 | 0.672 | Existe | 0.0915 | 3.061 | No existe entre los grupos |
| Turbidez | 1.55 | 2.02 | 5.83 | 2.66 | 0.963 | Existe | 0.144 | 2.389 | No existe entre los grupos |
| Oxígeno Disuelto | 8.47 | 8.16 | 8.48 | 8.67 | 0.819 | Existe | 0.828 | 0.295 | No existe entre los grupos |

Nota: Datos medios de cada mes de estudio junto con la prueba de Durbin-Watson, P_valor, F_valor y determinación de diferencia significativa Tukey. Elaborado por Daniela Albán

Se realizó una prueba de Durbin-Watson donde se determina si existe o no autocorrelación entre los datos de cada parámetro, en función a un nivel de significancia del 5%. Los parámetros donde existe independencia se realiza el análisis de varianza ANOVA, mientras los que no existe independencia no se realiza este análisis, en este caso es la temperatura donde su Valor_P (0.005) es menor al 5%.

El P-valor brinda información sobre la validación de la hipótesis formulada y la toma de decisiones, basándose en el nivel de significancia del 5%.

El resultado de los parámetros (DBO5, DQO, Fosfatos y Sólidos Suspendidos Totales) por cada mes de estudio indica un p-valor menor 0.05, lo que conlleva al rechazo la hipótesis nula H_0 y aceptar la hipótesis alterna H_A . Para los parámetros (Nitratos, pH, Conductividad, Turbidez y Oxígeno Disuelto) donde su p-valor es mayor 0.05 lo implica aceptar la hipótesis nula.

Los parámetros que rechazan la hipótesis nula; mediante la Post-hoc Testing (TUKEY) se determina si existe diferencias significativas entre los meses de estudio:

- En la DBO5 existe diferencias significativas entre los meses Enero-Diciembre con un p-valor ajustado de 0.043, Noviembre-Diciembre con 0.023 y Octubre-Diciembre con 0.019 que son valores menores al nivel de significancia
- En la DQO existe diferencias significativas entre los meses Enero-Diciembre con un p-valor ajustado de 0.005, Noviembre-Diciembre con 0.002 y Octubre-Diciembre con 0.002, valores menores al nivel de significancia
- En Fosfatos existe diferencias significativas entre los meses Enero-Diciembre con un p-valor ajustado de 0.014, Octubre-Diciembre con 0.00001, Octubre-Enero con 0.0003 y Octubre-Noviembre 0.00008, valores menores al nivel de significancia.
- En sólidos suspendidos totales existe diferencias significativas entre los meses Octubre-Diciembre con un p-valor ajustado de 1.964×10^{-6} , Octubre-Enero 4.929×10^{-7} y Octubre-Noviembre 5.239×10^{-7} , valores menores al nivel de significancia.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El caudal ecológico que se determinó en la estación hidrográfica “San Pedro en Machachi H0159” de la microcuenca del Río San Pedro, mediante el método de Tennant en estudio fue la categoría MÍNIMA, es decir 10%. Este caudal es apropiado para conservar la

supervivencia de la mayor parte de las especies de vida acuática, sin embargo, los resultados obtenidos de la calidad de agua en los análisis de laboratorio muestran que no es apta para la preservación de la misma, pues en base a la observación in situ y la investigación bibliográfica realizada, se determinó que existe la presencia de contaminantes industriales, domésticos y provenientes de la agricultura y ganadería.

- Según el análisis exploratorio realizado, existió datos faltantes sin sobrepasar el 10% es por ello que se completó con media aritmética, y mediante la estadística resumida se obtiene un caudal mínimo de 0,2788 y un caudal máximo de 15,6737, en el período de estudio de 24 años.
- El uso de Rstudio para la determinación del caudal ecológico fue importante, permite la visualización de gráficos, tablas y resultados estadísticos, mediante el manejo de códigos de programación, el caudal ecológico establecido fue 0,2584 m/s para la época de estiaje y 0,5223 m/s para la época de avenida.
- Los resultados obtenidos de parámetros de calidad de agua muestran que el agua presenta contaminación, se obtuvo valores muy altos en DBO5, DQO, Sólidos suspendidos totales y Turbidez, sobrepasando con lo estipulado en la normativa ambiental TULSMA, y estableciendo que el Río San Pedro no presenta un ambiente favorable para mantener la vida acuática

5.2 Recomendaciones

- Para determinar el caudal ecológico también hay que tener en cuenta la calidad del agua pues si el río presenta contaminación, este no sería adecuado para la preservación acuática.

ya que un río puede presentar un caudal ecológico bueno, pero si este contiene altos índices de contaminación, este no sería apropiado para mantener un entorno favorable para la diversidad de flora y fauna acuática.

- Es de gran importancia conocer que los caudales ecológicos determinados por el método de Tennant y que la Normativa Ecuatoriana no considera las propiedades biológicas en medios acuáticos, ni las extensiones; es por ello, se debe realizar verificaciones de campo para asegurar que los caudales sean adecuados para conservar la ecología de los ríos.
- Se recomienda al INAMHI tener en cuenta la actualización de caudales diarios. La falta de información hidrológica se considera la principal limitante en el diseño de los regímenes de caudales, pues con la información seleccionada que se proporciona solo se puede obtener aproximaciones temporales o estacionales.
- Los pobladores cercanos a la zona de estudio son conscientes de que el río está altamente contaminado, por ello es necesario crear concientización en las personas que están en contacto con el río para promover la protección de este y disminuir la contaminación que afecta directamente a la vida acuática.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Acreman, M., & Dunbar, M. J. (2004). Defining environmental river flow requirements - A review. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(5), 861–876. <https://doi.org/10.5194/hess-8-861-2004>
- Ávalos, H. C., Alcántar, A. G., Mora, I. D. G., López, R. F. P., & Patrón, E. R. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*.
- Avilés, E. (2018). *Río San Pedro*. Enciclopedia Ecuador. <https://www.encyclopediadelecuador.com/>
- Ballard, B., Bressner, G., Garay, N., & Nicolas, C. (2021). *RÍO SAN PEDRO*. Kingue, adventure school. <https://www.kingue-edu.org/rio-san-pedro#>
- Brown, O., Gallardo, Y., Williams, P., & Torres, Y. (2016). *Caudal ecológico del río Chambas en la provincia Ciego de Ávila*. XXXVII(1), 58–71.
- Castro Heredia, L. M., Escobar, Y., & Durango, E. A. (2006). *Enfoques Teóricos para definir el caudal ambiental* (Vol. 10, Número 2).
- Código Orgánico Del Ambiente, Registro Oficial Suplemento 983 92 (2017). http://gobiernoabierto.quito.gob.ec/Archivos/Transparencia/2017/07julio/A2/ANEXOS/PR OCU_CODIGO_ORGANICO_ADMINISTRATIVO.pdf
- Constitución de la República del Ecuador, 219 (2008). <https://doi.org/10.17163/alt.v2n2.2007.04>
- Diez, J. M. (2006). Evaluación Hidro-Ecológica De Caudales Ambientales: Metodología IFIM. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 5, 66–72.
- Dingman, S. L. (2015). *Physical Hydrology*.
- Escobar, J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. En *CEPAL-SERIE Recursos naturales e infraestructura* (Vol. 50).
- GAD Mejía. (2020). *Actualización Del Pdot De Mejía 2019-2023*. <https://municipiodemejia.gob.ec/assets/PDOT.pdf>
- García de Jalón, D., & González del Tánago, M. (1984). *El Concepto De Caudal Ecológico Y Criterios Para Su Aplicación En Los Ríos Españoles*. <http://ocw.um.es/ciencias/ecologia/ejercicios-proyectos-y-casos-1/jalon-tanago-1998.pdf>

- Gobierno Autónomo Descentralizado Mejía. (2015). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. En *Actualización Del Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial*. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1060022310001_Diagnóstico DOCUMENTO LA CAROLINA final OK_30-10-2015_22-25-51.pdf
- Guayasamín, W. & Padilla, S. (2023). *Elaboración de un plan de manejo ambiental para la conservación de la microcuenca del río san pedro, parroquia de San Pedro de Taboada, cantón Rumiñahui, provincia de pichincha*. [Universidad Politécnica Salesiana]. En *Tesis*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25866/1/TTS1505.pdf>
- Hanna Bolivia (s.f.) Todo sobre el oxígeno disuelto (OD). Hanna Instruments <https://www.hannabolivia.com/blog/post/492/todo-sobre-el-oxigeno-disuelto-od>
- IDEAM. (2017). *Instructivo De Ensayo. Determinación De Demanda Bioquímica De Oxígeno 5 Días, Incubación Y Electrometría. SM 5210B*.
- 097-A Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria, 184 (2015). <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112183.pdf> http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/norma_ecuato_calidad.pdf
- Martínez, S., & Barrero, I. (2018). *Evaluación de las condiciones de Calidad del Agua, para la Formulación de estrategias de Aprovechamiento y Conservación de la microcuenca Quebrada La Argentina, Villavicencio – Meta*. Universidad Santo Tomàs.
- Ley De Recursos hídricos Usos Y Aprovechamientos Del Agua, 32 (2014). <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/LEYD-E-RECURSOS-HIDRICOS-II-SUPLEMENTO-RO-305-6-08-204.pdf>
- Moreno Ronquillo, M. (2008). *Metodología Y Determinación De Caudales Ambientales En La Cuenca Del Río Pastaza* [Escuela Politécnica Nacional]. En *Tesis*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/722/1/CD-1666%282008-09-15-10-49-27%29.pdf>
- Ordóñez, J. (2011). ¿Qué Es Cuenca Hidrológica? En *Sociedad a Geológica de Lima* (Vol. 1). http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Cuenca_hidrologica.pdf

- Oyola, T. (2017). *Propuesta metodológica para estimación de caudal ecológico en fuentes superficiales* [Universidad Técnica de Machala]. [http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/18404/1/tesis-010 Gestión de Empresas Agrícolas y manejo de poscosecha -CD 338.pdf](http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/18404/1/tesis-010_Gestión_de_Empresas_Agrícolas_y_manejo_de_poscosecha_-CD_338.pdf)
- Pilalumbo, J. J. (2020). *Estudio de la Calidad de Agua del Río San Pedro, Ubicado Portada dentro del Distrito Metropolitano de Quito en el Período 2013-2019* (Vol. 1) [Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6898/1/UTC-PIM-000246.pdf>
- Poff, N. L. R., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegard, K. L., Richter, B. D., Sparks, R. E., & Stromberg, J. C. (1997). The natural flow regime: A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience*, 47(11), 769–784. <https://doi.org/10.2307/1313099>
- Rojas Vasquez, D. R., & Tarambis Enriquez, H. D. (2012). *Bases de diseño de estructuras en diques transversales para la captación y tránsito del caudal ecológico*. Escuela Politecnica Nacional.
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172–181. <https://doi.org/10.1002/cber.19911241016>
- Sánchez San Ramon, J. (2013). *Curvas de caudales clasificados*.
- Santacruz De León, G., & Aguilar-Robledo, M. (2009). Estimación de los caudales ecológicos en el Río Valles con el método Tennant Estimates of ecological flows in the Río Valles with the Tennant method. *Hidrobiológica*, 19(1), 25–32.
- Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). *Cuencas Hidrográficas*.
- Villón Béjar, M. (2004). *Hidrología* (Instituto Tecnológico de Costa Rica, Ed.). https://books.google.es/books?id=-JjGDwAAQBAJ&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- WWF. (2009). *Propuesta de caudal ecológico en la cuenca San Pedro-Mezquital de disponibilidad de aguas superficiales*.

7 ANEXOS

Anexo I

Modelo de la encuesta.

| Universidad Politécnica Salesiana CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL ENCUESTA | | | |
|---|---|---|-------------------------------|
| <p>Reciba un cordial saludo, mi nombre es Daniela Albán, estudiante de la carrera de ingeniería ambiental, el motivo de mi encuesta es averiguar acerca de la calidad del agua en el río San Pedro, en la zona cerca de la estación hidrológica H0159, con el fin de obtener información acerca del estado de conservación del río.</p> | | | |
| <p>1. <i>Considera usted, ¿que el agua del río San Pedro en esta zona es un agua limpia?</i></p> | | | |
| <input type="checkbox"/> Si, es agua limpia | <input type="checkbox"/> No, presenta contaminación | <input type="checkbox"/> Varía según la época | |
| <p>2. <i>¿Cómo califica la transparencia y pureza del agua del río, en esta área?</i></p> | | | |
| <input type="checkbox"/> Excelente | <input type="checkbox"/> Buena | <input type="checkbox"/> Regular | <input type="checkbox"/> Mala |
| <p>3. <i>Ha notado residuos o espumas flotando en la superficie del río</i></p> | | | |
| <input type="checkbox"/> Con frecuencia | <input type="checkbox"/> Ocasionalmente | <input type="checkbox"/> Nunca | |
| <p>4. <i>Considera que la presencia de residuos sólidos en el río es perjudicial para la vida acuática</i></p> | | | |
| <input type="checkbox"/> Si, considerablemente | <input type="checkbox"/> No está relacionado | <input type="checkbox"/> No estoy seguro | |
| <p>5. <i>Ha notado algún cambio en la cantidad de flora y fauna acuática en el río, en los últimos años</i></p> | | | |
| <input type="checkbox"/> Aumento | <input type="checkbox"/> Disminución | <input type="checkbox"/> Sin cambios | |
| <p>6. <i>Si existe gran contaminación en el río, usted conoce a quien reportar el problema</i></p> | | | |
| <input type="checkbox"/> Si, GAD parroquial | <input type="checkbox"/> Si, organizaciones ambientales | <input type="checkbox"/> No conozco | |
| <p>7. <i>Conoce usted cual es la principal fuente de contaminación del río</i></p> | | | |
| <input type="checkbox"/> Descargas que provienen de industrias | <input type="checkbox"/> Residuos sólidos urbanos | <input type="checkbox"/> Agricultura y ganadería | |
| <p>8. <i>Usted utiliza el agua del río para actividades domésticas, agricultura y ganadería</i></p> | | | |
| <input type="checkbox"/> Si, con frecuencia | <input type="checkbox"/> Si, ocasionalmente | <input type="checkbox"/> No, utilizo agua potable | |
| <p>9. <i>Considera que las autoridades parroquiales brindan cuidado al río San Pedro</i></p> | | | |
| <input type="checkbox"/> Si | <input type="checkbox"/> No, en absoluto | <input type="checkbox"/> Desconozco | |
| <p>10. <i>Conoce si anteriormente se han realizado campañas de concientización para la conservación del río</i></p> | | | |
| <input type="checkbox"/> Si | <input type="checkbox"/> No, en absoluto | <input type="checkbox"/> Desconozco | |
| <p>11. <i>Participaría en las campañas de concientización y en actividades para conservar el río</i></p> | | | |
| <input type="checkbox"/> Si, efectivamente | <input type="checkbox"/> No estoy interesado | <input type="checkbox"/> No estoy seguro | |
| <p>12. <i>Por quien considera usted que se debería realizar estas campañas</i></p> | | | |
| <input type="checkbox"/> Autoridades Parroquiales | <input type="checkbox"/> Organizaciones ambientales | <input type="checkbox"/> Pobladores | |

Nota: Encuesta propuesta para pobladores cercanos a la zona. Elaborado por Daniela Albán (2024)

Anexo 2

Recopilación de datos hidrológicos.

| Año | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1995 | 3,019 | 2,497 | 2,747 | 4,212 | 4,030 | 3,349 | 2,400 | 2,984 | 1,894 | 2,475 | 3,743 | 2,981 |
| 1996 | 4,038 | 7,499 | 9,257 | 9,179 | 8,248 | 5,007 | 3,573 | 2,436 | 2,125 | 2,493 | 2,522 | 2,660 |
| 1997 | 3,708 | 4,986 | 3,575 | 3,185 | 3,674 | 4,329 | 2,097 | 1,580 | | 2,287 | 4,550 | 4,099 |
| 1998 | 3,193 | 3,746 | 5,421 | 8,629 | 8,819 | 4,098 | 2,364 | 1,932 | 2,078 | 2,955 | 3,951 | 2,628 |
| 1999 | 3,529 | 6,601 | 7,751 | 7,632 | 7,006 | 5,406 | 2,878 | 1,654 | 3,426 | 3,756 | 3,293 | 6,205 |
| 2000 | 8,690 | 9,281 | 5,492 | 12,775 | 15,674 | 12,467 | 5,828 | 3,166 | 4,284 | 2,840 | 2,122 | 2,149 |
| 2001 | 3,843 | 2,645 | 4,309 | 3,965 | 2,020 | 1,420 | 0,821 | 0,465 | 0,586 | 0,526 | 0,629 | 1,084 |
| 2002 | 1,103 | 0,924 | | 2,483 | 1,447 | 1,273 | 0,395 | 0,279 | 0,450 | 0,787 | 1,810 | 1,763 |
| 2003 | 1,285 | | | | | | 2,175 | 1,008 | 1,339 | 2,262 | 3,092 | 2,986 |
| 2004 | 1,687 | 0,912 | 0,911 | 1,648 | 3,457 | 1,748 | 0,942 | 0,616 | 0,868 | 1,519 | 2,121 | 2,349 |
| 2005 | 1,344 | 1,577 | 3,641 | 4,152 | 3,400 | 0,984 | 0,760 | 1,404 | 1,555 | 2,193 | 2,724 | 3,081 |
| 2006 | 2,979 | 7,092 | 6,044 | 5,803 | 3,271 | 5,379 | 1,143 | 0,854 | 1,084 | 1,011 | 2,602 | 5,528 |
| 2007 | 3,849 | 2,269 | 4,895 | 11,489 | 7,300 | 5,548 | 2,574 | 2,127 | 1,988 | 2,746 | 3,819 | 4,604 |
| 2008 | 6,159 | 7,031 | 12,145 | 14,752 | 13,926 | 10,728 | 7,378 | 3,986 | 4,202 | 5,870 | 8,528 | 6,668 |
| 2009 | 14,351 | 13,263 | 8,509 | 6,647 | 4,691 | 3,874 | 2,604 | 1,593 | 1,320 | 1,555 | 1,762 | 2,151 |
| 2010 | 1,804 | 2,097 | 2,373 | 5,462 | 4,580 | 3,890 | 4,688 | 2,742 | 2,630 | 2,416 | 3,137 | 5,645 |
| 2011 | 7,316 | 8,337 | 5,866 | 11,989 | 7,157 | 4,811 | 3,997 | 2,987 | 2,244 | 3,136 | 2,286 | 3,478 |
| 2012 | 6,436 | 7,731 | 7,146 | 8,495 | 6,257 | 3,149 | 2,261 | 1,946 | 2,119 | 2,578 | 3,681 | 2,954 |
| 2013 | 2,459 | 4,014 | 4,332 | 3,940 | 4,656 | 3,354 | 2,069 | 2,006 | 1,916 | 2,989 | 2,952 | 2,520 |
| 2014 | 2,788 | 3,526 | 4,487 | 4,060 | 5,780 | 4,177 | 2,337 | 1,666 | 2,063 | 3,011 | 2,617 | 2,489 |
| 2015 | 2,700 | 2,634 | 2,884 | 4,231 | 4,348 | 2,679 | 2,089 | 1,826 | 1,923 | 2,412 | 3,205 | 2,507 |
| 2016 | | | | | | | | | | | | |
| 2017 | | | | | | | | | | | | |
| 2018 | | | | | | | | | | | | |

Nota: Base de datos de caudales medios mensuales. Elaborado por Daniela Albán (2024)

Anexo 3

Completación por el método de la media aritmética y proyección de datos hidrológicos.

| Año | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1995 | 3,019 | 2,497 | 2,747 | 4,212 | 4,030 | 3,349 | 2,400 | 2,984 | 1,894 | 2,475 | 3,743 | 2,981 |
| 1996 | 4,038 | 7,499 | 9,257 | 9,179 | 8,248 | 5,007 | 3,573 | 2,436 | 2,125 | 2,493 | 2,522 | 2,660 |
| 1997 | 3,708 | 4,986 | 3,575 | 3,185 | 3,674 | 4,329 | 2,097 | 1,580 | 1,994 | 2,287 | 4,550 | 4,099 |
| 1998 | 3,193 | 3,746 | 5,421 | 8,629 | 8,819 | 4,098 | 2,364 | 1,932 | 2,078 | 2,955 | 3,951 | 2,628 |
| 1999 | 3,529 | 6,601 | 7,751 | 7,632 | 7,006 | 5,406 | 2,878 | 1,654 | 3,426 | 3,756 | 3,293 | 6,205 |
| 2000 | 8,690 | 9,281 | 5,492 | 12,775 | 15,674 | 12,467 | 5,828 | 3,166 | 4,284 | 2,840 | 2,122 | 2,149 |
| 2001 | 3,843 | 2,645 | 4,309 | 3,965 | 2,020 | 1,420 | 0,821 | 0,465 | 0,586 | 0,526 | 0,629 | 1,084 |
| 2002 | 1,103 | 0,924 | 5,162 | 2,483 | 1,447 | 1,273 | 0,395 | 0,279 | 0,450 | 0,787 | 1,810 | 1,763 |
| 2003 | 1,285 | 4,958 | 5,162 | 6,656 | 5,902 | 4,493 | 2,175 | 1,008 | 1,339 | 2,262 | 3,092 | 2,986 |
| 2004 | 1,687 | 0,912 | 0,911 | 1,648 | 3,457 | 1,748 | 0,942 | 0,616 | 0,868 | 1,519 | 2,121 | 2,349 |
| 2005 | 1,344 | 1,577 | 3,641 | 4,152 | 3,400 | 0,984 | 0,760 | 1,404 | 1,555 | 2,193 | 2,724 | 3,081 |
| 2006 | 2,979 | 7,092 | 6,044 | 5,803 | 3,271 | 5,379 | 1,143 | 0,854 | 1,084 | 1,011 | 2,602 | 5,528 |
| 2007 | 3,849 | 2,269 | 4,895 | 11,489 | 7,300 | 5,548 | 2,574 | 2,127 | 1,988 | 2,746 | 3,819 | 4,604 |
| 2008 | 6,159 | 7,031 | 12,145 | 14,752 | 13,926 | 10,728 | 7,378 | 3,986 | 4,202 | 5,870 | 8,528 | 6,668 |
| 2009 | 14,351 | 13,263 | 8,509 | 6,647 | 4,691 | 3,874 | 2,604 | 1,593 | 1,320 | 1,555 | 1,762 | 2,151 |
| 2010 | 1,804 | 2,097 | 2,373 | 5,462 | 4,580 | 3,890 | 4,688 | 2,742 | 2,630 | 2,416 | 3,137 | 5,645 |
| 2011 | 7,316 | 8,337 | 5,866 | 11,989 | 7,157 | 4,811 | 3,997 | 2,987 | 2,244 | 3,136 | 2,286 | 3,478 |
| 2012 | 6,436 | 7,731 | 7,146 | 8,495 | 6,257 | 3,149 | 2,261 | 1,946 | 2,119 | 2,578 | 3,681 | 2,954 |
| 2013 | 2,459 | 4,014 | 4,332 | 3,940 | 4,656 | 3,354 | 2,069 | 2,006 | 1,916 | 2,989 | 2,952 | 2,520 |
| 2014 | 2,788 | 3,526 | 4,487 | 4,060 | 5,780 | 4,177 | 2,337 | 1,666 | 2,063 | 3,011 | 2,617 | 2,489 |
| 2015 | 2,700 | 2,634 | 2,884 | 4,231 | 4,348 | 2,679 | 2,089 | 1,826 | 1,923 | 2,412 | 3,205 | 2,507 |
| 2016 | 4,501 | 5,071 | 3,922 | 6,093 | 5,354 | 11,612 | 2,817 | 1,823 | 1,922 | 2,974 | 3,095 | 3,316 |
| 2017 | 4,575 | 5,125 | 3,930 | 6,123 | 5,338 | 2,582 | 2,838 | 1,833 | 1,920 | 2,996 | 3,103 | 3,334 |
| 2018 | 4,648 | 5,179 | 3,937 | 6,152 | 5,322 | 1,473 | 2,858 | 1,843 | 1,919 | 3,018 | 3,110 | 3,352 |

Nota: Base de datos completa para obtener el caudal ecológico. Elaborado por Daniela Alban 2024

Anexo 4

Concentración de Oxígeno Disuelto

| temperatura (°C) | OD (mg/l) | temperatura (°C) | OD (mg/l) |
|------------------|-----------|------------------|-----------|
| 0 | 14.6 | 16 | 9.9 |
| 1 | 14.2 | 17 | 9.7 |
| 2 | 13.8 | 18 | 9.6 |
| 3 | 13.5 | 19 | 9.3 |
| 4 | 13.1 | 20 | 9.1 |
| 5 | 12.8 | 21 | 8.9 |
| 6 | 12.5 | 22 | 8.7 |
| 7 | 12.1 | 23 | 8.6 |
| 8 | 11.8 | 24 | 8.4 |
| 9 | 11.6 | 25 | 8.3 |
| 10 | 11.3 | 26 | 8.1 |
| 11 | 11.0 | 27 | 8.0 |
| 12 | 10.8 | 28 | 7.8 |
| 13 | 10.5 | 29 | 7.7 |
| 14 | 10.3 | 30 | 7.6 |
| 15 | 10.1 | 31 | 7.5 |

Nota: Concentración de oxígeno disuelto equivalente a un grado de saturación del 100% para la temperatura anotada y la presión barométrica normal. Solo para agua dulce. Tomado de: (Hanna Bolivia, s.f.)

Anexo 5

Límites admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.

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

⁽¹⁾ Aluminio: Si el pH es menor a 6,5 el criterio de calidad será 0,005 mg/l
⁽²⁾ Aplicar la Tabla 2a como criterio de calidad para agua dulce
⁽³⁾ Si sobrepasa el criterio de calidad se debe analizar el diclorofenol cuyo criterio de calidad es 0,2 µg/l

Nota: Tomado de: (TULSMA, 2015)

Anexo 6
Equipos usados en laboratorio.

| EQUIPOS DE LABORATORIO | |
|---|--|
|  | Orbeca Hellige – SP600 Spectrophotometer |
|  | Hanna Instruments – HI 83099 |
|  | Sper Scientific – 860040 |
|  | Combo by Hanna - Waterproof |
|  | Horiba Scientific – LAQUA act OM – 71 |
|  | Mettler Toledo |
|  | Bomba de filtración al vacío |

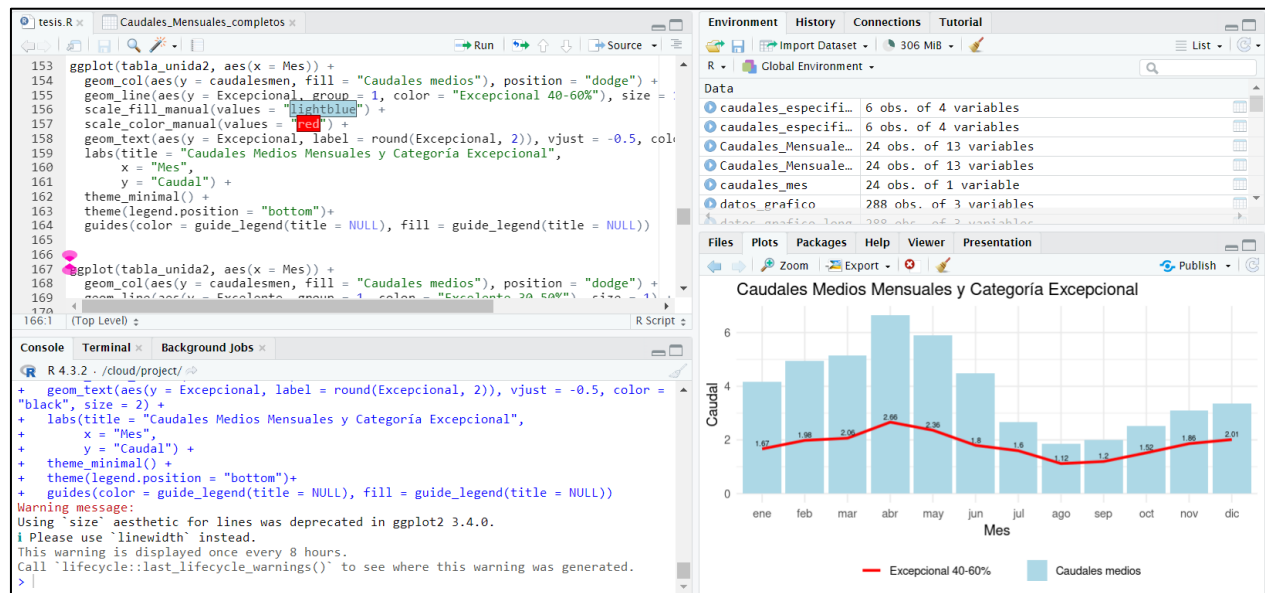
Nota: Elaborado por Daniela Albán (2024)

*Anexo 7
Encuestados.*



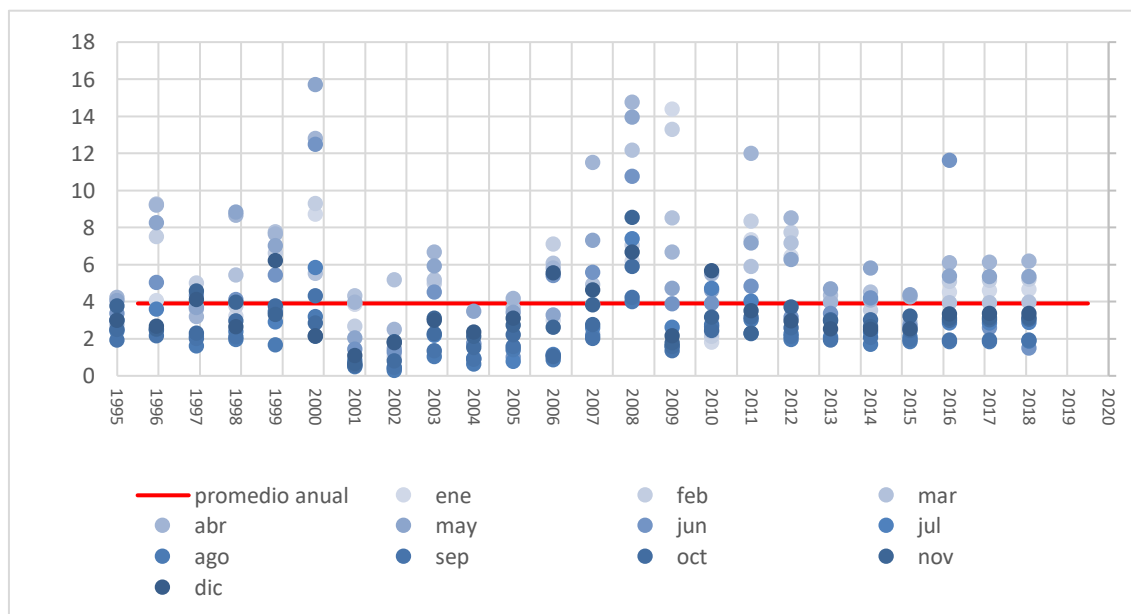
Nota: Elaborado por Daniela Albán (2024)

Anexo 8 Método de Tennant en Rstudio.



Nota: Elaborado por Daniela Albán (2024)

Anexo 9 Variabilidad de caudales por año de estudio.



Nota: Elaborado por Daniela Albán (2024)