Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

"Propuesta de Remediación de la calidad de agua del rio Tejar, ciudad de Otavalo"

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODESARROLLO

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

Línea 4: Gestión Sostenible y Aprovechamiento de los Recursos Naturales

SUBLINEA: Ambiente y Biodiversidad

AUTOR: MAITEB CRISTINA CALDERÓN VARELA

ASESOR: MSc. MORAIMA CRISTINA MERA AGUAS

Ibarra, 26 de junio de 2023

Ibarra, 26 de junio de 2023

MSc. Moraima Cristina Mera Aguas

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigente en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f)……

MSc. Moraima Cristina Mera Aguas

C.C.: 1001743721

PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):



(f)……

MSc. Moraima Cristina Mera Aguas

C.C.: 1001743721



(f)……

Mgs. Paola Alexandra Chávez Guerrero

C.C.:



(f)…… ……

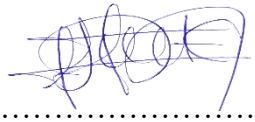
Mgs. Diego Leopoldo Mejía Romo

C.C.:

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo MAITEB CRISTINA CALDERON VARELA, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 de Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derecho de disponer de sus derechos o autorizar de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, 26 de junio de 2023



f): …….

Maiteb Cristina Calderón Varela

C.C.: 100434015-2

AUTORÍA

Yo, MAITEB CRISTINA CALDERÓN VARELA, portador de la cédula de ciudadanía N° 100434015-2, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o accione legales.



f): …….

Maiteb Cristina Calderón Varela

C.C.: 100434015-2

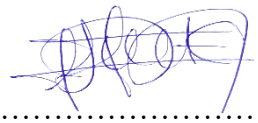
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, MAITEB CRISTINA CALDERON VARELA, con C.C.: 100434015-2, autor del trabajo de grado intitulado: PROPUESTA DE REMEDIACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RIO TEJAR, CIUDAD DE OTAVALO previo a la obtención del título profesional de Licenciatura en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo, en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontifica Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, 26 de junio de 2023



f): …….

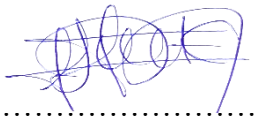
Maiteb Cristina Calderón Varela

C.C.: 100434015-2

DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO EN LA ELABORACIÓN, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación de Proyecto de Titulación: PROPUESTA DE REMEDIACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RIO TEJAR, CIUDAD DE OTAVALO, lo propuesto en el Código de Ética de la investigación y el aprendizaje de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, aprobado por el Consejo Superior de la PUCE con fecha 24 de noviembre de 2021.

Para constancia firma:



f): ……

Maiteb Cristina Calderón Varela
Estudiante que ejecuta el trabajo de Titulación
C.C: 100434015-2
Carrera: Licenciatura en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo

Ibarra, 26 de junio de 2023

DEDICATORIA

Este proyecto investigativo se lo dedico principalmente a mi motor, que con su bella sonrisa ha iluminado mis días de incertidumbre y me ha inspirado a buscar y conseguir todo lo que me proponga, mi preciosa Sarita.

A Dios y a la Virgen María, que me otorgan día a día todas las bendiciones y sobre todo el don de la vida para continuar con todos mis sueños.

A mis padres, Estuardo y Mariana por brindarme su apoyo incondicional en cada uno de los peldaños que me han llevado hasta este proyecto y sobre todo por ser mis guías y primeros maestros en la vida.

A mis hermanos Anita y Diego a mi cuñado Jimmy, por sus palabras de apoyo, a mi sobrina Milly y a mis sobrinitos que vienen en camino por darme motivación.

A mi esposo Bryan, por su apoyo y confianza, por su amor y por brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente.

Maiteb.

AGRADECIMIENTO

Mi más profunda gratitud va dirigida especialmente a Dios y a mi familia, mis padres, mis hermanos, mi esposo y mi pequeña Sarita, quienes me han demostrado que la “familia es donde la vida comienza y el amor nunca termina”, caminando a mi lado en esta bella etapa, brindándome total apoyo, inspiración y cariño.

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, a la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales y, sobre todo a mi estimada Dra. Moraima Mera, tutora de este proyecto, así mismo a todos mis profesores que han compartido conmigo sus conocimientos.

A mis amigas de estudio Joselin, Nicole y Jhoanna, que han recorrido este bello camino a mi lado y que con sus ocurrencias han hecho más llevadero cada paso.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA ..... **VIII**

AGRADECIMIENTO ..... **IX**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **XII**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **XIII**

ÍNDICE DE ANEXOS ..... **XIV**

RESUMEN **1**

ABSTRACT **2**

CAPÍTULO I **3**

INTRODUCCIÓN **3**

CAPÍTULO II **5**

OBJETIVOS **5**

2.1. Objetivo general 5

2.2. Objetivos específicos 5

2.3. Pregunta Directriz 5

CAPÍTULO III **6**

ESTADO DEL ARTE **6**

3.1 Importancia de las fuentes hídricas 6

3.2 Contaminación hídrica 7

3.2.1 Principales contaminantes 8

3.3 Consecuencias de la contaminación del agua 9

3.3.1. Contaminación del agua en el Rio Teja en Otavalo 10

3.4 Calidad de agua 11

3.5. Índice de Calidad de Agua (ICA) 12

3.6. Índice ABI 14

3.7. Remediación de la calidad de Agua 14

CAPÍTULO IV **16**

MATERIALES Y MÉTODOS **16**

4.1. Ubicación del área de estudio 17

4.1.1. ..... Estudio de los suelos 17

4.2. Método de Investigación 20
CAPÍTULO V 26
RESULTADOS Y DISCUSIÓN **26**
5.1. Análisis físico, químico y microbiológico. 26
5.2. Propuesta para mejorar la calidad del agua del río tejar 41
5.2.1. Visón 41
5.2.2. Objetivo 41
5.2.3. Meta 41
5.2.4. Alcance 41
5.2.5. Estrategias 42
5.2.6. Responsables 43
CAPÍTULO VI 44
CONCLUSIONES **44**
CAPÍTULO VII 46
RECOMENDACIONES **46**
CAPÍTULO VIII 47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **47**
ANEXOS **51**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Selección de variables de acuerdo con macrocaracteristicas a medir 13
Tabla 2. Escala de clasificación del ICA 13
Tabla 3. Datos informativos de la Institución 17
Tabla 4. Datos de las muestras recolectadas de los parámetros físico, químico y microbiológicos 22
Tabla 5. Materiales, reactivos y equipos de campo 16
Tabla 6. Resultados de análisis físico – químico y microbiológico realizados durante el mes de julio 35
Tabla 7. Resultados de análisis físico – químico y microbiológico realizados durante el mes de agosto 35
Tabla 8. Resultados de análisis físico – químico y microbiológico realizados durante el mes de septiembre. 36
Tabla 9. Clasificación de macroinvertebrados recolectados en los puntos de muestreo, con su respectiva calificación de acuerdo con el índice Biótico Andino ABI, en la época de menor precipitación 35
Tabla 10. Clasificación de macroinvertebrados recolectados en los puntos de muestreo, con su respectiva calificación de acuerdo con el índice Biótico Andino ABI, en la época de menor precipitación 39
Tabla 11. Calidad de Agua, de acuerdo con el Índice de Calidad de Agua ICA 39
Tabla 12. Calidad de Agua, de acuerdo con el Índice Biótico Andino ABI 40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estudio del suelo 17
Figura 2. Mapa base para análisis de uso de suelo del cantón 17
Figura 3. Comparación entre los resultados obtenidos mes a mes de Solidos totales disueltos (mg/l) 26
Figura 4. Comparación entre los resultados obtenidos mes a mes del Potencial de Hidrógeno (pH) 29
Figura 5. Comparación entre los resultados obtenidos mes a mes de la Conductividad eléctrica (µS) 30
Figura 6. Comparación entre los resultados obtenidos mes a mes de Nitratos NO3 (mg/l) 31
Figura 7. Comparación entre los resultados obtenidos mes a mes de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) mg/l 32
Figura 8. Comparación entre los resultados obtenidos mes a mes de los Fosfatos (PO4) mg/l 33
Figura 9. Comparación entre los resultados obtenidos mes a mes de la Turbiedad (NTU) 34
Figura 10. Comparación entre los resultados obtenidos mes a mes del Oxígeno Disuelto (%) 33
Figura 11. Demanda biologica de oxigeno 36

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Catálogo de macroinvertebrados acuáticos Río Tejar 51
Anexo 2. Tabla de Clasificación de macroinvertebrados 54
Anexo 3. Tabla de valor ABI.....55
Anexo 4. Fotografías in situ 56

RESUMEN

El río Tejar se encuentra situado en la ciudad de Otavalo, provincia de Imbabura, el presente estudio tiene como finalidad realizar la evaluación del estado en el que se encuentra el agua del rio Tejar, el cual cruza gran parte de la ciudad y a través de los años se ha visto seriamente afectado por la contaminación de residuos sólidos, descargas de industrias y demás factores que inciden sobre los índices ICA y ABI. El método utilizado en el presente estudio se estableció un enfoque cuantitativo-descriptivo, mediante estudios de parámetros físicos, químicos y biológicos se estableció la calidad del agua, con esta información se elaboró un plan de remediación de aguas. Los resultados encontrados arrojan que existen presencia de contaminantes que afectan el ecosistema acuático, y por ende inciden sobre el ABI y el ICA. Es importante mencionar que se descubrió que las plantas de tratamiento de aguas residuales que se implementaron en los sectores del camal y fábrica Indutexma influyeron de manera positiva para mitigar el nivel de contaminación.

Palabras clave: Río Tejar, calidad de agua, contaminación del agua, índices ICA y ABI

ABSTRACT

The Tejar river is located in the city of Otavalo, Imbabura province, the purpose of this study is to evaluate the state of the Tejar river water, which crosses a large part of the city and through the years has been seriously affected by solid waste contamination, industrial discharges and other factors that affect the ICA and ABI indices. The method used in this study established a quantitative-descriptive approach, through studies of physical, chemical and biological parameters, the quality of the water was established, with this information a water remediation plan was prepared. The results found show that there is a presence of pollutants that affect the aquatic ecosystem, and therefore affect the ABI and the ICA. It is important to mention that it was discovered that the wastewater treatment plants that were implemented in the slaughterhouse and Indutexma factory sectors had a positive influence to mitigate the level of contamination.

Keywords: Tejar River, water quality, wáter pollution, ICA and ABI indices.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

A través de los años, la contaminación de toda clase de recursos ha repercutido de distintas maneras en la vida humana y silvestre. De acuerdo con el tipo de contaminante (Barceló y López, 2008) mencionan que los daños más destacados son: limitaciones del uso del agua, siendo este un componente fundamental para la vida en todas sus formas, por ende, la contaminación de las fuentes hídricas, de acuerdo con (Bofill, 2005) son las aguas residuales, la adición de otros componentes químicos, descargue de aguas servidas, las cuales en base al estudio denominado Creación de una microempresa comercializadora de tintes textiles biodegradables en Otavalo (Nuñez, 2019), han provocado la contaminación del río Tejar.

Este río atraviesa gran parte central de la ciudad de Otavalo, entre los puntos principales es el mercado y el antiguo camal municipal, este último según el estudio denominado Memoria técnica del tratamiento de Aguas Servidas en el Camal de Otavalo y resultados de la caracterización de efluentes realizado por INBIOTEC realizado en el 2008, descargaba las aguas servidas sin ningún tipo de tratamiento sobre este río (Galarza, 2011). Actualmente, el río posee un color desfavorable y desprende olores desagradables en ciertas horas del día, por lo que los habitantes aledaños a la cuenca del rio concluyen que no ha disminuido los niveles de contaminación. En el año 2011, la consultora COPADE elaboró el resumen ejecutivo del gobierno municipal de Otavalo, en donde se tomaron los datos de varios puntos del afluente, tales como: la quebrada de Santiaguillo, Puente el Batán, Cruce de la Av. Panamericana y muchos otros, en donde se concluyó que el grado de contaminación es muy intenso (Pastillo, 2014).

El río Machángara y el río Tejar aproximadamente recepta 15 mil descargas de aguas residuales, alta de efluentes de industria y un aproximado de 43,5% de las aguas de alcantarilla de los hogares otavaleños (Otavalo, 2012), por ende, en base a la problemática generada en el año en mención se inició con el implementó de un sistema de receptores paralelos, que permite recibir y transportar las aguas residuales a las respectivas plantas de tratamiento. Este estudio investigativo gira en torno al siguiente problema de investigación ¿Cuál es la calidad de agua del rio el Tejar en función a los índices ICA y ABI?, por ende, pretende ser un instrumento que permita visibilizar la realidad ambiental

con el fin de que se establezcan estrategias acordes a la calidad de agua contribuyendo así en la realidad ambiental del Río Tejar y, por ende, al fortalecimiento de Otavalo.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar la calidad de agua del rio El Tejar, ciudad de Otavalo, mediante análisis fisicoquímicos y biológicos para el desarrollo de una propuesta de remediación de la cuenca hidrográfica.

2.2. Objetivos específicos

1. Establecer un plan de muestreo del agua del río el Tejar en puntos de mayor contaminación mediante una cartografía temática para determinar los puntos de muestreo.
2. Evaluar la calidad del agua del río El Tejar mediante los índices fisicoquímicos y biológicos para el establecimiento de la calidad de agua del río.
3. Desarrollar una propuesta de remediación para el río Tejar, que permita minimizar los impactos ambientales para el mejoramiento de la calidad de la fuente hídrica.

2.3. Pregunta Directriz

¿Cuál es la calidad de agua del rio el Tejar en función a los índices ICA y ABI?

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE

3.1 Importancia de las fuentes hídricas

El agua es esencial para la vida en todas sus formas, las actividades humanas dependen casi en su totalidad de este recurso. Desde la antigüedad, las civilizaciones de nuestros antepasados han buscado sus asentamientos cerca de ríos, lagos y demás rutas acuáticas.

Las tres cuartas partes de nuestro planeta están compuestas de agua, según García (2010) los océanos acaparan un 92.7% de volumen, los glaciares un 2.2%, las aguas subterráneas un 0.6%, los ríos y lagos un 0.002% y finalmente, la atmósfera un 0.001%. Dadas las estadísticas, el agua apta para consumo humano es limitada en comparación a la población humana y sus exigencias. La conservación y recuperación de este recurso es esencial para poder saciar las necesidades humanas y animales. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en su informe sobre el agua y el desarrollo sostenible (Organización de las Naciones Unidas, 2018), cerca del 71% de la superficie terrestre está cubierta de agua, pero solo el 2.5% es agua dulce. La disponibilidad de agua dulce es un problema importante en todo el mundo, especialmente en países con baja disponibilidad de agua, como los países en desarrollo. Según el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (ONU, 2018) mencionado ut supra, la falta de acceso a agua potable y saneamiento es un problema grave en muchas partes del mundo y contribuye a la propagación de enfermedades, la pobreza y la falta de desarrollo económico.

En la actualidad, las ciudades con mayor éxito a nivel mundial, como Londres y New York deben su éxito a su facilidad de acceso al agua, en la revolución industrial el agua fue la materia prima principal para el éxito empresarial, es fuente principal de energía en nuestro país y en la mayoría de los países del mundo (Sanz, 2007). Por ende, la importancia de las fuentes hídricas no solo se limita a la satisfacción de las necesidades humanas y económicas, sino también al mantenimiento del equilibrio ecológico.

El agua también juega un papel importante en la producción de alimentos, la industria, la generación de energía, el enfriamiento en la industria, producción de energía hidroeléctrica, es fuente de recursos naturales y aporta en el riego en la agricultura. Los ecosistemas acuáticos, como ríos, lagos, pantanos y humedales, son el hogar de muchas especies de plantas y animales y son vitales para el mantenimiento de la biodiversidad.

3.2 Contaminación hídrica

La contaminación hídrica es la incorporación de materiales ajenos, tales como productos químicos, residuos plásticos, aguas negras, residuos industriales y demás, a la composición general del agua, cambiándola y deteriorándola, además dejando la misma obsoleta para los usos pretendidos. Este tipo de contaminación se produce cuando se vierten productos químicos, materiales orgánicos y desechos industriales en las fuentes hídricas, lo que puede tener consecuencias graves para la salud humana y el medio ambiente. Según el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de Recursos Hídricos (Organización de las Naciones Unidas, 2019), refiere que, en el año 2015, el 65% de la población de América Latina y el Caribe poseía accedo a servicios de agua potable gestionada de forma segura, no obstante, el sólo el 22% a servicios de saneamiento gestionados de forma segura. Así también indica que el 96% de dicha población, utilizó al menos un servicio básico de agua, mientras que el 86% al menos un servicio básico de saneamiento, es decir, que aproximadamente 25 millones de personas se encuentran sin acceso a un servicio básico de agua y 222 millones no poseen servicios de agua potable gestionados de forma segura.

De acuerdo con (Olguín, González, Sánchez, Zamora y Owen, 2010), un 90% de los países en vías de desarrollo descargan sus aguas residuales, tanto de industrias como de los hogares, sin ninguna clase de tratamiento o filtro, y que un 40% de la población recibe agua sin saneamiento. Así también, la baja planificación urbana ha hecho que el estado de los recursos hídricos empeore con los años. Es necesario tomar medidas para reducir la contaminación hídrica y proteger las fuentes de agua dulce en todo el mundo. La implementación de regulaciones más estrictas en la industria y la agricultura, el tratamiento adecuado de los desechos industriales y residenciales, y la promoción de prácticas sostenibles en la producción de alimentos son algunas de las medidas que pueden ayudar a reducir la contaminación hídrica. Por ende, es necesario tomar medidas para reducir la contaminación hídrica y proteger las fuentes de agua dulce en todo el

mundo. La implementación de regulaciones más estrictas en la industria y la agricultura, el tratamiento adecuado de los desechos industriales y residenciales, y la promoción de prácticas sostenibles en la producción de alimentos son algunas de las medidas que pueden ayudar a reducir la contaminación hídrica.

3.2.1 Principales contaminantes

El agua es uno de los recursos más importantes y esenciales para la vida. Sin embargo, en la actualidad, está expuesta a diversos tipos de contaminación.

- **Origen antrópico:** se toman en cuenta todos los residuos producto de la actividad del hombre, entre ellos vertidos de aguas residuales y negras de los hogares, vertidos de la explotación ganadera, aguas residuales agrícolas, además también de la contaminación por embarcaciones de motor, explotación minera y construcción de puentes y vías (García, 2010).
- **Microorganismos patógenos:** Son los microorganismos que transmiten enfermedades, tales como colera, tifus y demás, generalmente transmitidos por el agua residual de casas con personas infectadas. Estos microorganismos son la principal causa de muerte en países donde las aguas no son correctamente tratadas, afectando principalmente a niños (García, 2010).
- **Desechos orgánicos:** Conjunto de residuos que se descomponen por la acción de bacterias aeróbicas, son resultado del consumo humano, animal, además también de heces y demás desechos. Al encontrarse en exceso en las aguas, consumen el oxígeno que necesitan las especies que habitan en la misma, extinguiéndolos (García, 2010).
- **Sustancias químicas inorgánicas:** De toda clase y en exceso pueden llegar a afectar a los cultivos que usen el agua, además de dañar varios sistemas acuáticos (García, 2010).
- **Nutrientes vegetales inorgánicos:** Usados generalmente para cultivos, en exceso pueden generar una excesiva producción de algas, agotando el oxígeno para las demás especies acuáticas (García, 2010).
- **Compuestos orgánicos:** Los derivados de petróleo, detergentes, disolventes, insecticidas y demás causan graves daños en el agua. La contaminación por

derrames petroleros abarca un 12% del total de hidrocarburos que llegan al mar (García, 2010).

- **Sedimentos y materiales en suspensión:** La turbidez es la mayor causa de contaminación en las aguas, los sedimentos que se arrastran de cultivos, por viento de las montañas causan graves problemas en el recurso hídrico (García, 2010).
- **Contaminación térmica:** Causada por las hidroeléctricas, los cambios considerables en la temperatura del agua pueden llegar a afectar a los organismos que habitan en ella (García, 2010).

3.3 Consecuencias de la contaminación del agua

La introducción de toda clase de contaminantes en el agua inicia por el conocido ciclo del agua, toda actividad humana influye en la composición del agua, por ejemplo, las actividades industriales eliminan sus desechos a los ríos, pero de igual manera aquellas que emiten combustión de varios componentes emiten estos al ambiente, llegando al agua de igual manera (Barceló y López, 2008). La contaminación del agua puede tener graves consecuencias para la salud humana y el medio ambiente. Los efectos de la contaminación del agua pueden ser a corto y largo plazo. La (Unesco , 2021) refiere que contaminación del agua es uno de los mayores desafíos ambientales que enfrenta el mundo actualmente, y sus consecuencias pueden ser graves para la salud humana y el medio ambiente, resaltando como principales consecuencias enfermedades, pérdida de biodiversidad, muerte de la vida acuática, deterioro de la calidad del agua, escases de agua potable y pérdida económica. Por ende, es importante tomar medidas para prevenir la contaminación del agua y proteger la salud humana y el medio ambiente. La educación sobre la importancia de la conservación del agua y la promoción de prácticas sostenibles son algunas de las medidas que pueden ayudar a reducir la contaminación del agua.

De acuerdo con el tipo de contaminante (Barceló y López, 2008) mencionan que los daños más destacados son: limitaciones del uso del agua en todo tipo de actividades, entre ellas, consumo humano, uso industrial, recreativo y agropecuario. La eutrofización, es una característica que normalmente se presenta en lagos ubicados a una altura superior a 1000 msnm (Northcote, 1991), es una de las consecuencias más destacadas de la contaminación del agua, en donde el exceso de nutrientes, producto de los abonos

químicos en agricultura, alimentan las microalgas, mismas que se reproducen desmesuradamente saturando las aguas, consumiendo el oxígeno del fondo de los lagos y llenándolos de sedimentos.

La contaminación del agua es un problema grave en Ecuador que afecta tanto la salud humana como la de los ecosistemas acuáticos. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), alrededor del 20,7% del agua que se consume está contaminada con heces fecales en Ecuador, lo cual incide en el desarrollo de enfermedades causadas por el consumo de agua contaminada (OCHA, 2017). Las principales causas de la contaminación del agua en Ecuador incluyen la actividad industrial, la agricultura intensiva y el mal manejo de residuos sólidos y líquidos (Guanoquiza, Anttúnez y Zúñiga, 2019).

3.3.1. Contaminación del agua en el Rio Tejar en Otavalo

La contaminación del agua es un problema grave en Otavalo, una ciudad ubicada en la provincia de Imbabura en Ecuador. Según un estudio realizado por la Escuela Politécnica Nacional, el agua de los ríos en Otavalo presenta altos niveles de contaminación por la actividad industrial, la agricultura y la disposición inadecuada de residuos sólidos y líquidos (Galarza, 2011). Estos contaminantes pueden afectar tanto la salud humana como la de los ecosistemas acuáticos. La actividad textil es una de las principales fuentes de contaminación del agua en Otavalo. En el estudio denominado Memoria técnica del tratamiento de Aguas Servidas en el Camal de Otavalo y resultados de la caracterización de efluentes realizado por INBIOTEC (Galarza, 2008), se menciona que las aguas del camal son evacuadas en el río Tejar sin ningún tipo de tratamiento, dentro de los principales resultados se obtiene que “la DBO varía entre 6 900 mg/L a 300 mg/L, los sólidos suspendidos varían entre 3 600 mg/L a 100 mg/L, los gases de 100 mg/L a 0mg/L y el pH todos básicos entre 7.57 a 7.26” (Galarza, 2011, p. 181).

En el presente estudio se concluye que el camal incumplió con lo dispuesto en las Normas de descarga de efluentes, así también, que para cumplir con la concentración de DBO y continuar con la descarga en el río Tejar las aguas servidas deben ser sometidas a un proceso de depuración para remover al menos un 80% de DBO y sólidos suspendidos y su tratamiento debe ser considerado en el Plan de Manejo Ambiental. Los presentes hallazgos se relacionan con el estudio denominado Sistema electrónico para medir los

niveles de contaminación en el aire provocado por la desembocadura de aguas servidas en el rio el tejar en el sector el batán del cantón de Otavalo provincia de Imbabura, donde se refiere que el rio Tejar se encuentra expuesto a basuras de diferente tipo, desechos de aguas residuales o servidas, alterando drásticamente su composición natural (Yamberla, 2013).

Así también el estudio denominado Creación de una microempresa comercializadora de tintes textiles biodegradables en Otavalo (Nuñez, 2019), en su parte pertinente menciona "la calidad de los productos importados, tradicionalmente anilinas químicas y pigmentos para dar color a sus hilados, lo que ha provocado la contaminación del río Tejar, la principal vertiente de Otavalo" (p. 164).

Las consecuencias de la contaminación del agua en Otavalo son graves. Además de afectar la salud humana, también afecta la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos. La contaminación del agua puede provocar la muerte de especies acuáticas, así como la reducción de la calidad del agua, lo que a su vez afecta a la producción de alimentos y a la economía de las comunidades locales (Galarza, 2011). Por ende, es importante tomar medidas para reducir la contaminación del agua en Otavalo y garantizar el acceso a agua potable y limpia para todas las personas en la ciudad. Esto incluye la implementación de regulaciones más estrictas para las empresas que descargan residuos contaminantes y la educación de la población sobre la importancia de proteger los recursos hídricos.

3.4 Calidad de agua

La calidad del agua es un tema fundamental en la preservación de la salud humana y el medio ambiente. Según un estudio realizado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la calidad del agua es esencial para la prevención de enfermedades y la promoción de una buena salud (Salas, Maraver, Rodríguez, Sáenz y Moreno, 2020). La calidad del agua se puede ver afectada por diversos factores, como la actividad humana, la contaminación ambiental y el cambio climático.

En este sentido, la medición de la calidad del agua es esencial para su control y preservación. Existen diversas técnicas y parámetros para medir la calidad del agua, como la medición de la concentración de sustancias químicas y biológicas, la turbidez y el pH.

Además, se pueden realizar análisis de riesgo para determinar la exposición humana a posibles contaminantes y sus efectos sobre la salud. La determinación de la calidad de agua de una fuente hídrica se basa en el análisis de diversos parámetros físicos, químicos y biológicos, de manera que se pueda establecer su estado de contaminación (Salas et al., 2020).

De acuerdo con (Hernández, 2017) la evaluación de la autodepuración de un río también es de vital importancia, debido a que este proceso natural libra a las aguas de cierta forma del agente contaminante, y al estar presente en las mismas determina que la fuente hídrica está saturada.

3.5. Índice de Calidad de Agua (ICA)

El Índice de Calidad de Agua (ICA) es una herramienta utilizada para evaluar la calidad del agua en una determinada zona geográfica. El ICA se basa en la medición de diversas variables como el oxígeno disuelto, la demanda bioquímica de oxígeno, la conductividad eléctrica, la turbidez, la temperatura y la presencia de sustancias químicas y bacterias (Ministerior de ambiente y desarrollo sostenible, 2022). Estas variables son ponderadas y combinadas para obtener una puntuación final que indica la calidad del agua.

El Índice de Calidad del Agua se calcula utilizando varios parámetros físicos, químicos y biológicos que se miden en el agua. Estos parámetros se agrupan en seis categorías: oxígeno disuelto, nutrientes, sólidos en suspensión, pH, temperatura y organismos indicadores de calidad microbiológica. Cada parámetro se mide y se clasifica en una escala de calidad, que va desde excelente hasta pobre (Caho y López, 2017).

Por otra parte, (Samboni, 2007) menciona que existen al menos 30 parámetros de evaluación y, que en las fuentes hídricas es necesario evaluar al menos dos de estos. Estos parámetros permiten analizar de manera clara la naturaleza y características del agua en estudio, además, son fáciles de realizar y se pueden hacer con más frecuencia que los análisis biológicos.

Para calcular el ICA, se asigna un valor numérico a cada categoría de parámetros, según la clasificación de calidad (Caho y López, 2017). Estos valores se suman y se multiplican por un factor de peso para cada categoría, que refleja la importancia relativa

de cada parámetro en la calidad del agua. El resultado final es un número que va de cero a cien, donde un valor más alto indica una mejor calidad del agua. La realización de estos índices permite determinar los usos que se le puede dar a los recursos hídricos, los contaminantes presentes en los mismos y así también determinar planes de remediación (Fernandez, 2005).

Según (Dunette, 1979) en su estudio, propone una selección de variables de acuerdo con macro características a medir, presentados en la tabla a continuación.

Tabla 1

Selección de variables de acuerdo con macro-características a medir

Categorías	**Variables que las representan**
Nivel de oxígeno	OD, DBO, DQO
Eutrofización	NO_2 -N, NO_3-N, Ortofosfatos
Aspectos de salud	Coliformes totales y fecales
Características físicas	Temperatura, transparencia, solidos totales

Nota: Adaptado de A Geographically Variable Water Quality Index Used in Oregon, de Dunette, 1979.

Finalmente, se continua con el cálculo de un valor, en el cual se expone la calidad de agua obtenida por rangos.

Tabla 2

Escala de clasificación del ICA

Calidad	**Rango**	**Escala de color**
Excelente	91-100	AZUL
Buen	71-90	VERDE
Media	51-70	AMARILLO
Mala	26-50	NARANJA
Muy mala	0-25	ROJO

Nota: Adaptado del estudio de Índices de calidad y de contaminación del agua, de Fernández y Solano. 2005.

3.6. Índice ABI

El Índice Biótico Andino (ABI) es una herramienta utilizada para evaluar la calidad del agua en los ríos y quebradas de la región andina de América del Sur. Este índice se basa en la presencia o ausencia de ciertos grupos de macroinvertebrados acuáticos que son sensibles a la contaminación y al deterioro del hábitat. El ABI se desarrolló en la década de 1990 en Colombia y ha sido utilizado en varios países de la región andina, como Ecuador y Perú. El índice asigna un valor numérico a cada sitio de muestreo en función de la diversidad y la abundancia de los macroinvertebrados presentes. Este valor se compara con un valor de referencia para determinar la calidad del agua del sitio en cuestión (Meneses, Castro y Jaramillo, 2018).

El ABI se ha utilizado para monitorear la calidad del agua en diferentes contextos, como en la evaluación del impacto ambiental de proyectos de desarrollo, en la gestión de recursos hídricos y en la protección de ecosistemas acuáticos en peligro (Rodrígues, Ríos, Espinosa, Cedeño y Jiménez, 2016).

3.7. Remediación de la calidad de Agua

La remediación de la calidad del agua es aquel proceso que tienen como fin la eliminación o reducción de contaminantes en el agua con el objeto de restaurar su calidad y propender hacerla segura para el consumo de los seres vivos (United States Enviromental Protection Agency, 2022). La remediación puede ser necesaria debido a la contaminación natural o antropogénica, como la contaminación industrial, agrícola y urbana.

Los principales métodos de remediación según refiere (World Health Organization , 2011) y (United States Enviromental Protection Agency, 2022) sobre la calidad de agua incluyen el tratamiento de aguas residuales, el cual consisten en el tratamiento y eliminación de sólidos, la oxidación de la materia orgánica y la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. Por otra parte, el tratamiento del agua potable incluye procesos como sedimentación, la filtración y la desinfección para eliminar los contaminantes y hacer que el agua sea segura para el consumo humano.

Otro método es la remediación en el sitio, la cual implica la eliminación de contaminantes directamente en el lugar donde se encuentran. Los métodos incluyen la extracción de agua subterránea y la oxidación química in situ. Finalmente, la remediación ex situ: La remediación ex situ implica la extracción del agua contaminada y su tratamiento fuera del sitio. Los métodos incluyen la aireación, la adsorción y la oxidación química.

CAPÍTULO IV
MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio de investigación se realizó mediante un enfoque cuantitativo-descriptivo, a través de la aplicación de los siguientes materiales Electrodos, placas Petrifilm, 3M de E. Coli, vaso de 60 ml, imán, hidróxido de sodio, plástico, oxitop de marca (VELP Scientifica B.O.D. sensor), equipo potenciómetro EXTECH modelo EPJ-PH100, equipo de Laboratorio de aguas SMART 24 Lamotte 1951-01, colorímetro y el equipo de laboratorio de aguas Smart 24 Lamotte 1952-0 principalmente.

En el estudio investigativo realizado se utilizaron materiales, equipos y reactivos, detallados a continuación:

Tabla 3

Materiales, reactivos y equipos de campo

Área	Materiales	Reactivos	Equipos
CAMPO	Bandejas Hielo químico Frascos boeco Pinzas entomológicas Red tipo D	Alcohol al 45% Agua destilada	GPS Garmin eTrex Series Medidor de pH y temperatura, Extech modelo EPJ-PH100 Conductímetro Extech ExStick Conductivity Meter Oxímetro OM-71, marca LAQUAact Anemómetro Spectrum Extech 45158

Laboratorio	Caja Petri Frascos ámbar Frascos boeco Micropipetas Probetas Puntas expell Tubos de ensayo Petrifilm 3M	Alcohol al 45% Sales nutritivas para DBO Kit para nitratos Kit para fosfatos Hidróxido de Sodio	Turbidímetro modelo 2020E, La Motte Colorímetro Conductímetro HI8424N, Hanna Instruments Incubadora Estufa Universal UN30 Refrigerador

4.1.Ubicación del área de estudio

El Río Tejar se encuentra ubicado en la provincia de Imbabura, cantón Otavalo, tiene una longitud aproximadamente de 20 kilómetros y es un afluente del río Peguche.

Tabla 4

Datos de la Ubicación del río Tejar

Descriptor	**Detalle**
País	Ecuador
Provincia	Imbabura
Cantón	Otavalo
Latitud N	0.233333
Longitud W	-78.2667
Calificación	Hidrográfico

Nota: Adaptado del estudio de GetaMap, 2023.

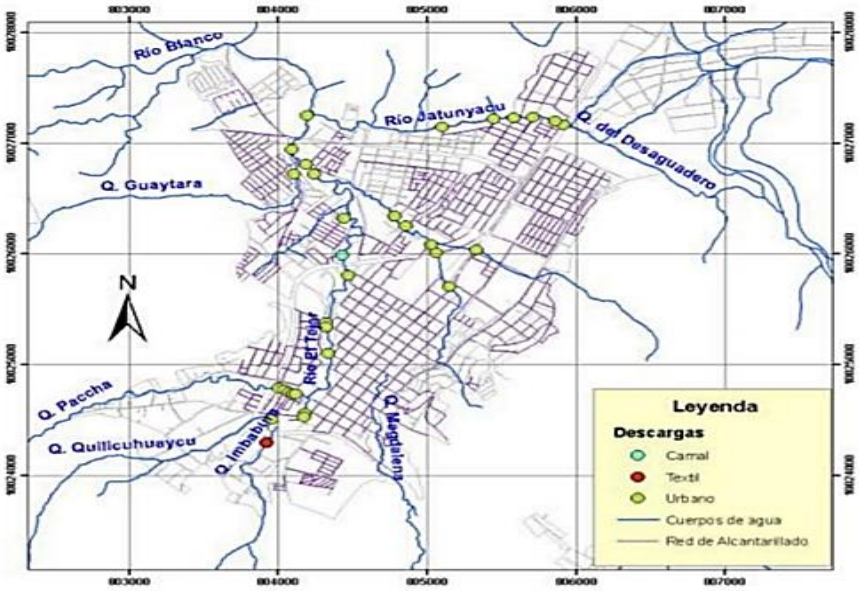
4.1.1. Estudio de los suelos

Los suelos del cantón Otavalo se clasifican principalmente en inceptisoles y molisoles, además su uso se divide en agrícola, pecuaria, forestal, urbano, en conservación y erosionado (CELAEP, 2015).

Tomando en cuenta lo mencionado en el párrafo anterior, se realizará un estudio en determinadas áreas de la cuenca hidrográfica para el establecimiento de puntos de muestreo (Ackemann y Carcasi, 2021).

Figura 1.

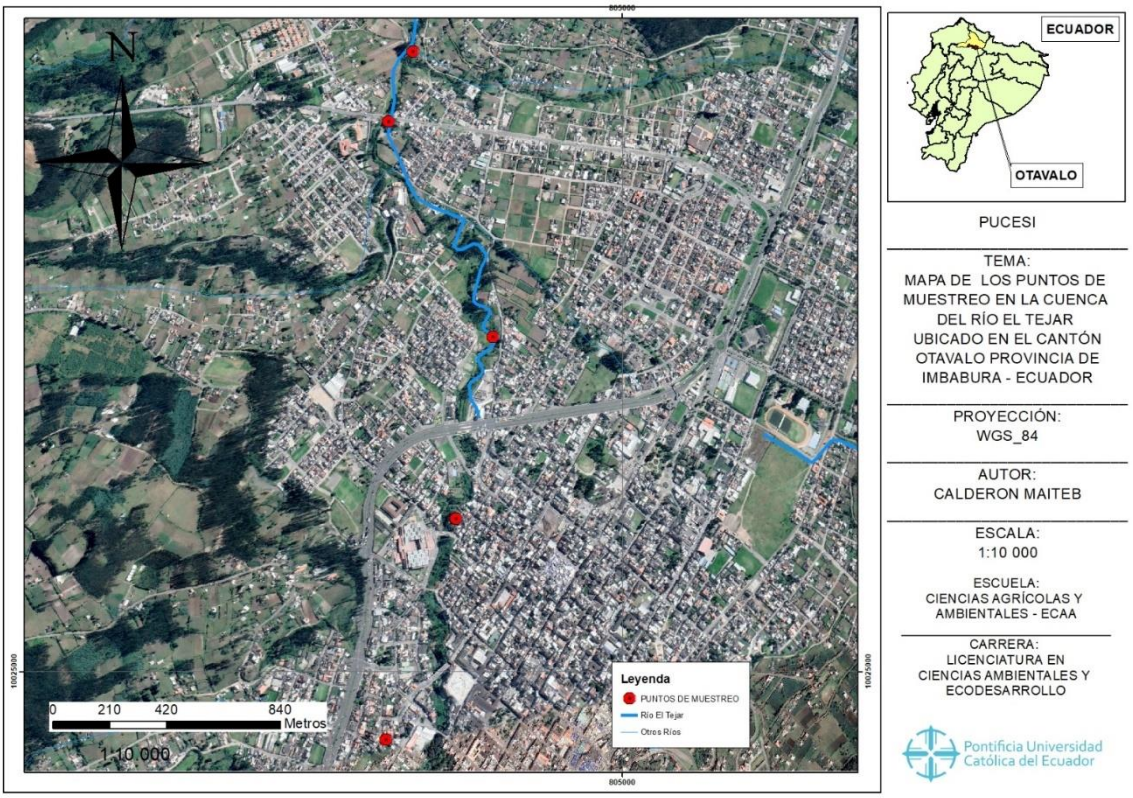
Estudio del suelo



Nota: En la figura se observa los punto idóneos para el muestreo. Tomado del Plan de ordenamiento territorial, 2012.

Figura 2.

Mapa base para análisis de uso de suelo del cantón



Nota: Se visualizan los puntos de muestreo en la cuenca del río Tejar. Adaptado de Google Maps, 2023.

Los puntos que se establecieron fueron 5 puntos, a) entrada al centro de Otavalo, b) mercado 24 de mayo, c) antiguo camal municipal, puente vía a selva alegre y Unión con rio Jatunyacu. La primera toma de las muestras se realizó el 1 de julio del 2022, la segunda toma el 1 de agosto del 2022 y la tercera en septiembre del 2022. A continuación, se detalla:

Tabla 5

Tabla de puntos de muestras recolectadas

Punto	Fotografía	Descripción
Entrada al centro de Otavalo		**Longitud W:** -78.26792760310411 **Latitud N:** 0.22363765810386854 **Altitud:** 2568 msnm
Mercado 24 de mayo		**Longitud W:** -78.26560129561648 **Latitud N:** 0.23101136635335892 **Altitud:** 2517 msnm
Antiguo camal municipal		**Longitud W:** -78.26437931049792 **Latitud N:** 0.23709298507172544 **Altitud:** 2521 msnm

Puente vía a Selvalegre		**Longitud W:** -78.26782486421517 **Latitud N:** 0.244287089631702 **Altitud:** 2499 msnm
Unión con rio Jatunyacu		**Longitud N:** -78.26702547844334 **Latitud W:** 0.24661845963274756 **Altitud:** 2493 msnm

4.2.Método de Investigación

La presente investigación mantiene un enfoque cuantitativo-descriptivo, el cual es una estrategia de investigación que se utiliza para recolectar y analizar datos numéricos de una población o muestra específica. En este enfoque, se buscó obtener resultados objetivos y precisos (Amaiquema, Vera y Zumba, 2019).

El enfoque cuantitativo se basó en la experimentación, y se utilizó para evaluar las relaciones causa-efecto y para realizar generalizaciones sobre una población. Se utilizaron métodos de muestreo para seleccionar en base al perfil geográfico, poblacional, de desemboque, uso de suelo y mayor contaminación, y luego aplicaron las técnicas de análisis de los datos.

Por el nivel o alcance se emplea una investigación de campo, la cual se usó para obtener información y datos a través de la observación directa y la interacción con personas, grupos o situaciones en un entorno natural. En la presente investigación, se establecen

pilares científicos, por ende, se utilizó bibliografía actualizada de los diferentes repositorios y bases de datos.

4.3.Procedimiento de investigación

En el desarrollo del presente estudio se planteó el siguiente procedimiento que giran en torno a los objetivos que se detallarán a continuación:

- **Objetivo 1:** Evaluar la calidad de agua del rio El Tejar ciudad de Otavalo mediante análisis fisicoquímicos y biológicos para el desarrollo de una propuesta de remediación para la cuenca hidrográfica.

Fase 1: Se establecieron las Variables de control, las cuales son centradas en el análisis de Coliformes fecales (en NMP/100 mL), Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (mg/L), Nitratos (NO_3 mg/L), pH (unidades de pH), Fosfatos (PO_4), Turbidez (FAU-NTU), Cambio de la temperatura (º C), Solidos disueltos totales (mg/L) y Oxígeno disuelto (OD % saturación). La presente frase se realizó previo al estudio in situ.

- **Objetivo 2:** Establecer un plan de muestreo del agua del río el Tejar en puntos de mayor contaminación mediante una cartografía temática para determinar los puntos de muestreo.

Fase 2: Se estableció el cronograma para la extracción de muestras tomando como referencia el estudio denominado Comparación de la calidad del agua en dos ríos altoandinos mediante el uso de los índices BMW/COL, y ABI (Meneses, Campo y Jaramillo, 2019), el cual es el siguiente:

  - *Primera toma:* 01 de julio de 2022
  - *Segunda toma:* 01 de agosto de 2022
  - *Tercera toma:* 01 de septiembre de 2022

- **Objetivo 3:** Evaluar la calidad del agua del río El Tejar mediante los índices fisicoquímicos y biológicos para el establecimiento de la calidad de agua del río.

Fase 3: Se analizaron los parámetros **a)** in situ de manera directa utilizando un oxímetro (OD), potenciómetro (pH) y termómetro.**b)** ex situ: Se extrajo muestras para análisis de turbiedad, nitratos, fosfatos, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales (TDS),

DBO_5 y coliformes fecales, en el proceso se identificó lo mencionado ut supra, se registraron las condiciones del muestro, así también, los envases estaban previamente esterilizados y mantenían una capacidad de 1L, se homogeneizó con agua del punto de muestreo conservando una cantidad para agitar y desechar y posterior se recolecto la muestra hasta el tope, evitando el ingreso de aire mediante la obstrucción hermética de forma inmediata. Es importante recalcar que los envases se encontraban previamente etiquetados con fecha, hora y número de muestra (Zurita, 2016).

Las muestras recolectadas se transportaron al Laboratorio de Química, suelos y aguas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra, para mantener la temperatura, entre 6° y 10° centígrados se colocaron en un cooler con hielo químico, así también, las muestras fueron procesadas en un lapso menor a 24 horas, previo al análisis de laboratorio las muestras se llevaron a temperatura ambiente (Skoog, West y Holler, 2014).

Tabla 6

Técnicas y métodos para la evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Muestras	Método	Procedimiento
Oxígeno Disuelto	TP0083	Lavarse las manos con agua destilada, posterior se extrae una muestra de 60ml en campo y se coloca en frascos estériles, luego se sumerge un electrodo en la muestra hasta que se estabilice el resultado (Skoog, West y Holler, 2014).
Coliformes fecales	991.14	Se toma 1 ml de muestra, posterior se coloca en placas Petriflim 3M de *Escherichia coli* y se sella evitando el ingreso de aire esparciendo el ingreso de aire, luego se esparce el líquido con el fin de colocar en la estufa durante 24 horas. Es indispensable mencionar que por 3 ocasiones se realizó la extracción de muestra, no obstante, en todas las ocasiones los coliformes fecales eran tan abundantes que no se logró un proceso exitoso de conteo (Skoog et al., 2014).

pH	NTE INEN-ISO 10523:2014	Se mide en campo, se extraen muestran de 60ml en frasco estériles, posterior mediante la ayuda del pHmetro se sumerge el mismo dentro de la muestra tomada hasta que se estabilice el resultado o el valor (Skoog et al., 2014).
Demanda Biológica de Oxígeno	NTE INEN 1202:2013	En frascos ámbar se coloca un imán que tenga forma de balín, posterior se introduce 43 ml de la muestra y 1 ml de nutritivas, así también se coloca 0,5 g de hidróxido de sodio en los cartuchos de plástico con el fin de tapar junto con los los oxitop de marca (VELP Scientifica B.O.D. sensor), los cuales estaban previamente encerados. Para concluir, se coloca a 20° C en la estufa y posterior a los 5 días se observa el valor en el oxitop (Skoog et al., 2014).
Temperatura	2550 2-74	Utilizando termómetro se introduce el sensor hasta que se estabilice el valor de temperatura (Skoog et al., 2014).
Fosfatos	TP0094	Mediante el uso del equipo de Laboratorio de aguas SMART 24 Lamotte 1951-01, se selecciona el método 080 Fosfato ppm en el colorímetro, posterior en un frasco se coloca 10ml de muestra con 1ml del reactivo de fosfato, luego de 5 minutos se observa la reacción y finalmente se ingresa el blanco y se coloca la muestra preparada para determinar el valor de los fosfatos (Skoog et al., 2014).
Nitratos	4500-NO_3(4-134)	Con el equipo de laboratorio de aguas Smart 24 Lamotte 1952-0, se enciende el colorímetro y se elige el método 064 Nitrate-N, posterior se

		coloca 10 ml de muestra con 1ml del reactivo durante el tiempo de 5 minutos se observa la reacción, luego se inserta el tubo blanco, se retira y finalmente se coloca el frasco con la muestra para ser medido (Skoog et al., 2014).
Turbidez	2130 2-13	Con el equipo denominado Turbidímetro se coloca el blanco para escanear, posterior en un frasco se coloca 10ml de la muestra con el fin de analizar el valor de turbidez por nefelometría (Skoog et al., 2014).
Sólidos Disueltos Totales	EC150-EU-SP	Se realiza en campo, donde se extrae una muestra de 60 ml en un frasco previamente esteril, posterior se configura con el botón MOD las unidades de medida a mg/l, finalmente se introduce el sensor en la muestra y se espera que el valor se estabilice (Skoog et al., 2014).

c) Determinación del Índice de Calidad de Agua y el Índice Biótico Andino

Para ello, se evaluó de manera visual el hábitat, considerando los siguientes elementos: apariencia del agua, zona ribereña, sombra, pozas, sedimentos, condición del cauce, estabilidad de la orilla, barrera de movimiento de peces, alteración hidrológica, presión de pesca, presencia de desechos sólidos, refugio para peces dentro del río o quebrada, presencia de estiércol, refugio para insectos y aumento de nutrientes de origen orgánico (Mafla, 2005). En base al protocolo BMWP-C, planteado en la Guía para Evaluaciones Ecológicas Rápidas con Indicadores Biológicos en Ríos de Tamaño Mediano Talamanca (Mafla, 2005), se seleccionó un sector o zona representativa del río Tejar, mediante parámetros tales como orillas sin corriente o con corriente, raíces, objetos sumergidos, vegetación, sustratos remansos, rápidos, pozas, paquetes de hojas en remansos y rápidos.

Se realizó la extracción en cinco puntos seleccionados es importante resaltar que el muestro debe durar alrededor de 30 minutos donde se sacan los organismos de la bandeja. Posterior utilizando la red tipo D que se encuentra unida a la red de forma crónica de

tejido muy fino se realizó el muestreo. Luego, se coloca el marco en el fondo del rio Tejar, contra corriente y se remueve el sustrato, considerando el tramo del muestreo. Finalmente se colocó el sustrato en una bandeja con el fin de eliminar los residuos y separarlo de los macroinvertebrados mediante la utilización de un vaso plástico con alcohol al 70%, y que se encontraba previamente etiquetado con lugar y fecha (Ramírez, 2010).

Para culminar, a través del del Servicio de Cálculo Online ofrecido por el Water Research Center se ingresó los datos de los nueve parámetros físico, químico y microbiológicos (tabla 4), con el fin de obtener la ponderación de valores de cada uno. Así también, para la identificación de los organismos, se utilizó un estereomicroscopio y el proceso se lo ejecuto con base en la Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia (Roldán, 1996). Finalmente, se obtiene una tabla comparativa según los índices ICA y ABI.

- **Objetivo 4:** Desarrollar una propuesta de remediación para el río Tejar, que permita minimizar los impactos ambientales para el mejoramiento de la calidad de la fuente hídrica.

Fase 4: En base a los datos obtenidos, se realiza un análisis tomando en cuenta el entorno del Río Tejar se realiza una propuesta enfocada en fortalecer el ecosistema acuático.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

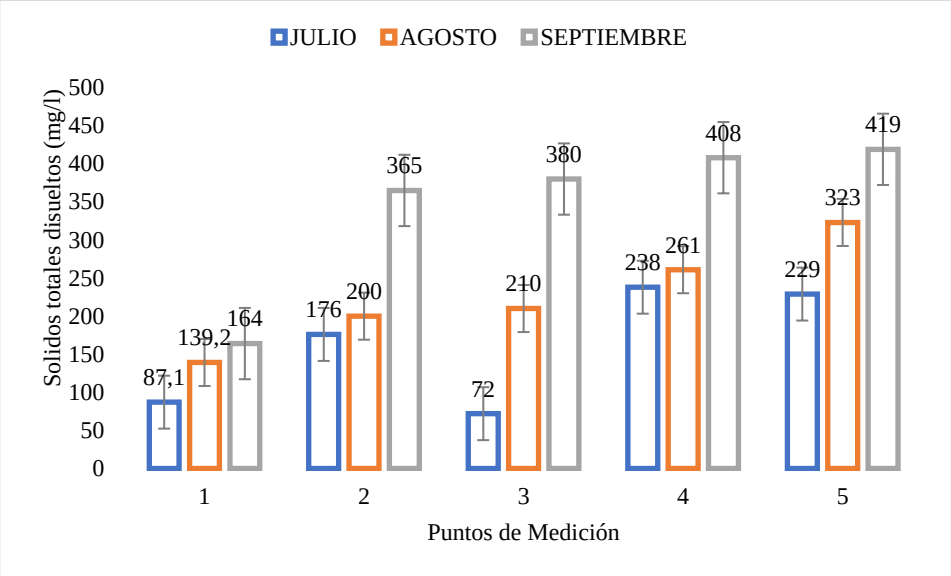
5.1. Análisis físico, químico y microbiológico.

A continuación, se detallará los resultados de la presente investigación:

Con respecto a los datos recopilados se puede observar en la Figura 3. que, de las cinco muestras tomadas por cada mes en julio, agosto y septiembre, existe mayores sólidos totales disueltos en el mes de septiembre, llegando a un porcentaje de 350 a 410 mg/l, en las muestras 2, 3, 4 y 5.

Figura 3.

Comparación entre los resultados obtenidos de Solidos totales disueltos (mg/l)



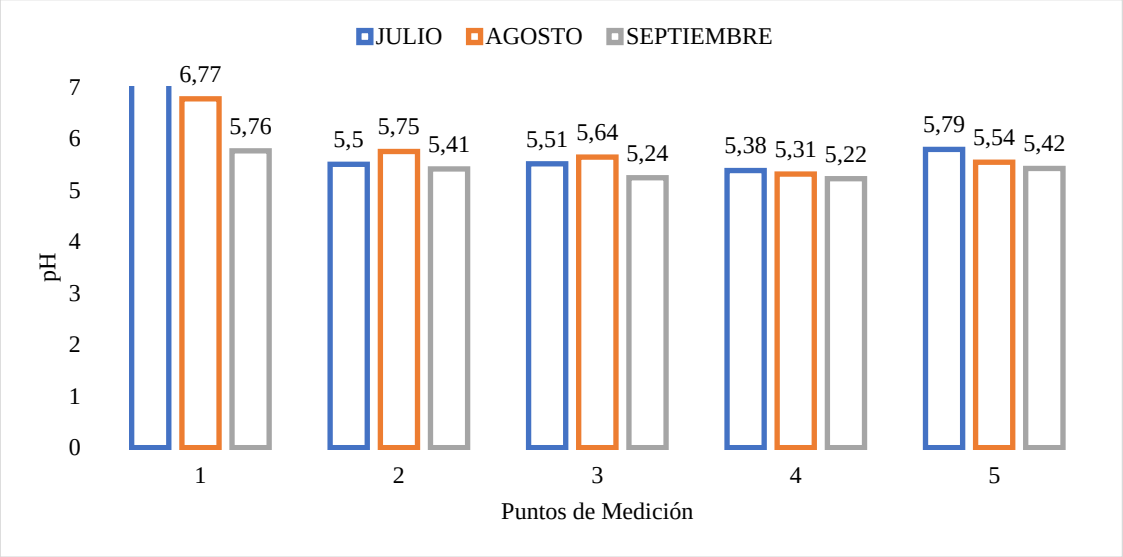
Nota. En la figura se visualizan los resultados del P1 “Punyaro”, P2“Mercado Nuevo”, P3 “Antiguo Camal municipal”, P4 “Vía a Selvalegre”, P5 “Unión de ríos”.

Los sólidos disueltos totales (SDT) son aquellos minerales, metal con tamaño menor a 2 micras, sal, comprende las sales y materia inorgánicas. En el libro denominado Tratamiento de aguas residuales (Ramos, 2014), se menciona que los sólidos disueltos en el agua pueden afectar la calidad del agua y la salud humana. También se explica que la medición de TDS es importante para evaluar la efectividad del tratamiento de agua y determinar la concentración de sustancias disueltas.

El potencial de hidrógeno (pH) es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. Es una medida logarítmica de la concentración de iones de hidrógeno (H+) presentes en una solución. El pH se mide en una escala de 0 a 14, donde 7 es considerado neutro, valores menores a 7 indican acidez y valores mayores a 7 indican alcalinidad. En los resultados obtenidos en el presente estudio se observa en la Figura 4. que, en los meses de julio, agosto y septiembre, en las muestras extraídas existe una prevalencia de escala menor a 7, lo cual refleja la presencia de ácides.

Figura 4.

Comparación entre los resultados obtenidos del Potencial de Hidrógeno (pH)



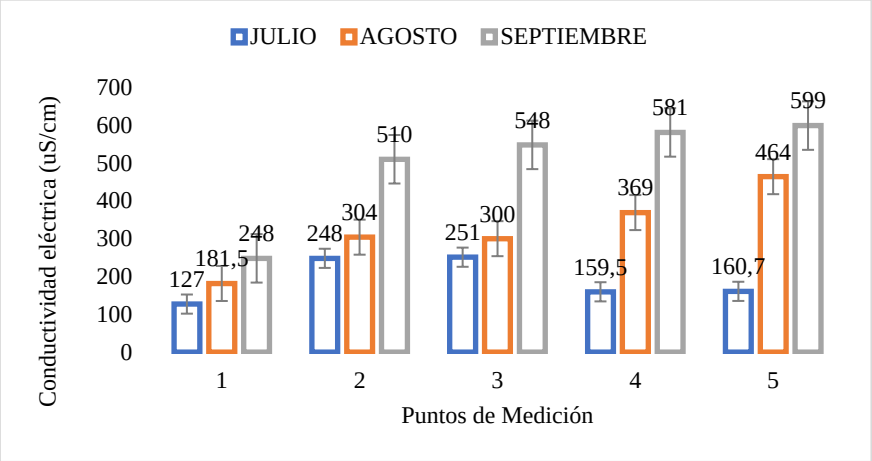
Nota. En la figura se visualizan los resultados del P1 “Punyaro”, P2“Mercado Nuevo”, P3 “Antiguo Camal municipal”, P4 “Vía a Selvalegre”, P5 “Unión de ríos”.

Lo manifiesto se relaciona con los resultados obtenidos en el estudio denominado Diagnóstico y desarrollo del pan de manejo ambiental para el camal de Otavalo (Galarza, 2011), donde se evidencia problemas ambientales, como la falta de tratamiento adecuado de los desechos orgánicos e inorgánicos, la contaminación del aire y del agua, la generación de olores desagradables y la falta de medidas de seguridad e higiene laboral. Así también, se han registrado en dicho estudio niveles elevados de contaminantes como metales pesados, nitratos, fosfatos, aceites, grasas y otros contaminantes orgánicos.

En los resultados recolectados EN LA Figura 5. en los meses de julio, agosto y septiembre, se observa que en el último mes con respecto a las muestras 2, 3, 4 y 5, existe mayor capacidad para conducir electricidad, esto puede deberse a los sólidos totales disuelto; lo que refleja un problema en la agricultura, acuicultura, producción de energía y en el tratamiento de las aguas residuales.

Figura 5.

Comparación entre los resultados obtenidos mes a mes de la Conductividad eléctrica (µS/cm)



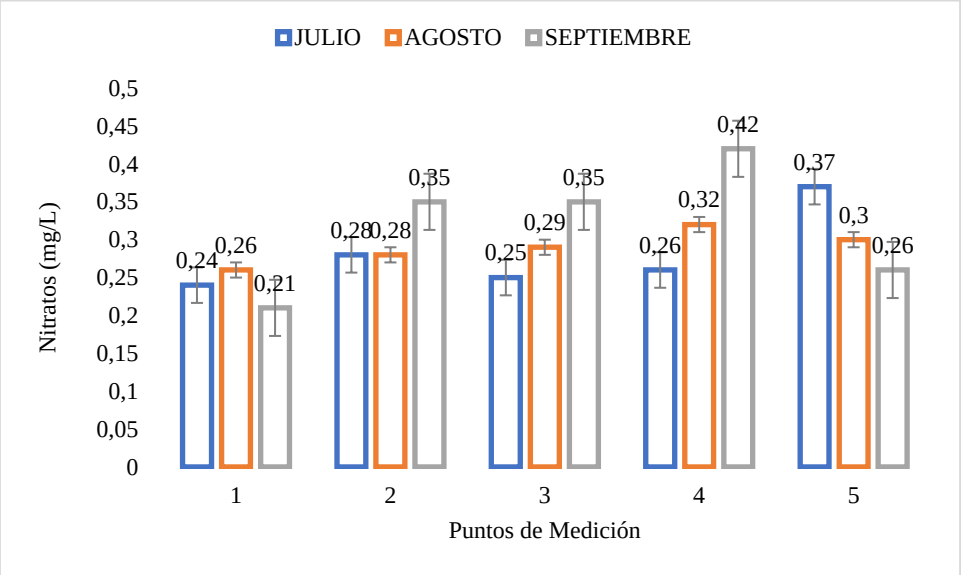
Nota. En la figura se visualizan los resultados del P1 "Punyaro", P2"Mercado Nuevo", P3 "Antiguo Camal municipal", P4 "Vía a Selvalegre", P5 "Unión de ríos".

La conductividad eléctrica es una medida de la capacidad de un material para conducir la electricidad. Se define como la cantidad de corriente eléctrica que fluye a través de un material por unidad de área y de tiempo, bajo un gradiente de voltaje conocido. La conductividad eléctrica se expresa en unidades de siemens por metro (S/m) o en microsiemens por centímetro (µS/cm).
En el estudio denominado Efectos de la salinidad sobre la germinación y crecimiento vegetativo de las plantas de tomate silvestre y cultivadas (Goykovic, Nina, & Calle, 2014) se analiza cómo la conductividad eléctrica del agua utilizada en sistemas de cultivo afecta el crecimiento y la producción de las plantas de tomate silvestre.

En la Figura 6, se debe destacar que con respecto al mes de septiembre específicamente en los puntos 2 (mercado 24 de mayo), 3 (antiguo camal municipal) y 4 (puente vía a Selvalegre), existe mayor presencia de nitratos, variando en un rango de 0,3 a 0,5 mg/l.

Figura 6.

Comparación entre los resultados obtenidos de Nitratos NO3 (mg/L)



Nota. En la figura se visualizan los resultados del P1 "Punyaro", P2"Mercado Nuevo", P3 "Antiguo Camal municipal", P4 "Vía a Selvalegre", P5 "Unión de ríos".

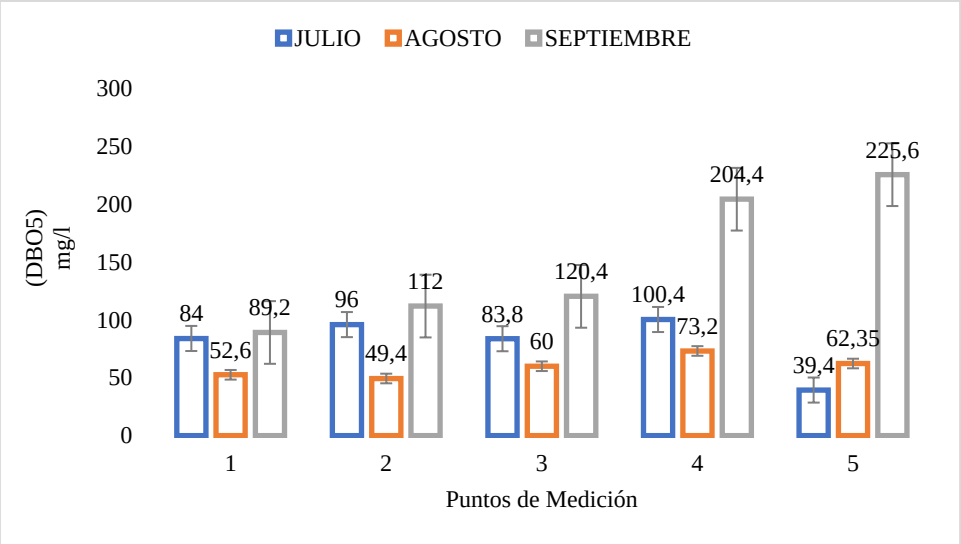
Mediante el método de la colorimetría, se observó la reacción del Nitrato a los reactivos químicos, en los datos recaudados del análisis de las cinco muestras de los meses de julio, agosto y septiembre, se muestra que existe una presencia media de nitratos, considerando que según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), una concentración de nitratos en el agua potable superior a 10 mg/L se considera alta y puede ser indicativo de contaminación.

Sin embargo, en base a la normativa que regula los límites máximos permisibles de contaminantes en agua potable y residual suscrita por el Ministerio del Ambiente de Ecuador, el límite máximo permisible de nitratos en agua potable es de 50 mg/L (miligramos por litro) y en agua residual es de 100 mg/L.

En la figura 7, se observa que, con respecto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno, en el primer mes con respecto a los cinco puntos existió menor cantidad en el punto 5 llegando a un 39,4 mg/L, así también, con referencia al mes de agosto se observa que existe una menor cantidad en el punto 2 perteneciente al Nuevo Mercado. Finalmente, con respecto al mes de septiembre, se observa que, en el P1, de Punyaro existe menor cantidad.

Figura 7.

Comparación entre los resultados obtenidos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) mg/L



Nota. En la figura se visualizan los resultados del P1 "Punyaro", P2"Mercado Nuevo", P3 "Antiguo Camal municipal", P4 "Vía a Selvalegre", P5 "Unión de ríos".

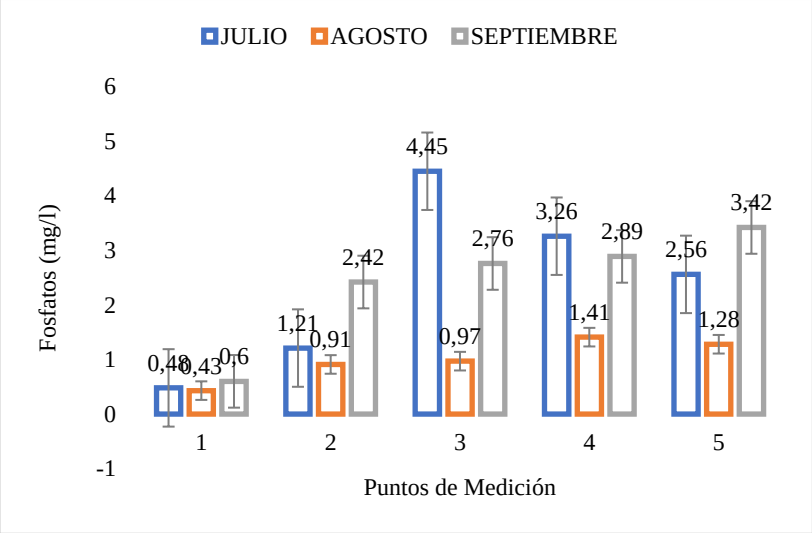
La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) es una medida de la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para descomponer la materia orgánica presente en el agua durante un período de 5 días. La DBO_5 se utiliza comúnmente como un indicador de la calidad del agua y se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg/L).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) principalmente refieren que un nivel de DBO5 de 5 mg/L o superior indica una alta demanda bioquímica de oxígeno en el agua, tomando en cuenta los resultados de la presente investigación en todas las muestras y meses de extracción y análisis existe una alta demanda bioquímica de oxígeno en el Rio Tejar, lo que indica que existe una gran cantidad de materia orgánica biodegradable, afectando a otros organismos acuáticos. El presente es un indicador de contaminación orgánica, causada por descargas de aguas residuales sin tratar o inadecuadamente tratadas, descargas de industrias, prácticas agrícolas inadecuadas, entre otros factores.

En la Figura 8, se puede observar que los puntos más altos de corte en el mes de Julio, se presenta en el P3, Antiguo Camal Municipal, donde existe un 4.45 mg/l, seguido por el P4 referente a la vía selvalegre con un 3,25 mg/l. Con respecto al mes de septiembre, se observan puntos altos de PO4 en el punto 4 (2.89 mg/l) y 5 (3,42 mg/l). Finalmente, se visualiza en los resultados que, en el mes de agosto, los valores reflejados son menores a 1,41 mg/l.

Figura 8.

Comparación entre los resultados obtenidos de los Fosfatos (PO4) mg/L



Nota. En la figura se visualizan los resultados del P1 "Punyaro", P2"Mercado Nuevo", P3 "Antiguo Camal municipal", P4 "Vía a Selvalegre", P5 "Unión de ríos".

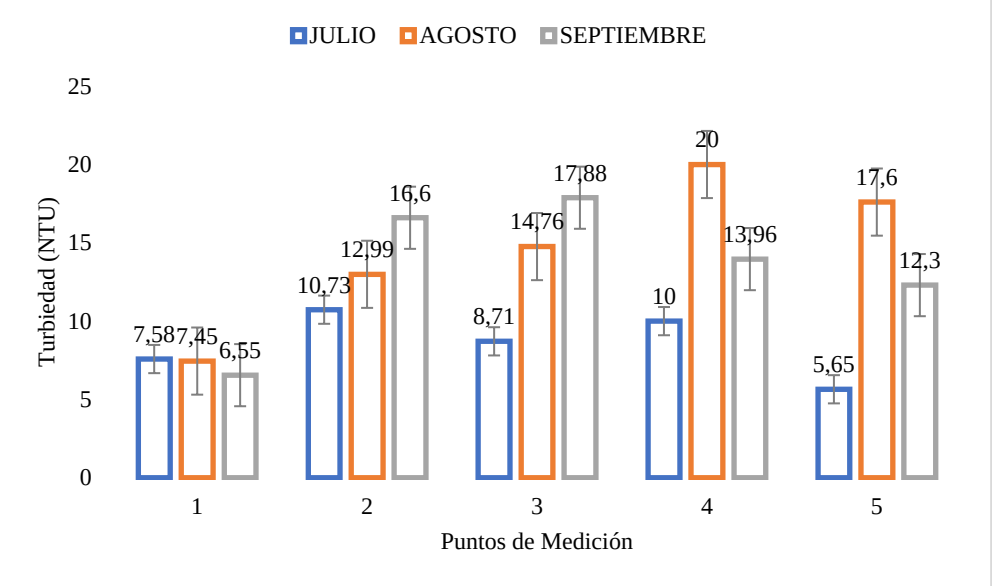
Este compuesto químico inorgánico contiene el ion fosfato, el cual se forma de un átomo de fósforo y cuatro átomos de oxígeno. Dentro de los principales factores de la presencia de fosfato, es la descarga de aguas residuales, factor que en el estudio denominado Memoria técnica del tratamiento de Aguas Servidas en el Camal de Otavalo y resultados de la caracterización de efluentes realizado por (INBIOTEC, 2008), se menciona que las aguas del camal son evacuadas en el río Tejar sin ningún tipo de tratamiento, por ende, las aguas servidas deben ser sometidas a un proceso de depuración para remover al menos un 80% de DBO y sólidos suspendidos (Galarza, 2011).

Con respecto al índice de fosfato en el presente estudio, según la Norma Ecuatoriana de Calidad de Agua Potable (NECAP), el límite máximo permisible para la concentración de fosfato en el agua potable es de 0.05 mg/L y el límite de 0.035 mg/L de fosfato en aguas superficiales, con base en lo manifiesto se observa que existe una alta concentración en las muestras 3 (antiguo camal municipal) y 4 (puente vía selvalegre) del mes de julio, así como también, en la muestra 5 (unión con rio Jatunyacu) del mes de septiembre.

En la figura 9, se puede observar que los valores de la Turbiedad en el mes de Julio que varia en un rango de 5,65 NTU a u máximo de 10,73 NTU, en el mes de agosto por otra parte, varía de 7,45 NTU a 20 NTU. Finalmente, con respecto al mes de septiembre se observa un rango de variación de 6,55 NTU a 17,88 NTU.

Figura 9.

Comparación entre los resultados obtenidos de la Turbiedad (NTU)



Nota. En la figura se visualizan los resultados del P1 "Punyaro", P2"Mercado Nuevo", P3 "Antiguo Camal municipal", P4 "Vía a Selvalegre", P5 "Unión de ríos".

La turbiedad es una medida referente a la claridad del agua, y como las partículas suspendidas en el agua afectan la transparencia. Según el Decreto 1076 de 2015, normativa vigente establecida en el reglamento técnico para la evaluación, monitoreo y seguimiento de la calidad del agua y de la vida acuática en Colombia, los límites máximos permisibles para la calidad del agua en ríos, quebradas y otros cuerpos de agua con fines de conservación y protección: 25 NTU; en ríos, quebradas y otros cuerpos de agua con fines de recreación: 50 NTU y en Ríos, quebradas y otros cuerpos de agua con fines de pesca y acuicultura: 100 NTU (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2015).

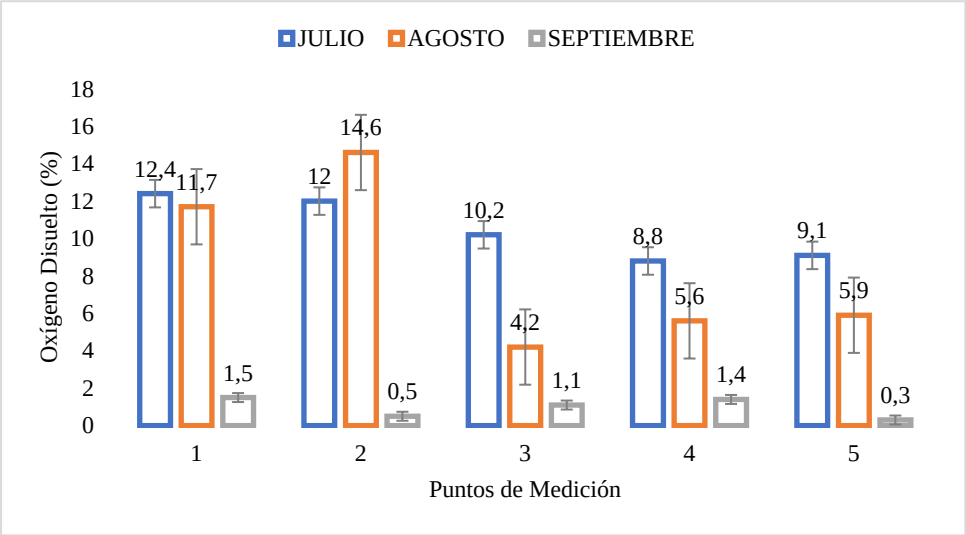
En los resultados de la presente investigación se observa que en todos los meses (julio, agosto y septiembre) y en todas las muestras existe un porcentaje mayor a 5NTU, es decir, en base a los niveles máximos el resultado obtenido en el río Tejar muestra valores bajos de turbiedad indican una menor cantidad de partículas en suspensión en el agua, lo que

puede ser beneficioso para la vida acuática al permitir una mayor penetración de la luz solar y una mejor oxigenación del agua. No obstante, a pesar de que es relativamente clara y puede ser considerada como agua de buena calidad en términos de turbiedad, aunque otros factores como la presencia de contaminantes químicos o biológicos también deben ser considerados para determinar la calidad general del agua para la vida acuática.

En la figura 10, se observa que el oxígeno disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno molecular (O2) presente en el agua en forma disuelta en una determinada temperatura y presión. El oxígeno disuelto es esencial para la vida acuática y para el mantenimiento de procesos biológicos y químicos en los cuerpos de agua. Con los datos recopilados se observa que en el mes de septiembre en la muestra 1 (Entrada al centro de Otavalo), 2 (Mercado 24 de mayo), 3 (Antiguo camal municipal), 4 (Puente vía a selvalegre) y 5 (Unión con Rio Jatunyacu), existen niveles bajos de óxido disuelto menores al 2%, lo cual es perjudicial para la vida acuática ya que el agua se encuentra en un estado hipóxico o anóxico.

Figura 10.

Comparación entre los resultados obtenidos del Oxígeno Disuelto (%)

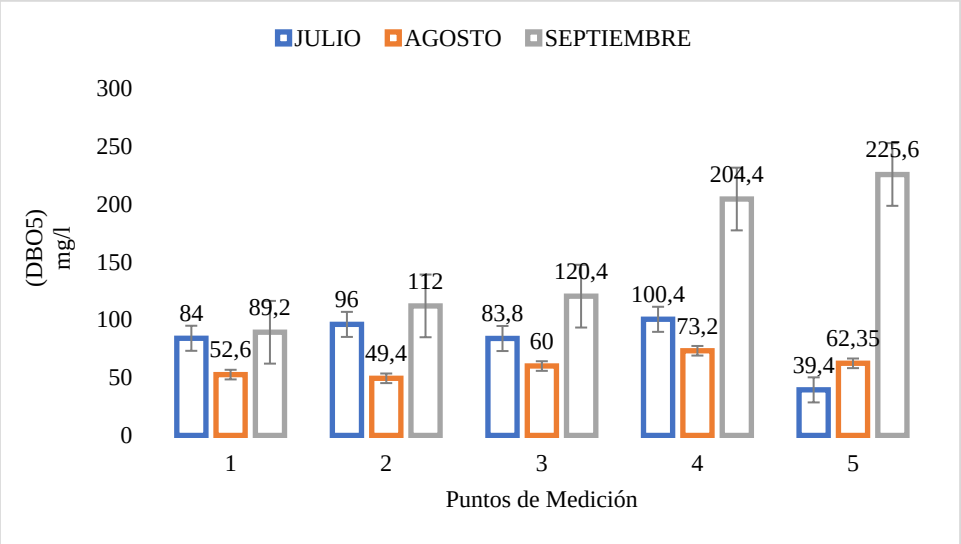


Nota. En la figura se visualizan los resultados del P1 “Punyaro”, P2“Mercado Nuevo”, P3 “Antiguo Camal municipal”, P4 “Vía a Selvalegre”, P5 “Unión de ríos”.

Es importante resaltar que a pesar de que, en los meses de julio y agosto, exista un rango de variación de 4% a 14%, el porcentaje tiene tendencia baja y no se mantiene, por ende, considerando que un río para poder sostener la vida acuática requiere que el nivel de oxígeno disuelto esté por encima del 5% de y las significativas variaciones identificadas en este estudio en cuanto al porcentaje del oxígeno disuelto, esto repercute en la disminución del nivel de oxígeno en el agua, pudiendo ocasionar consecuencias graves para la vida acuática, ya que muchos organismos acuáticos requieren niveles adecuados de oxígeno disuelto para sobrevivir.

Figura 11.

Demanda biológica de oxígeno



Nota. En la figura se visualizan los resultados del P1 “Punyaro”, P2“Mercado Nuevo”, P3 “Antiguo Camal municipal”, P4 “Vía a Selvalegre”, P5 “Unión de ríos”.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en el agua es una medida de la cantidad de oxígeno que se consume en la descomposición de materia orgánica en el agua por parte de los microorganismos que viven en ella. La DBO es un indicador importante de la calidad del agua, ya que se utiliza para evaluar la cantidad de materia orgánica presente en el agua y la eficacia de los procesos de tratamiento del agua residual. En general el DBO se considera en niveles altos cuando superan los 5-10 mg/l según la Resolución 631 de 2015 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia

(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia., 2015), en los meses de julio, agosto y septiembre, se observa especialmente en las muestras 2, 3, 4, 5 y 6, que los índices sobrepasan el nivel mencionado ut supra, esto indica la presencia de contaminantes orgánicos, como aguas residuales no tratadas que pueden tener efectos negativos en la calidad del agua y la vida acuática.

Las tablas 7, 8 y 9 serán interpretadas y analizadas de manera conjunta, con el fin de relacionar los estos obtenidos y presentados a continuación:

Tabla 7

Resultados de análisis físico – químico y microbiológico realizados durante el mes de julio

Parámetros	Unidad	LMP*	P1	P2	P3	P4	P5
Oxígeno Disuelto (OD)	**%**	>80	82,4	82,3	80,2	78,8	79,1
Coliformes fecales (CF)	**NMP/100Ml**	200	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100
Potencial de Hidrógeno (pH)	**-**	6,5-9	6,21	5,5	5,51	5,38	5,79
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	**mg/L**	20	84	96	83,8	100,4	39,4
Variación de temperatura (ΔT)	**°C**	-	5,3	5,3	3,9	3,4	4,3
Fosfatos (PO_4)	**mg/L**	0,5	0,48	1,21	4,45	3,26	2,56
Nitratos (NO_3)	**mg/L**	10	0,24	0,28	0,25	0,26	0,37
Turbidez	**NTU**	-	7,58	10,73	8,71	10	5,65
Sólidos Totales (SDT)	**mg/L**	500	87,1	176	172	238	229
Conductividad	**(µS/cm)**		127	248	251	159,	160,7

Nota. En la tabla se visualizan los resultados del P1 “Punyaro”, P2“Mercado Nuevo”, P3 “Antiguo Camal municipal”, P4 “Vía a Selvalegre”, P5 “Unión de ríos”.

Tabla 8

Resultados de análisis físico – químico y microbiológico realizados durante el mes de agosto

Parámetros	Unidad	LMP*	P1	P2	P3	P4	P5
Oxígeno Disuelto (OD)	**%**	>80	81,7	84,6	74,2	75,6	75,9
Coliformes fecales (CF)	**NMP/100ml**	200	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100
Potencial de Hidrógeno (pH)	**-**	6,5-9	6,77	5,75	5,64	5,31	5,54
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	**mg/l**	20	52,6	49,4	60	73,2	62,35
Variación de temperatura (ΔT)	**°C**	-	7,5	6,8	5,7	3,3	6,8
Fosfatos (PO_4)	**mg/l**	0,5	0,43	0,91	0,97	1,41	1,28
Nitratos (NO_3)	**mg/l**	10	0,26	0,28	0,29	0,32	0,3
Turbidez	**NTU**	-	7,45	12,99	14,76	20	17,6
Sólidos Totales (SDT)	**mg/l**	500	141,7	140,9	141,1	155,8	145,3
Conductividad	**(µS)**		181,5	304	300	369	464

Nota. En la tabla se visualizan los resultados del P1 “Punyaro”, P2“Mercado Nuevo”, P3 “Antiguo Camal municipal”, P4 “Vía a Selvalegre”, P5 “Unión de ríos”.

Tabla 9

Resultados de análisis físico – químico y microbiológico realizados durante el mes de septiembre.

Parámetros	Unidad	LMP*	P1	P2	P3	P4	P5
Oxígeno Disuelto (OD)	**%**	>80	71,5	70,5	71,1	71,4	70,3
Coliformes fecales (CF)	**NMP/100ml**	200	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100

Potencial de Hidrógeno (pH)	-	6,5-9	5,76	5,41	5,24	5,22	5,42
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	**mg/l**	20	89,2	112	120,4	204,4	225,6
Variación de temperatura (ΔT)	**°C**	-	7,7	6,1	6,4	6,2	0,3
Fosfatos (PO_4)	**mg/l**	0,5	0,6	2,42	2,76	2,89	3,42
Nitratos (NO_3)	**mg/l**	10	0,21	0,35	0,35	0,42	0,26
Turbidez	**NTU**	-	6,55	16,6	17,88	13,96	12,03
Sólidos Totales (SDT)	**mg/l**	500	167,2	190,6	199,8	284,3	305
Conductividad	**(µS)**		248	510	548	581	599

Nota. En la tabla se visualizan los resultados del P1 "Punyaro", P2"Mercado Nuevo", P3 "Antiguo Camal municipal", P4 "Vía a Selvalegre", P5 "Unión de ríos". *LMP "Límites Máximos Permisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces.

En la tabla se observa los datos recabados en el mes de septiembre, los nueve parámetros físicos, químicos y microbiológicos fueron valorados durante la época de mayor precipitación, misma que fue identificada mediante la técnica de observación in situ. Por otra parte, en la Tabla 7, se recolectaron en la época correspondiente al mes de Julio, el estado mencionado fue identificado mediante técnica de observación in situ; la extracción de muestras se hizo en un total de 3 salidas a campo, siendo esta la primera.

Es menester considerar los valores de OD en todos los puntos de muestreo están por encima del límite mínimo permisible (>80%). Esto indica una presencia adecuada de oxígeno disuelto en el agua durante el mes de agosto. No obstante, con respecto a la valoración de coliformes fecales, cada uno de los puntos valorados en los diferentes meses muestran una concentración de coliformes fecales por encima del límite máximo permisible (200 NMP/100ml), lo que indica una contaminación bacteriana significativa.

Así también, los valores de pH en todos los puntos de muestreo están por debajo del rango permitido (6,5-9), lo que indica una acidez anormalmente alta en el agua. Dichos, resultados compaginan con la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), donde se obtiene en todos los puntos de muestreo valores que superan el límite máximo permisible

(20 mg/l), lo que indica una alta carga orgánica en el agua y una mayor demanda de oxígeno para la descomposición. Los resultados presentados se relacionan con el estudio denominado el agua de los ríos en Otavalo presenta altos niveles de contaminación por la actividad industrial, la agricultura y la disposición inadecuada de residuos sólidos y líquidos (Galarza, 2011), donde se concluye que las aguas del camal son evacuadas en el río Tejar sin ningún tipo de tratamiento.

Con respecto a la Valoración de Temperatura, se observa que existe una variación en la temperatura del agua en todos los puntos de muestreo, sin que se establezca un límite específico. En cuanto a la valoración de los Fosfatos (PO4), se visualiza que se encuentran por encima del límite máximo permisible (0,5 mg/l), lo que indica una contaminación por fosfatos en el agua, en todos los puntos.

Por otra parte, los Nitratos (N03) en todos los puntos de muestreo están por debajo del límite máximo permisible (10 mg/l), indicando una concentración dentro de los límites aceptables. La Turbidez en todos los puntos de muestreo se encuentra sin límite máximo permisible establecido.

Finalmente, en torno a los sólidos totales (SDT) en todos los puntos de muestreo están por debajo del límite máximo permisible (500 mg/l), indicando una concentración aceptable de sólidos en el agua, y con referencia a la conductividad se observa en todos los puntos que se encuentran sin límite máximo permisible establecido.

Tabla 10

Frecuencia de macroinvertebrados recolectados en los puntos de muestreo, con su respectiva calificación de acuerdo con el índice Biótico Andino ABI, en el mes de julio a septiembre del 2022.

Índice Biótico Andino (ABI)						
Orden	**Familia**	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**
Oligochaeta	-	-	1	1	1	-
Ephemeroptera	Baetidae	4	-	4	4	-
Trichoptera	Hydrobiosidae	-	-	-	-	8
Diptera	Psychodidae	3	3	-	-	3
	Muscidae		2	2	2	2
	Chironomidae	2	2	2	2	2

Turbellaria	-	-	-	-	-	5
Gasteropoda	Lymnaeidae	-	-	-	-	3

Nota. En la tabla se visualizan los resultados del P1 "Punyaro", P2"Mercado Nuevo", P3 "Antiguo Camal municipal", P4 "Vía a Selvalegre", P5 "Unión de ríos".

Así también se evidencia que en el punto 5 estuvieron presentes 3 familias que no se recolectaron en otros puntos, estas también denotan una calificación relativamente alta con respecto a los demás macroinvertebrados colectados, esto puede ser debido a la presencia cercana de otra fuente de agua, el río Jatunyacu.

Tabla 11

Frecuencia de macroinvertebrados recolectados en los puntos de muestreo, con su respectiva calificación de acuerdo con el índice Biótico Andino ABI.

Índice Biótico Andino (ABI)						
Orden	**Familia**	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**
Oligochaeta	-	-	1	1	1	-
Ephemeroptera	Baetidae	4	-	4	4	-
Diptera	Psychodidae	3	3	-	-	3
	Muscidae		2	2	2	2
	Chironomidae	2	2	2	2	2

Nota. P1 "Punyaro", P2"Mercado Nuevo", P3 "Antiguo Camal municipal", P4 "Vía a Selvalegre", P5 "Unión de ríos".

En el presente estudio, se colectó un total de 3 órdenes y 5 familias, esta reducción puede deberse al arrastre de material y crecida del río.

Tabla 12

Calidad de Agua, de acuerdo con el Índice de Calidad de Agua ICA

Mes	P1	P2	P3	P4	P5
Julio	51	41	39	39	40
Agosto	49	46	45	39	37
Septiembre	45	35	35	35	37

Nota. P1 "Punyaro", P2"Mercado Nuevo", P3 "Antiguo Camal municipal", P4 "Vía a Selvalegre", P5 "Unión de ríos".

El índice de calidad del agua es una medida que se utiliza para evaluar la calidad del agua en una determinada ubicación o cuerpo de agua. Es importante resaltar que en base a los datos obtenidos en el mes de septiembre existió mayor precipitación (Weather Spark, 2022), por ende, existió mayor arrastre de contaminantes tales como sustancias químicas, sedimentos, nutrientes, entre otros, desde la superficie del suelo y otros lugares hacia el río Tejar.

Tabla 13

Calidad de Agua, de acuerdo con el Índice Biótico Andino ABI

Época	P1	P2	P3	P4	P5
Julio	9	8	9	9	23
Agosto	9	8	9	9	23
Septiembre	9	8	9	9	7

Nota. P1 "Punyaro", P2"Mercado Nuevo", P3 "Antiguo Camal municipal", P4 "Vía a Selvalegre", P5 "Unión de ríos".

El Índice Biótico Andino (ABI) es una herramienta utilizada para evaluar la calidad del agua en ecosistemas andinos, en los meses de julio y agosto, debido a que no se produjo un arrastre hubo mayor variedad, pero esta no fue suficiente para determinar una calidad alta en el agua del Río Tejar, es decir, que el ecosistema acuático refleja una baja calidad de agua debido a los contaminantes identificados en la evaluación de muestras.

5.2. Propuesta para mejorar la calidad del agua del río Tejar

5.2.1. Visión

Que en el año 2050 llegue a ser el río Tejar del cantón Otavalo, una fuente hídrica con una calidad del agua adecuada para la vida acuática.

5.2.2. Objetivo

Orientar acciones de la ENCA encaminadas a solucionar la problemática de la calidad del agua en el Río Tejar.

5.2.3. Meta

- Mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, eliminando los vertidos y minimizando la liberación de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad la proporción de aguas residuales no tratadas y aumentando el reciclaje y la reutilización segura para el 2050.
- Proteger y restaurar los ecosistemas acuáticos, incluyendo montañas, bosques, humedales, ríos, acuíferos y lagos para 2030.
- Desarrollar medidas para prevenir la introducción y reducir significativamente el impacto de especies alienígenas invasivas sobre la tierra y los ecosistemas acuáticos y controlar o erradicar aquellas especies más dañinas en el año 2030.

5.2.4. Alcance

El presente proyecto tiene una aplicación nacional considerando las unidades de planificación hídrica, las prioridades de intervención a nivel de prestadores de servicios, las fuentes de agua, los consumidores y los generadores de descargas líquidas. Las líneas de acción buscan dar soluciones integrales y coordinadas, sin fraccionar el accionar institucional respecto a la calidad del agua. Además, considera que el involucramiento y compromiso de los diferentes actores es preponderante en la efectividad de las acciones propuestas y en el mejoramiento de la calidad del agua. La Estrategia de Calidad del Agua propone establecer un marco de trabajo conformado por cinco grandes componentes: 1) Visión; 2) Objetivo; 3) Ejes y 4) Estrategias; mismos que apuntan a resolver las principales problemáticas que ocasionan la degradación de la calidad del agua que deriva en la contaminación de los ecosistemas y las enfermedades de origen hídrico.

5.2.5. Estrategias

El río Tejar es un afluente que se encuentra en la provincia de Imbabura, en el norte de Ecuador. Su fuente se encuentra en la laguna de Mojanda y fluye hacia el Sur a través de la ciudad de Otavalo, antes de unirse al río Jatunyacu y convertirse en el río Ambi.

Es importante recalcar que para la región en términos de recursos hídricos y también tiene un valor cultural y recreativo para la comunidad local, es relevante. Sin embargo, el río Tejar también ha sufrido los efectos de la contaminación y la degradación ambiental. La descarga de aguas residuales y desechos industriales sin tratamiento adecuado ha afectado negativamente la calidad del agua del río, lo que ha tenido un impacto en la salud de la flora y fauna que dependen del río.

En base en lo manifiesto se plantea las siguientes propuestas enfocadas en minimizar los impactos ambientales para el mejoramiento de la calidad de la fuente hídrica.

- Biorremediación: La biorremediación es un método efectivo para la eliminación de contaminantes orgánicos en aguas de río contaminadas. Un estudio realizado por Góngora (2021), donde se evaluó la eficacia de la biorremediación en la eliminación de metales pesados de las aguas de río contaminadas. Los resultados mostraron que la biorremediación con microorganismos específicos fue efectiva para la eliminación de metales pesados del agua.

- Fitorremediación: La fitorremediación es otro método efectivo para la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos en aguas de río contaminadas. Un estudio realizado Cornejo y Huamani (2021) evaluó la eficacia de la fitorremediación en la eliminación de nutrientes y metales pesados de las aguas de río contaminadas. Los resultados mostraron que la fitorremediación con plantas acuáticas específicas fue efectiva para la eliminación de nutrientes y metales pesados del agua.

- Adsorción: La adsorción es un método efectivo para la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos en aguas de río contaminadas. Un estudio realizado por Rosales y Quevedo (2019) evaluaron la eficacia de la adsorción con carbón activado en la eliminación de contaminantes orgánicos de las aguas de río

contaminadas. Los resultados mostraron que la adsorción con carbón activado fue efectiva para la eliminación de contaminantes orgánicos del agua.

- Oxidación avanzada: La oxidación avanzada es un método efectivo para la eliminación de contaminantes orgánicos persistentes en aguas de río contaminadas. Un estudio realizado por López, Castellano, Lango, Castañeda, Montoya, Sosa y Ortiz (2021) valoraron que la eficacia de la oxidación avanzada con peróxido de hidrógeno y luz ultravioleta en la eliminación de pesticidas de las aguas de río contaminadas. Los resultados mostraron que la oxidación avanzada fue efectiva para la eliminación de pesticidas del agua.

- Tratamiento fisicoquímico: El tratamiento fisicoquímico es un método efectivo para la eliminación de partículas y materia orgánica en aguas de río contaminadas. Un estudio realizado por Ackemann y Carcasi (2021) evaluó la eficacia del tratamiento fisicoquímico en la eliminación de materia orgánica de las aguas de río contaminadas. Los resultados mostraron que el tratamiento fisicoquímico con sedimentación, coagulación y filtración fue efectivo para la eliminación de materia orgánica del agua.

5.2.6. Responsables

Los principales actores de acción para el mejoramiento de la calidad del agua es el Gad Municipal de Otavalo mediante el departamento de obras públicas, medio ambiente y EMAPA.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- Con base al diagnóstico realizado a través de la recolección en distintos meses de las muestras; al analizarlas se evidencia que en el mes de Septiembre existe un incremento de la presencia de contaminantes, llegando a alcanzar un DBO_5 de 225,6 mg/l en el P5 (Unión de ríos), así también, Nitratos que se encontraban en 0,42 mg/l en el P4 (Vía a Selvalegre), turbidez de 17, 88 NTU en el P3 (Antiguo Camal municipal), sólidos totales de 419 mg/l, fosfatos de 2,89 mg/l en el P4 (Vía a Selvalegre), los cuales inciden en el ICA Y ABI. Es importante precisar que a pesar de que NTU, se encuentra dentro de los parámetros establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, por ende, existen otros elementos que inciden sobre la calidad general del agua para la vida acuática.

- Las muestras recolectadas en Julio y Agosto, presentan mayor variedad de macroinvertebrados, sin embargo, existe prevalencia de contaminantes que afectan el exosistema acuático, por lo tanto es indispensable mencionar que con referencia al oxígeno disuelto existe porcentajes identificados menores a 5 mg/L en el mes de septiembre y agosto (P3), por lo tanto es un indicador que afecta negativamente sobre la vida acuática, ya que esta debido al valor marcado dicha zona se encontraría en un estado hipóxico.

- Con referencia al índice Biótico Andino se observa mayor presencia de la familia de Chironomidae, la cual estuvo presente en la colecta de las cinco muestras en los cinco puntos seleccionados, es decir, con base en los datos recopilados indica en el presente estudio un alto nivel de materia orgánica en el agua y una mala calidad del agua en el rio Tejar.
- Existen abundante presencia de Coliformes fecales en las muestras extraídas, estos microorganismos pueden consumir el oxígeno disuelto en el agua, lo que puede provocar la muerte de los organismos que dependen de dicho medio. Además, la presencia de coliformes fecales en el agua puede indicar la presencia de otros patógenos que pueden ser dañinos para la vida acuática.

- El cuerpo hídrico presenta un deterioro significativo en el ICA, es relevante mencionar que el rio Tejar es un afluente, es decir, el curso de agua que desemboca en otro cuerpo de agua más grande, por ende, debido al diagnóstico realizado en el presente estudio pueden transportar una amplia variedad de contaminantes, y al no ser tratados o manejados de forma adecuada, generan un impacto negativo en la calidad del agua y en la salud de los ecosistemas acuático.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el GADM-O, incida en el Plan de Manejo Ambiental referente al Río Tejar, mediante la implementación de propuestas para el tratamiento dentro de las principales que se considera en el presente estudio para el mejoramiento de la calidad de la fuente hídrica es la biorremediación, fitorremediación, adsorción, oxidación avanzada y tratamiento fisicoquímico.

- Es indispensable realizar un control para la mitigación del depósito de desechos en el Río Tejar, los cuales inciden sobre el ecosistema acuático reduciendo la biodiversidad de flora y fauna marina, y ocasionando impactos sobre el ICA y ABI.

- Para próximas investigaciones se recomienda realizar un estudio de campo de los ríos que tienen conexión con el río Tejar, con la finalidad de analizar la posible contaminación por afluencia y poder establecer medidas de protección oportunas para evitar que la calidad del agua se torne afectada.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaiquema, Vera, & Zumba. (2019). Enfoques para la formulación de la hipótesis en la investigación científica. . *Conrado,*, 354-360.

Barceló, & López. (2008). Contaminación y Calidad Química del Agua: El problema de los contaminantes emergentes. *Panel Científico-Técnico de Seguimiento de la Política de Aguas*, 1-27.

Caho, & López. (2017). Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. *Producción + Limpia* -, 35-49.

Clavijo Alarcón, J. C. (2023). Caracterización de arenas ilmeniticas de origen colombiano con potencial aplicación en procesos de remediación ambiental en Cr+ 6.

Dunette, A. (1979). A Geographically Variable Water Quality Index Used in Oregon. *Journal of the Water Pollution*.

Fernandez, & Solano. (2005). *Índices de calidad y de contaminación del agua.* Pamplona, España: Universidad de Pamplona.

Fernandez, N. (2005). *Indíces de calidad y contaminación del Agua* . Pamplona, España: Universidad de Pamplona.

Galarza. (s.f. de Agosto de 2011). *Diagnóstico y desarrollo del pan de manejo ambiental para el camal de Otavalo.* Obtenido de bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3883/3/CD-3623.pdf: https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3883/3/CD-3623.pdf

García, M. (2010). Biología y Geología. En J. Rodriguez, *Contaminación ambiental en Colombia* (págs. 255-288). Colombia. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Manuel-Rodriguez-80/publication/263925744_La_hidrosfera_El_ciclo_del_agua_La_contaminacion_del_agua_Metodos_de_analisis_y_depuracion_El_problema_de_la_escasez_del_agua/links/5486d67c0cf2ef34478c2e1e/La-hidrosfera-El-ci

Goykovic, Nina, & Calle. (2014). Efectos de la salinidad sobre la germinación y crecimiento vegetativo de las plantas de tomate silvestre y cultivadas . *IIverciencia*, 511-517.

Guanoquiza, Anttúnez, & Zúñiga. (15 de Junio de 2019). La contaminación ambiental en los acuíferos de Ecuador. Necesidad de su reversión desde las políticas públicas con enfoque bioético. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y cambio climático*. Obtenido de Revista Iberoamericana de Bioeconomía y cambio climático: http://portal.amelica.org/ameli/journal/394/3941756001/html/

Haro Velarde, N. (2021). Especificación de alternativas en la formación de la agenda para la remediación del Río Sonora por el derrame de lixiviados de cobre.

Hernández, L. S. (2017). *Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador*. Portoviejo, Ecuador: Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382017000300004&script=sci_arttext&tlng=pt

Meneses, Castro, & Jaramillo. (2018). COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN DOS RÍOS ALTOANDINOS MEDIANTE EL USO DE LOS ÍNDICES BMWP/COL. Y ABI. *Revista unal*, 299-310.

Ministerior de ambiente y desarrollo sostenible. (s.f. de s.f. de 2022). *Indicadores*. Obtenido de Ideam: http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1

Northcote, T. G. (1991). Eutrofización y problemas de polución. En C. D. Iltis, *El lago Titicaca: Síntesis del conocimiento limnológico actual* (págs. 563-573). La Paz, Bolivia: Hisbol. Obtenido de https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers08-10/36651.pdf

Nuñez. (2019). Creación de una microempresa comercializadora de tintes textiles biodegradables en Otavalo . *Revista Sarance N°43*, 159 - 179.

OCHA. (30 de Mayo de 2017). *20.7% del agua que se consume en Ecuador está contaminada*. Obtenido de News and Press Release: https://reliefweb.int/report/ecuador/207-del-agua-que-se-consume-en-ecuador-est-contaminada#:~:text=M%C3%A1s%20de%20la%20mitad%20del,est%C3%A1%20contaminado%20con%20heces%20fecales.

Olguín, González, Sánchez, Zamora, & Owen. (2010). Contaminación de ríos urbanos: El caso de la subcuenca del río Sordo en Xalapa, Veracruz, México. *Revista Latinoamericana de Biotecnología*, 178-190. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Eugenia-Olguin/publication/268347238_Contaminacion_de_rios_urbanos_El_caso_de_la_subcuenca_del_rio_Sordo_en_Xalapa_Veracruz_Mexico/links/5491adb00cf23b7c974c1432/Contaminacion-de-rios-urbanos-El-caso-de-la-subcuenca-de

Organización de las Naciones Unidas. (19 de marzo de 2018). *Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018*. Obtenido de www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2018: https://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2018

Organización de las Naciones Unidas. (2019). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de Recursos Hídricos . UN WATER, 12-197.

Pino, S. L., Barros, D. V., Sisalema, L. A., Fernández, P. L., & Molina, C. D. (2021). El costo de remediación del recurso agua por contaminación de coliformes fecales en el Estero Salado, sector La Chala, Guayaquil-Ecuador. Revista Espacios, 42(4), 102-120.

Rodrígues, Ríos, Espinosa, Cedeño, & Jiménez. (2016). Caracterización de la calidad de agua mediante macroinvertebrados bentónicos en el río Puyo, en la Amazonía Ecuatoriana. *Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 497-507.

Roldán, G. (1996). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia.* Bogotá: Universidad de Antioquia. Obtenido de https://ianas.org/wp-content/uploads/2020/07/wbp13.pdf

Salas, Maraver, Rodríguez, Sáenz, & Moreno. (2020). Importancia del consumo de agua en la salud y la prevención de la enfermedad: situación actual. *Aran*, 1072-1086.

Samboni, N. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. 172-181. Obtenido de https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/28869/14858-44740-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sanz, J. S. (2007). Agua es Vida. *Rev. Real Academia de Ciencias*. Obtenido de https://www.bifi.es/~jsancho/estructuramacromoleculas/1aguaylasmembranasbiologicas/AGUAESVIDA.pdf

Unesco . (s.f. de s.f. de 2021). *Abordar la escasez y la calidad del agua*. Obtenido de es.unesco.org: https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/escasez-calidad

United States Enviromental Protection Agency. (29 de septiembre de 2022). *Tecnologías de remediación para limpiar sitios contaminados*. Obtenido de Tecnologías para la limpieza de sitios contaminados: https://www.epa.gov/remedytech/remediation-technologies-cleaning-contaminated-sites

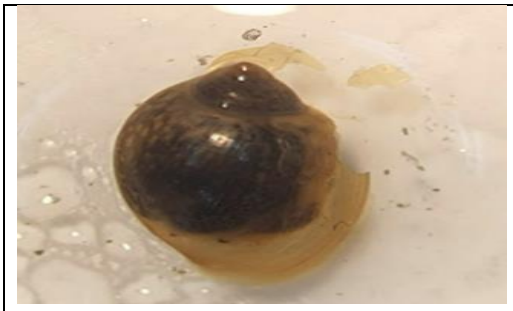
World Health Organization . (27 de Junio de 2011). *Directrices para la calidad del agua potable, 4ª edición*. Obtenido de who.int/publications/i/item/9789241548151: https://www.who.int/publications/i/item/9789241548151

Yamberla. (1 de Febrero de 2013). *Sistema electrónico para medir los niveles de contaminación en el aire provocado por la desembocadura de aguas servidas en el rio el tejar en el sector el batán del cantón de Otavalo provincia de Imbabura.* Obtenido de http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13403: file:///C:/Users/Crhis/Downloads/04%20RED%20320%20TRABAJO%20DE%20GRADO%20(4).pdf

ANEXOS

Anexo 1. Catálogo de macroinvertebrados acuáticos Río Tejar

Imagen	Detalle
	**Orden:** Díptera **Familia:** psychodidae **Punto:** 1,2
	**Orden:** Oligochaeta **Punto:** 2,3,4
	**Orden:** Díptera **Familia:** muscidae **Punto:** 4
	**Orden:** Turbellaria **Punto:** 5

	**Orden:** Gasteropoda **Familia:** Lymnaeidae **Punto:** 5
	**Orden:** Díptera **Familia:** Chironomidae **Punto:** 1, 2, 3, 4, 5
	**Orden:** Díptera **Familia:** chironomidae **Punto:** 1, 2, 3, 4, 5
	**Orden:** Ephemeroptera **Familia:** baetidae **Punto:** 1,3,4
	**Orden:** Díptera **Familia:** muscidae **Punto:** 2,3,4

	**Orden:** Oligochaeta **Punto:** 4
	**Orden:** Díptera **Familia:** psychodida **Punto:** 5
	**Orden:** Díptera **Familia:** muscidae **Punto:** 4,5
	**Orden:** Trichoptera **Familia:** hydrobiosidae **Punto:** 5
	Orden: Díptera

	**Familia:** Chironomidae **Punto:** 1,3,4

ANEXO 2. Figura de Clasificación de macroinvertebrados

FIGURA 2. Clasificación de macroinvertebrados

ORDEN	FAMILIA	ABI
Acari	Hydrachnidia	4
Amphipoda	Hyalellidae	6
Annelida	Oligochaeta	1
Coleóptera	Elmidae	5
	Lampyridae	5
	Psephenidae	5
	Scirtidae	5
	Staphylinidae	3
Díptera	Chironomidae	2
	Tabanidae	4
	Simuliidae	5
	Tipulidae	5
	Ceratopogonodae	4
	Blephariceridae	10
	Muscidae	2
	Empididae	4
	Psychodidae	3
Ephemeróptera	Baetidae	4
	Oligoneuridae	10
	Leptohypidae	7
	Leptophlebiidae	10
Gastrópoda	Planorbidae	3
Heteróptera	Corixidae	5
	Gerridae	5
Lepidóptera	Pyralidae	4
Hirudínea	Glossiphoniidae	3

Fuente: Tomado de Sthudholme (2015)

Anexo 3. Tabla de valor ABI

VALOR ABI	CALIDAD DEL AGUA
>74	Muy Buena
45-74	Aceptable
27-44	Dudosa
0-26	Crítica

Fuente: Tomado de Sthudholme (2015)

Anexo 4. Registro fotográfico



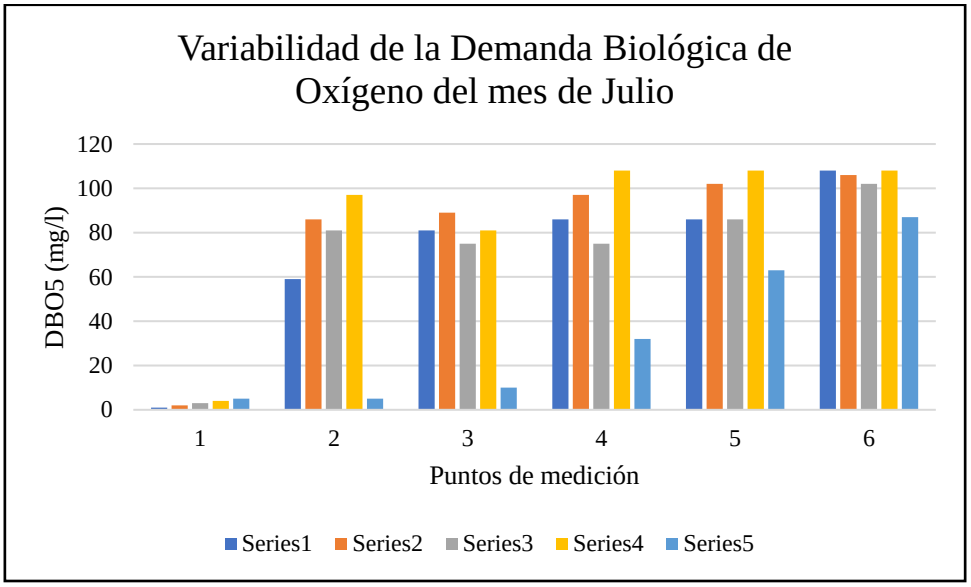






Anexo 5. Resultados mes a mes, Demanda Biológica de Oxigeno

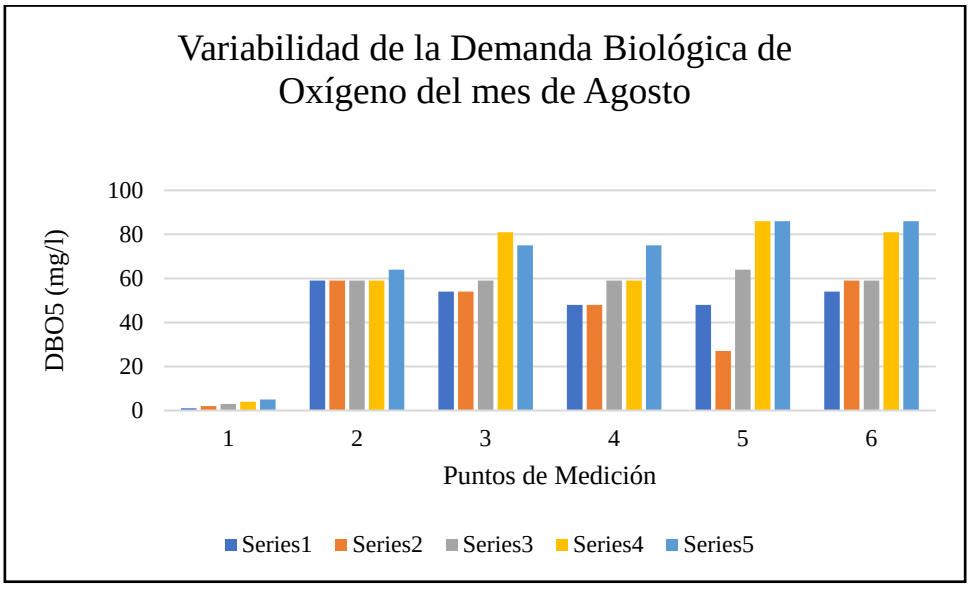
FIGURA 7. *DEMANDA BIOLOGICA DE OXIGENO – JULIO*



Fuente: Elaboración propia (2022)

Nota. P1 “Punyaro”, P2“Mercado Nuevo”, P3 “Antiguo Camal municipal”, P4 “Vía a Selvalegre”, P5 “Unión de ríos”.

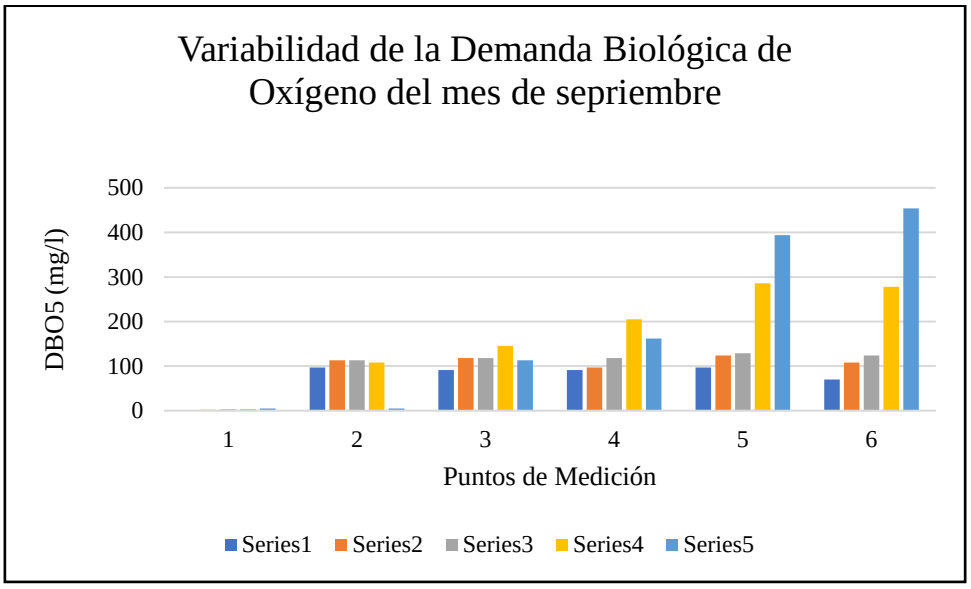
FIGURA 83. *DEMANDA BIOLOGICA DE OXIGENO – AGOSTO*



Fuente: Elaboración propia (2022)

Nota. P1 “Punyaro”, P2“Mercado Nuevo”, P3 “Antiguo Camal municipal”, P4 “Vía a Selvalegre”, P5 “Unión de ríos”.

FIGURA 94. DEMANDA BIOLOGICA DE OXIGENO – SEPTIEMBRE



Fuente: Elaboración propia (2022)

Nota. P1 “Punyaro”, P2“Mercado Nuevo”, P3 “Antiguo Camal municipal”, P4 “Vía a Selvalegre”, P5 “Unión de ríos”.