



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Evaluación de la calidad del agua en la microcuenca Pumamaqui mediante el
cálculo del WQI-NSF**

**BENAVIDES LUCERO HAYDEE PAMELA
INGENIERA AMBIENTAL**

**JAPON MACAS MARIA ANTONIA
INGENIERA AMBIENTAL**

**MACHALA
2025**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Evaluación de la calidad del agua en la microcuenca Pumamaqui
mediante el cálculo del WQI-NSF**

**BENAVIDES LUCERO HAYDEE PAMELA
INGENIERA AMBIENTAL**

**JAPON MACAS MARIA ANTONIA
INGENIERA AMBIENTAL**

**MACHALA
2025**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

**Evaluación de la calidad del agua en la microcuenca Pumamaqui
mediante el cálculo del WQI-NSF**

**BENAVIDES LUCERO HAYDEE PAMELA
INGENIERA AMBIENTAL**

**JAPON MACAS MARIA ANTONIA
INGENIERA AMBIENTAL**

VARGAS COLLAGUAZO LUIS ANGEL

**MACHALA
2025**



BENAVIDES - JAPON TESIS

2%
Textos sospechosos



< 1% Similitudes
< 1% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
12% Idiomas no reconocidos (ignorado)

Nombre del documento: BENAVIDES - JAPON TESIS.docx
ID del documento: df77951241f6d51b77c56bd62584affb3e4c2bec
Tamaño del documento original: 2,02 MB

Depositante: LUIS ANGEL VARGAS COLLAGUAZO
Fecha de depósito: 25/7/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 25/7/2025

Número de palabras: 20.890
Número de caracteres: 136.299

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes de similitudes

Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #e3cd33 Viene de de otro grupo 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (51 palabras)
2	sbp.studylib.es https://sbp.studylib.es/store/data/007482135.pdf?k=EwAAAZbkt848AAACWCABQdADA93WAA... 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (68 palabras)
3	doi.org Heavy Metals in Water and Sediments and Their Impact on Water Qualit... https://doi.org/10.46488/nept.2024.v23i04.003 9 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (74 palabras)
4	produccioncientificaluz.org https://produccioncientificaluz.org/index.php/rluz/article/view/39435 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (66 palabras)
5	link.springer.com https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-022-10198-2 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (64 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #ec66d5 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (39 palabras)
2	www.mdpi.com Integrating Water Quality Index (WQI) and Multivariate Statistic... https://www.mdpi.com/2073-4441/16/23/3412	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (37 palabras)
3	repositorio.espe.edu.ec https://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/36904/T-ESPE-058175.pdf?seq... 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)
4	link.springer.com Enhancing water management in South Africa: the need for e... https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/s40068-025-00400-y.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)
5	dx.doi.org Sólidos totales disueltos en agua superficial para consumo humano e... http://dx.doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i24.310	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (32 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28920
2	https://www.researchgate.net/publication/327230718_Delimitacion_y_Codificacion_de_Cuencas_Hidrograficas
3	http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23518
4	https://communities.unep.org/spaces/gemswater/overview
5	http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v38n3/riha04317.pdf

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Las que suscriben, BENAVIDES LUCERO HAYDEE PAMELA y JAPON MACAS MARIA ANTONIA, en calidad de autoras del siguiente trabajo escrito titulado Evaluación de la calidad del agua en la microcuenca Pumamaqui mediante el cálculo del WQI-NSF, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Las autoras declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Las autoras como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



BENAVIDES LUCERO HAYDEE PAMELA

0707080628



JAPON MACAS MARIA ANTONIA

0705716199

DEDICATORIA

A mis padres Miriam Lucero y Lenin Benavides que desde siempre han estado conmigo apoyándome en cada una de mis metas y fueron el soporte para este trabajo, por ser ejemplo de perseverancia, esfuerzo, trabajo y amor, que cada día me demuestran que si amamos a Dios todas las cosas nos obran para bien.

Pamela Benavides Lucero

A Dios por darme sabiduría, a mis abuelos Rosa y Floresmilo que han sido mi fortaleza con su apoyo incondicional, mis hermanos Viviana, Estefanía, William, Adrian y Marcos, a mis padres y a mi tía Cecilia, por siempre estar presentes dándome ánimos, por su cariño que han sido mi fortaleza para cumplir este propósito.

Antonia Japon Macas

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sobre todo a Dios la fuente de vida, el ser que nunca te abandona porque ha sido mi ancla y fortaleza en los momentos de incertidumbre, el que me da una paz incondicional en cada circunstancia. Es el Dios de lo imposible, porque con él todo se puede, mi familia y yo somos un reflejo de ello, este trabajo es una prueba de ello, el abre las puertas cuando uno piensa que están cerradas, y me dio sabiduría y salud para culminar este trabajo.

A mi familia que son mis padres y mis hermanas Gabriela y Camila porque siempre estuvieron conmigo en cada momento y etapa estudiantil confiaron en mí los amo con todo mi corazón, suerte la mía de forma parte de esa familia que sobre tiene su base en Dios y en su amor incondicional, quienes me enseñaron con el ejemplo la palabra de Dios; esfuérzate y sé valiente no temas ni desmayes que Dios siempre estará contigo.

A mi compañera Antonia Japón, que ha sido parte de este proceso en el que juntas hemos salido adelante, a ella que es la persona más inteligente y esforzada con la que he trabajado, es un ejemplo de perseverancia y valentía.

Pamela Benavides Lucero

A Dios por darme paciencia y perseverancia en momento difíciles, a mis abuelos Rosa Gualan y Floresmilo Macas por su cariño y consejos, por su ejemplo de perseverancia, a mi hermano William por ese apoyo incondicional y a toda mi familia, gracias por escucharme siempre, por darme ánimos en los momentos en lo que ni yo misma creo en mí, por recordarme que con esfuerzo y dedicación es posible lograr nuestros objetivos. A mi compañera de Pamela Benavides por su colaboración y valioso aporte que contribuyó a que este trabajo se realice de la mejor manera. A mi tutor ingeniero Luis Vargas por guiarnos con sus conocimientos en el proceso del desarrollo de este proyecto.

Antonia Japon Macas

RESUMEN

El estudio de calidad del agua es considerado actualmente como el factor más importante para aplicar una adecuada gestión en una microcuenca, nos permite identificar los problemas y tomar acciones necesarias como aplicar un monitoreo y seguimiento. El presente trabajo de investigación se planteó como objetivo evaluar la calidad del agua de la microcuenca Pumamaqui. Para ello, se realizó una delimitación técnica haciendo uso de la metodología Pfafstetter, un programa de monitoreo según los procedimientos planteados en las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN 2226: 2013, NTE INEN 2169: 2013 y NTE INEN 2176: 2013 con ellas se determinó el objetivo del programa que es identificación de fuentes de contaminación, para determinar su calidad se aplicó el índice de calidad del agua propuesta por la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos que posee 9 parámetros; temperatura, sólidos totales, turbiedad, oxígeno disuelto, pH, demanda bioquímica de oxígeno, fosfatos, nitratos y coliformes fecales, con el cálculo del índice implementamos ajustes polinomiales a las curvas para mayor exactitud. Con la caracterización del área de estudio se obtuvieron los 4 puntos de muestreo, los resultados obtenidos del análisis presentan que la microcuenca tiene una buena calidad de agua con valores que van desde 83,45 WQI-NSF a 91,07 WQI-NSF, se analizó de forma independiente cada parámetro los cuales reflejaron que los niveles de fosfatos cuentan con menor calidad, debido principalmente por las actividades que se desarrollan en la microcuenca.

Palabras clave: Programa de monitoreo, calidad del agua, índice de calidad del agua NSF, gestión del agua, parámetros de calidad.

ABSTRACT

The study of water quality is currently considered the most important factor to apply adequate management in a micro-basin, it allows us to identify problems and take necessary actions such as applying monitoring and follow-up. The present research work was aimed at evaluating the water quality of the Pumamaqui micro-basin. For this, a technical delimitation was carried out using the Pfafstetter methodology, a monitoring program according to the procedures set out in the Ecuadorian Technical Standards NTE INEN 2226: 2013, NTE INEN 2169: 2013 and NTE INEN 2176: 2013. With them, the objective of the program was determined, which is the identification of sources of contamination. To determine its quality, the water quality index proposed by the National Sanitation Foundation of the United States was applied, which has 9 parameters; temperature, total solids, turbidity, dissolved oxygen, pH, biochemical oxygen demand, phosphates, nitrates and fecal coliforms, with the calculation of the index we implemented polynomial adjustments to the curves for greater accuracy. With the characterization of the study area, the 4 sampling points were obtained, the results obtained from the analysis show that the micro-basin has good water quality with values ranging from 83,45 WQI-NSF to 91,07 WQI-NSF, each parameter was analyzed independently, which reflected that the levels of nitrates and phosphates have lower quality, mainly due to the activities that take place in the micro-basin.

Keywords: Monitoring program, water quality, Water Quality Index- NSF, water management, quality parameters.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	3
ABSTRACT	4
I. INTRODUCCIÓN	10
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
A. Antecedentes	13
III. JUSTIFICACIÓN.....	15
IV. OBJETIVOS	17
A. Objetivo general	17
B. Objetivos específicos	17
V. MARCO TEÓRICO	18
A. Cuenca hidrológica.....	18
B. Características de la microcuenca.....	18
C. Dinámica del agua en microcuencas	19
D. Ciclo hidrológico	20
E. Importancia de la microcuenca para el ciclo hidrológico	22
F. Amenazas que enfrentan las microcuencas.....	23
G. Servicios ecosistémicos	24
H. Importancia de los servicios ecosistémicos.....	25
I. Calidad del agua.....	26
J. Contaminación del agua	26
K. Seguridad hídrica.....	27
L. Caudal ecológico.....	27
M. Índices de calidad del agua	28
N. Índice de contaminación del agua	28

O. Índice de calidad del agua de Brown WQI-NSF	30
VI. METODOLOGÍA	40
A. Área de estudio	40
B. Materiales y métodos.....	42
VII. RESULTADOS	52
A) Delimitación y caracterización de la microcuenca Pumamaqui	52
B) Puntos de muestreo seleccionados	53
C) Parámetros del WQI-NSF	57
D) Calidad del agua de la microcuenca Pumamaqui.....	57
VIII. DISCUSIÓN.....	62
IX. CONCLUSIONES	67
X. RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS	70
ANEXOS.....	85

LISTA DE TABLAS

TABLA I NIVELES DE CONTAMINACIÓN POR FÓSFORO TOTAL	29
TABLA II AJUSTE DE CURVAS PARA PARA DETERMINAR LOS FACTORES DE ESCALA Qi.....	38
TABLA III COBERTURA Y USO DE SUELO DE LA MICROCUENCA PUMAMAQUI.....	42
TABLA IV CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS CONFORME NTE INEN 2169: 2013..	45
TABLA V PESOS RELATIVOS DE LOS PARÁMETROS DEL WQI-NSF	49
TABLA VI ESCALA DE CLASIFICACIÓN DEL WQI-NSF.....	51
TABLA VII CARACTERÍSTICAS DE LA MICROCUENCA	53
TABLA VIII PUNTOS DE MUESTREO	53
TABLA IX RESULTADO DE LOS PARÁMETROS.....	57
TABLA X RESULTADO DEL WQI-NSF DEL PUNTO 1	58
TABLA XI RESULTADO DEL WQI-NSF DEL PUNTO 2.....	59
TABLA XII RESULTADO DEL WQI-NSF DEL PUNTO 3.....	59
TABLA XIII RESULTADO DEL WQI-NSF DEL PUNTO 4	60

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Ciclo del agua	22
Fig. 2. Contaminación del agua por infiltración.....	23
Fig. 3. Función de calidad NSF Temperatura °C	33
Fig. 4. Función de calidad NSF Turbiedad	33
Fig. 5. Función de calidad NSF Sólidos Totales	34
Fig. 6. Función de calidad NSF Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto	34
Fig. 7. Función de calidad NSF Potencial de Hidrógeno (pH)	35
Fig. 8. Función de calidad NSF Demanda Bioquímica de Oxígeno	35
Fig. 9. Función de calidad NSF Nitratos	36
Fig. 10. Función de calidad NSF Fosfatos	36
Fig. 11. Función de calidad NSF Coliformes Fecales.....	37
Fig. 12. Ubicación del área de estudio	40
Fig. 13. Cobertura y uso de suelo de la microcuenca Pumamaqui.....	41
Fig. 14. Proceso de delimitación de microcuencas mediante el método Pfafstetter	43
Fig. 15. Muestras recolectadas de los puntos de muestreo. a) punto 1; b) punto 2; c) punto 3; d) punto 4.....	47
Fig. 16. Curvas del WQI-NSF con ajustes polinomiales para determinar el valor Qi. (a) Temperatura; (b) Turbiedad; (c) Sólidos totales; (d) Oxígeno disuelto; (e) pH; (f) Demanda bioquímica de oxígeno; (g) Nitratos; (h) Fosfatos; (i) Coliformes fecales.	51
Fig. 17. Microcuenca Pumamaqui, resultado de la de delimitación	52
Fig. 18. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo.....	54
Fig. 19. Punto de muestreo 1	55
Fig. 20. Punto de muestreo 2.....	55
Fig. 21. Punto de muestreo 3.....	56
Fig. 22. Punto de muestreo 4.....	56
Fig. 23. Variación de la calidad en los diferentes puntos de muestreo	61

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

WQI	Water Quality Index
NSF	National Sanitation Foundation
ICA	Índice de Calidad del Agua
SE	Servicios Ecosistémicos
ICOs	Índices de contaminación
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
OD	Oxígeno Disuelto
NTU	Unidades Nefelométricas de Turbidez
NASQAN	National Stream Quality Accounting Network
CCME	Canadian Council of Ministers of the Environment
SEDUE	Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología

I. INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para la vida humana y su desarrollo [1], cubre aproximadamente el 70% de la superficie terrestre, pero solo el 2,5% es agua dulce y gran parte de ella se encuentra en glaciales y polos, de modo que una pequeña parte del total del agua es accesible y adecuada para el consumo humano, producción de alimentos y procesos industriales. El agua es sustento para las funciones ecológicas en los ecosistemas y permite la conservación de la biodiversidad [2]. La creciente demanda está directamente vinculada con actividades agrícolas e industriales, aumento de la población, urbanización y el cambio climático, esta demanda tiene un efecto en el acceso y en el ciclo hidrológico [3].

Las microcuencas son la principal fuente de agua y sostenibilidad para la naturaleza y los seres humanos. Proporciona alimentos, contribuye en la interacción con otros seres vivos, es hábitat para diferentes especies y sustenta múltiples actividades humanas, las cuales se presentan como servicios ecosistémicos. Pero estas actividades han contribuido al deterioro y modificación del recurso hídrico [4]. La intensificación de la agricultura, la ganadería y la generación de desechos urbanos son los principales responsables de la reducción y deterioro de la calidad de las aguas superficiales, estos factores inciden sobre su disponibilidad y limitan sus usos debido a la contaminación [5].

La calidad de agua de los ríos varía con el tiempo y tiene sus propias características [1], está relacionada con la naturaleza y la acumulación de las sustancias que pueden aparecer en un momento específico [6]. La importancia de obtener datos sobre la calidad de los cuerpos de agua ha impulsado la ejecución de varios estudios con el objetivo de hallar fórmulas o ecuaciones que faciliten la identificación del estado de los recursos hídricos de forma fiable y precisa [7]. En las últimas, décadas la evaluación de la calidad de aguas superficiales ha tenido gran relevancia, debido a que en base a los datos recolectados se puede dar seguimiento a la cuenca lo que nos permite conocer cómo influyen los procesos de degradación [8]. Por lo tanto, monitorear su calidad es importante para la gestión de forma eficaz los recursos hídricos y evitar que se contamine [9].

La demarcación de las cuencas es importante pues además de establecer los límites naturales del área de drenaje se convierte en una unidad importante para analizar los procesos ambientales que permiten determinar y evaluar las interacciones que ocurren en ella [10]. Además, nos proporciona información que contribuye a mejorar la efectividad de las estrategias de gestión

[11]. La metodología de Pfafstetter es una de las más utilizadas en los últimos años para establecer unidades hidrográficas en Sudamérica. El método Pfafstetter es un enfoque frecuentemente empleado para la caracterización de la topología de las cuencas. El sistema de codificación de dígitos jerárquicos de la red de drenaje hidrográfico proporciona una descripción de la anatomía regional de su red de drenaje hidrográfico. El sistema pfafstetter es importante porque facilita la identificación de subcuencas multinivel procesadas por sistemas de información geográfica [12].

El monitoreo de calidad del agua es la recopilación de datos en intervalos de tiempo que proporciona información sobre el estado del agua, que debe aplicarse de forma continua y permanente [13]. Los programas de monitoreo ambiental son necesarios para mantener en equilibrio la calidad y cantidad de las fuentes de agua; permiten gestionar, minimizar y mitigar los impactos humanos, en base a los resultados. Un limitante en la aplicación de programas de monitoreo es el costo, por lo que muchos países presentan desafíos en su implementación [14]. Para evaluar las fuentes hídricas en los monitoreos, se necesitan herramientas que consideren aspectos físicos, químicos y biológicos como los WQI [15].

Los índices de calidad del agua son instrumentos que facilitan la toma de decisiones para minimizar el deterioro de la calidad del agua, al analizar directamente las alteraciones de sus indicadores de calidad [16]. Los modelos ICA utilizan funciones de agregación que facilitan el estudio de grandes cantidades de información acerca de la calidad del agua que cambian en el tiempo y el espacio, con el fin de generar un solo valor, el índice de calidad del agua señala la calidad de la masa de agua [17].

Actualmente, existen diversas técnicas para determinar la calidad del agua, cada una con diferencias entre ellas al evaluar la calidad del agua. El método del WQI-NSF se utiliza para evaluar la calidad del agua superficial de ríos destinada al consumo humano, usando pesos ponderados en sus parámetros, examinando nueve indicadores con el objetivo de identificar el nivel de contaminación del agua y determinar el deterioro o mejora de la calidad de los cuerpos de agua [18].

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La subcuenca del río Casacay constituye una fuente de abastecimiento de agua para los cantones Pasaje, Machala y El Guabo, por esta razón es importante analizar la calidad de agua de la cuenca alta. La microcuenca del río Casacay carece de una delimitación técnica que nos permita tener conocimiento de las áreas críticas de escorrentía en la cuenca alta. Esta problemática hace que no sea posible la implementación de estrategias oportunas para lograr la conservación de las zonas que contribuyen a su recarga.

Además, en la subcuenca no se ha establecido un programa de monitoreo según las normas técnicas establecidas, a partir del cual sea posible efectuar de forma eficaz una observación continua de la calidad del agua. Debido a la ausencia de información, no es posible obtener datos fiables a cerca de las condiciones que presenta el recurso hídrico, reconocer las tendencias de degradación y se dificulta la creación de planes para mejorar la gestión. Ante la falta de un sistema de un seguimiento continuo, el cumplimiento de las normas de calidad resulta obstaculizado, esto genera que las comunidades dependientes de esta microcuenca pongan en riesgo su bienestar.

No existe conocimiento acerca de los parámetros idóneos que se deben analizar para evaluar la calidad del agua según las características que presenta la microcuenca. Ante esto se crea una perspectiva fragmentada al momento de realizar la valoración de la calidad del agua ignorando indicadores esenciales que podrían mostrar peligros para la salud de las comunidades y los ecosistemas, generando dudas acerca de las consecuencias que tienen las acciones humanas y los peligros vinculados al consumo y empleo del agua de la microcuenca.

Ante esta problemática se plantea evaluar la calidad del agua de la microcuenca Pumamaqui utilizando el Índice de Calidad del Agua de Brown, este índice nos permitirá integrar diversos parámetros y nos proporciona una visión integral de la calidad del agua, convirtiendo los datos técnicos complejos en información que resulte fácil de entender para las autoridades encargadas de tomar decisiones que contribuyan a la implementación de estrategias para gestionar de manera sostenible este recurso hídrico.

A. Antecedentes

El agua apropiada y de excelente calidad constituye uno de los fundamentos para que la sociedad y los ecosistemas se desarrollen de manera saludable y sostenible [19]. La calidad de las fuentes de agua resulta deterioradas debido a las actividades industriales, urbanas y agrícolas desarrolladas por el hombre, esto afecta su utilización para consumo, irrigación, pesca, y propósitos recreativos, domésticos e industriales. Por esta razón se debe dar importancia al cuidado de la calidad de agua en las fuentes de agua dulce [20].

En los años recientes, la valoración de la calidad de agua en países no desarrollados se ha convertido en un asunto importante. En algunas ocasiones resulta complicado determinar la calidad global del agua a partir de una amplia variedad de muestras, puesto que cada una de ellas contiene concentraciones para varios parámetros. Implementar índices de calidad del agua es un procedimiento simple que ayuda a resolver los problemas previamente mencionados y facilita la obtención de datos acerca de la calidad del agua para los encargados de tomar decisiones y la comunidad en general [21].

El primer índice de calidad de agua propuesto por Horton en 1965 fue el punto de partida para el desarrollo de otros y en 1970, Brown, MacClelland, Deininger y Tozer, respaldados por la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos, presentaron un índice que se basaba en la estructura del índice de Horton, denominado Índice de Calidad del Agua de la NSF (WQI-NSF), este índice nos permite evaluar la calidad de las aguas superficiales y le da un peso al análisis de los parámetros en función de las características del agua [22].

Los WQI han sido empleados en varias investigaciones de calidad del agua y análisis de los efectos de las actividades humanas sobre los cuerpos de agua. El estudio realizado en Nanning, China tenía por objetivo evaluar la calidad de aguas superficiales mediante modelos de WQI, demostrando que el agua es de buena calidad y que la aplicación de los índices permite mejorar la comprensión y comparación de las condiciones del agua en diferentes escalas temporales y espaciales [23]. La evaluación de la calidad del agua en la delta del río Parnaíba en Brasil tubo por objetivo la aplicación de índices de calidad, esto les permitió identificar diferentes variables de calidad y que la aplicación de estos índices ayuda a conocer la importancia ecológica del agua y gestionarlos efectivamente [24].

El Sistema Mundial de Monitoreo Ambiental de Agua (GEMS/WATER) utiliza los WQI para realizar una valoración de la calidad del agua en el mundo. Sistematiza información sobre la calidad de agua a nivel mundial, esto les permite comparar el estado y tendencias de la calidad del agua. Además, sirve como una plataforma que permite la recolección e intercambio de datos que facilite el desarrollo de un sistema de vigilancia y proporcione una perspectiva general de calidad del agua. [25].

En el caso de Ecuador, los estudios con respecto a la calidad del agua han tenido relevancia debido a las actividades humanas como la expansión en la agricultura, la minería y el desarrollo urbano. En el estudio realizado en el río Portoviejo, se analizó la calidad del agua mediante la metodología del NSF, los datos obtenidos permiten determinar cambios en la calidad del agua, aportando información de ayuda a la gestión de los recursos hídricos. Estos estudios concluyeron que la aplicación de WQI permite evaluar la calidad del agua y proporciona información útil para establecer medidas que mejoren la gestión de las cuencas [26].

En la subcuenca Casacay se realizó un estudio de cómo la planificación estratégica puede ayudar a una gestión completa, en el cual se identificó que una de las principales amenazas que presenta la subcuenca es la erosión, principalmente en la cuenca alta, en la subcuenca se han realizado diversas propuestas, pero no se han logrado buenos resultados, ante esto plantean la planificación estratégica que permite tomar decisiones de manera objetiva y asegurar la ejecución de los proyectos y programas para gestionar integralmente el recurso hídrico [27].

En la actualidad, esta microcuenca no cuenta con un programa de monitoreo que nos permita tener información confiable acerca de la calidad del agua. Por lo tanto, es difícil la implementación de estrategias que nos permitan tener un manejo sostenible de las fuentes de escorrentía que sirven de abastecimiento de agua.

III. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, el interés por preservar la calidad del ambiente ha crecido debido a la necesidad de asegurar la disponibilidad de los recursos naturales. El estudio de calidad del agua forma parte de los temas relevantes para el análisis reconociendo el papel que juega en el desarrollo de las actividades humanas, pues es necesario para garantizar la salud de los ecosistemas y las comunidades que dependen de ella [28].

La microcuenca Pumamaqui es un área importante por el aporte que brindan los servicios ecosistémicos que provee. Enfrenta presiones significativas debido a la influencia de actividades humanas como la agricultura, el pastoreo y la falta de información sobre la calidad de sus aguas.

Las aguas superficiales sufren contaminación de origen natural por el arrastre de material particulado y disuelto, o por origen antrópico como descargas de aguas residuales, escorrentía agrícola y residuos de procesos industriales [29]. La contaminación del agua obstaculiza su aprovechamiento, por ende, el análisis de su calidad ayuda en la gestión de recursos hídricos y permite su evaluación para tomar acciones tanto de control como de monitoreo y seguimiento. Algunos países se enfrentan a la problemática de mejorar el suministro de agua de consumo y para ello requieren de un conjunto de datos, que se basan principalmente en la aplicación de los ICA [17].

El WQI de la Fundación Nacional de Saneamiento (WQI-NSF) que combina múltiples parámetros físicos, químicos y biológicos, es el método más utilizado al momento de analizar las aguas superficiales destinadas a consumo humano. Proporciona información que fácilmente puede ser analizada por los consumidores y responsables en la gestión y calidad del agua [3]. Es utilizado sobre otros índices debido a que se adapta a diferentes condiciones locales y específicas, lo que permite detectar cambios de calidad, monitorear estos cambios e identificar si los problemas son debidos a las actividades humanas o naturales [30]. Y con el fin de tener mayor precisión en la cuantificación del WQI-NSF se aplican los ajustes polinomiales asociados a cada variable [31].

Este enfoque no solo consigue identificar los problemas críticos, si no que contribuye en el proceso de monitoreo de la calidad del agua permitiendo obtener datos objetivos y cuantificables que pueden ser utilizados como base para la toma de decisiones [32].

El estudio presenta información relevante y actualizada sobre el estado de la calidad del agua en la microcuenca Pumamaqui, utilizando una metodología técnica y ampliamente

reconocida. El análisis de la calidad del agua proporciona datos útiles para la gestión de recursos hídricos, permitiendo tomar decisiones basadas en evidencias para mejorar las medidas de calidad del agua en la región. Además, puede ser referente para otras investigaciones similares en microcuencas, contribuyendo al desarrollo de mejores prácticas en la evaluación y conservación de los recursos.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Evaluar la calidad del agua de la microcuenca Pumamaqui mediante el cálculo del WQI-NSF, para determinar su estado ambiental y contribuir a la gestión sostenible de los recursos hídricos.

B. Objetivos específicos

- Establecer una delimitación técnica de la cuenca alta de acuerdo con la metodología Pfafstetter.
- Proponer un programa de monitoreo según las normas establecidas para dar seguimiento a la calidad del agua.
- Identificar los parámetros adecuados a analizar para determinar la calidad del agua según las características de la microcuenca.
- Calcular el WQI-NSF mediante la aplicación de ajustes polinomiales a las curvas.

V. MARCO TEÓRICO

A. Cuenca hidrológica

Unidad hidrológica más pequeña que una cuenca tradicional delimitada con cauces y ríos que drenan hacia un punto o cuerpo de agua [33]. Las precipitaciones se unen y resultan en arroyos y ríos, sus alrededores son zonas en donde la población se establece y aprovecha los servicios que provee para las diferentes actividades que se desarrollan dentro de ella como; agricultura, ganadería, y el uso del agua para consumo humano [34].

Por tanto, es un sistema compuesto por el ambiente físico y organismos vivos que se correlacionan entre sí, en donde intervienen aspectos sociales, demográficos y económicos. Siendo necesario el manejo y gestión, dependiendo de las actividades que se desarrollen dentro de ella, y desde un enfoque social, económico y operativo, es un área de planificación, que en base a ella se pueden tomar decisiones de recuperación y conservación de recursos [35].

Para la delimitación de una cuenca se utilizan criterios superficiales y topográficos que, en relación con las características topográficas, delimitan un área que se encarga de drenar el agua de las lluvias que son depositadas por la escorrentía a un punto de desagüe. La circulación del agua depende de los aspectos climatológicos y físicos del área de estudio, creando una relación entre la naturaleza del suelo y la microcuenca. Las características de la cuenca y su forma inciden sobre el comportamiento hidrológico y sus caudales, por lo que tener en cuenta las consideraciones climáticas no será suficiente y es necesario comprender los aspectos morfológicos [36].

B. Características de la microcuenca

1) Área de drenaje

Esta característica de la cuenca es considerada la proyección horizontal limitada por la línea divisoria de aguas. Es necesario saber la diferencia entre la superficie y el área, debido a que el área no toma en cuenta la ladera de montañas o colinas, sin embargo, si su proyección. Dentro del Ecuador las cuencas nacen en zonas montañosas [37].

2) Forma

En una cuenca hidrográfica la forma depende de los factores geológicos y es un factor determinante por la influencia de ella sobre el tiempo de concentración, es decir cuánto tardará una gota de lluvia en recorrer la cuenca desde el punto más lejano hasta el punto de desembocadura. Así mismo actúa sobre el índice de Gravelius el cual nos revela la probabilidad de inundación, pues nos refleja qué tan circular es la cuenca. Por tanto, la forma de la cuenca es importante para conocer cómo el río puede responder ante un evento de precipitación [37].

3) Sistema de drenaje

Se divide en dos factores: el grado de ramificaciones y la densidad del drenaje. Grado de ramificación, que definen el orden de los ríos en una cuenca. Los ríos que no tengan tributario serán del primer orden, la unión de estos se denominarán el orden dos, y la unión de estos serán los de tercer y así los siguientes. De modo que el número de ríos dependerá del grado de ramificaciones [37].

La densidad de drenaje es cómo se relaciona la longitud total de los cursos de agua y el área total de la cuenca, por ende, refleja la longitud de cauces por unidad de superficie. Y ello depende de la permeabilidad del suelo, tipo de vegetación y el clima [37].

4) Relieve

Es la forma que representa la parte superficial de la corteza terrestre, entre las principales formas de relieve están: llanuras, depresión, colina valle montaña, cordillera. En una microcuenca, la pendiente ejerce influencia sobre el evento de precipitación y nos muestra cómo es el relieve, así también con la velocidad en la que se desarrollará el escurrimiento, pues al tener mayor pendiente, esta velocidad también incrementará y por ende un tiempo menor de concentración [37].

C. Dinámica del agua en microcuencas

Las fases del agua en la tierra son parte del ciclo hidrológico que crean el dinamismo del agua en las microcuencas, siendo la fase líquida la más importante, pues es libre para el uso [38]. El agua en la tierra se presenta en tres estados: sólido, líquido y gaseoso, y se encuentra en continuo movimiento entre ellos, su distribución depende de la zona, pues existe áreas en donde la

disponibilidad del agua es reducida [39]. La escorrentía superficial es un proceso hidrológico dentro del ciclo del agua que permite su flujo sobre el terreno y las microcuencas, la forma en como sea el proceso dependerá de la superficie del área hacia los cauces, mientras que otros factores como; la infiltración y percolación actúan para que parte de esta agua se infiltre en el suelo y logre recargar los acuíferos alimentando el flujo de los ríos, y finalmente gran parte del agua que no haya participado en estos dos procesos anteriores es de vuelta a la atmósfera por evaporación directa o transpiración de la vegetación.

Las funciones hidrológicas dentro de una microcuenca se ven influenciadas por diferentes aspectos como; la intervención humana, las variaciones climáticas y factores que se presentan en los procesos naturales. El factor humano interviene por los usos que se le da al agua que inciden sobre las funciones, a pesar de que la mayoría de esta agua vuelva al ciclo hidrológico y es otra vez disponible [40].

D. Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es uno de los principales mecanismos de vida en la tierra, es el ejecutor de la circulación del agua entre la superficie terrestre y la atmósfera, y que este llegue a las microcuencas. De acuerdo con la **Fig. 1** la lluvia que se convierte en escurrimiento superficial es transformada por los elementos que conforman el ciclo, como la precipitación, evaporación, transpiración, infiltración, y almacenamiento del agua en el suelo, así como el escurrimiento superficial y subterráneo.

1) Precipitación

Consiste en el traspaso del agua en diferentes formas, la precipitación se genera por las nubes cuando llegan a nivel de saturación, por tanto, las gotas incrementan hasta llegar a precipitarse debido a la gravedad. Se clasifica según las condiciones del aire, de modo que puede ser conectiva al presentar en días cálidos, con alta intensidad y en poco tiempo. Orográfica que se presentan en zonas topográficas montañosa, estas sí son intensas y localizadas. Frontal que tienen intensidad moderada y se dan en áreas extensas [41].

Se presenta en estado líquido como la lluvia o en estado sólido como; granizo y nieve, dado a sus características la precipitación dentro de un área puede variar de duración, intensidad y

frecuencia, habitualmente tanto la duración como el tiempo son proporcionales pero la frecuencia depende de la altitud del área [37]. Por ende, si el área de la microcuenca se encuentra en zona de gran altitud la frecuencia puede aumentar [42].

2) Evaporación

Dentro de esta fase las moléculas del agua que se encuentran en la superficie obtienen energía por medio de la energía solar y otros factores, pasando de estado líquido a vapor. Se presenta distintos tipos de evaporación, por lo que puede ser de aguas superficiales la cual se genera en los océanos, ríos y lagos. Mientras que la que se da en el suelo, es debido a la humedad que produce la evaporación según la humedad del aire, temperatura y tipo de suelo, la evapotranspiración es el agua que liberan las plantas como vapor a través de las hojas [37].

3) Infiltración

Proceso en donde el agua se transfiere desde la superficie hacia las profundidades, debido a la fuerza de gravedad principalmente por el área no saturada que está entre la superficie del suelo y el nivel freático. En ella influyen aspectos como la morfología y composición del terreno, la pendiente de la cuenca, la infiltración se presenta de manera saturada o no saturada [42].

4) Escorrentía

El agua que es trasladado fuera de una cuenca hidrográfica hacia los cursos superficiales. Una parte de ella es originaria de la escorrentía superficial y la otra parte es dada a causa de la infiltración y transporte por medio del suelo que es dirigida hacia la desembocadura en el río. Por otro lado, cierta parte del agua que llega a infiltrarse en los acuíferos puede surgir a los cursos superficiales a lo que llamamos escorrentía subterránea. El agua que no se infiltra se evapora hacia la atmósfera. El caudal total de una cuenca encaja con la escorrentía total que está compuesta por aspectos como: escorrentía superficial, hipodérmica o subsuperficial, subterránea y la precipitación directa sobre las superficies del agua libre. Los principales factores que influyen sobre ella son; la permeabilidad del suelo, intensidad de la lluvia, pendiente del terreno, cobertura vegetal y saturación del suelo [43].

La escorrentía superficial se presenta cuando los poros del área son saturados de agua por medio de la infiltración, por lo que el agua fluye hacia el cauce y su volumen será de acuerdo con

las características de la cuenca, es un flujo libre que va hacia los cauces, y la escorrentía subsuperficial tiene parcialmente una respuesta cuando se halla ligeramente saturada, finalmente la escorrentía subterránea es pasada por que su flujo está saturado. En el ciclo hidrológico la escorrentía es una fase importante para el aporte de las microcuencas y el desarrollo de las actividades a partir de esto [42].

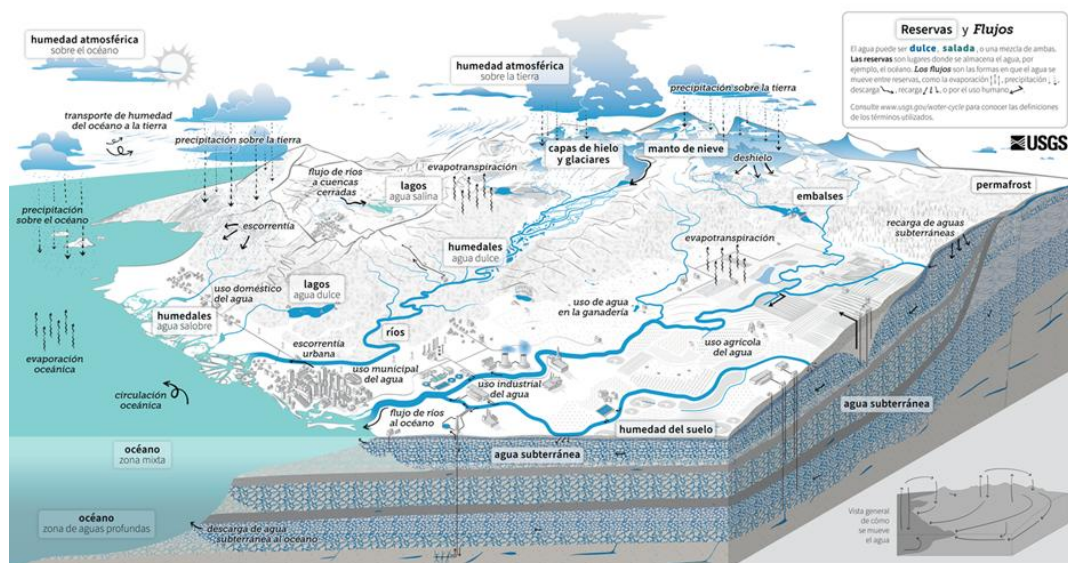


Fig. 1. Ciclo del agua

Fuente: [44]

E. Importancia de la microcuenca para el ciclo hidrológico

Las microcuencas son fundamentales para el ciclo hidrológico, ya que regulan la disponibilidad y calidad del agua, controlan la erosión del suelo y mantienen la biodiversidad. Su manejo adecuado garantiza la sostenibilidad de los recursos hídricos y los servicios ecosistémicos asociados [45].

Se presenta una relación entre las microcuencas y el agua superficial que aporta al caudal de los ríos. La intervención del ser humano dentro del ciclo ha provocado adaptarlo a sus necesidades, como: la construcción de represas, y sobreexplotación de los acuíferos. Algunos causan afectación dentro de las microcuencas [45].

F. Amenazas que enfrentan las microcuencas

1) Deforestación

Es la degradación a gran escala de la cobertura vegetal causada por la acción humana. Son grandes zonas taladas o quemadas, en donde el terreno es sustituido para otros usos como la agricultura para los cultivos o para pastoreos de ganado, lo cual provoca efectos negativos como pérdida de hábitat e incide sobre el ciclo hidrológico, pues sin la presencia de árboles, las zonas deforestadas se convierten en áreas áridas. La eliminación de la cobertura vegetal hace que no haya nada que proteja de los rayos que se presentan durante el día, lo que aporta negativamente en los cambios de temperaturas, afectando a las plantas y animales [46].

2) Contaminación

Dentro de una microcuenca la contaminación del agua afecta directamente en los servicios ecosistémicos que provee. Los ríos son contaminados principalmente por las fuentes municipales, agrícolas, mineras e industriales. Entonces las fuentes municipales generan los desechos inadecuados, y las descargas de aguas residuales provocan la proliferación de microorganismos patógenos. Las actividades agrícolas generan residuos de pesticidas, fertilizantes y sedimentos que alteran la calidad del agua. Otros de los efectos de la contaminación es la construcción de las represas, además de la sobreexplotación de los recursos hídricos [47]. En la **Fig. 2** se observa cómo se infiltra el agua contaminada.

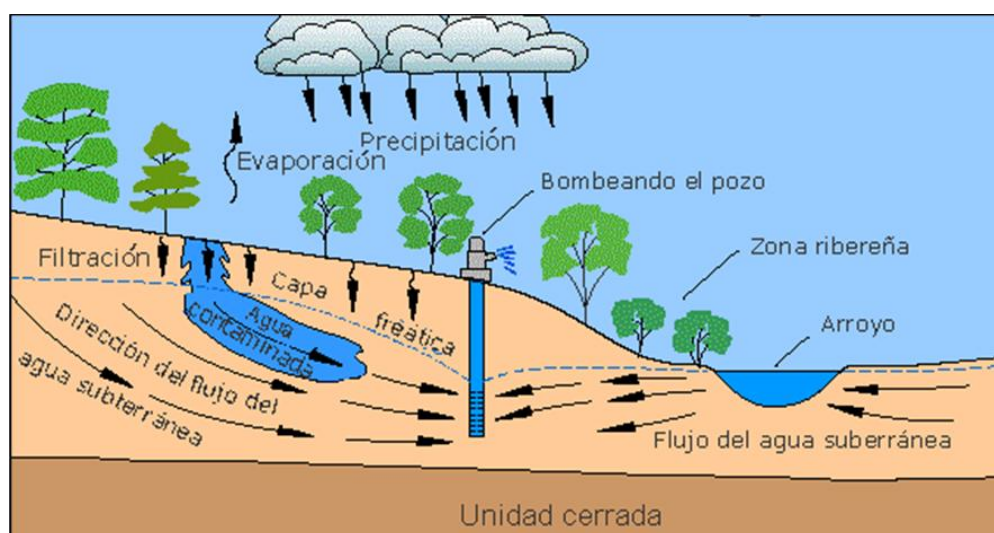


Fig. 2. Contaminación del agua por infiltración

Fuente: [48]

G. Servicios ecosistémicos

1) Servicios de provisión

Son los recursos naturales y los bienes materiales que los ecosistemas ofrecen directamente a las personas, son productos tangibles que obtenemos de la naturaleza y son esenciales para la supervivencia. El servicio de abastecimiento de alimento es dado por los ecosistemas tanto marinos como terrestres, ellos nos brindan los alimentos de los cuales nos nutrimos. El agua dulce es necesaria para la salud humana y es regulada por las funciones naturales y los procesos hidrológicos, de ella obtenemos el agua potable, energía renovable, entre otras. Mientras que la madera, fibras y combustibles que son materias primas de origen natural son utilizadas para el sustento económico mediante su transformación para obtener un bien, además de darnos energía por medio de la combustión de biomasa a partir de leña y rastrojo [49].

2) Servicios de regulación

Son los beneficios que se obtienen directamente de los ecosistemas y que no pasan por un tratamiento o proceso, entre los cuales tenemos: regulación del clima, del aire, el secuestro de carbono lo que contribuye en el mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos, así como la protección del ozono ante los rayos UV, de las enfermedades y mantenimiento de la calidad del agua. En ese sentido tenemos que la relación entre los servicios de regulación con la calidad del agua es que los ecosistemas son los que brindan las funciones hidrológicas necesarias para la supervivencia, y se transforman en bienes y servicios. Los servicios hidrológicos consideran la regulación de caudales como un punto influyente para reducir inundaciones, y permite la recarga de acuíferos lo que ayuda durante la época, además de la purificación del agua y control de erosión [50].

3) Servicios de culturales

Son aquellos beneficios que ofrece la naturaleza que no son materiales, los ecosistemas proporciona bienestar espiritual, un desarrollo de pensamiento que invita a la reflexión, y brinda experiencias recreativas. Dentro de estos servicios, la observación del paisaje es un deleite, enseñanza ambiental, y turismo, de modo que este servicio ecosistémico está relacionado con el movimiento de consumidor, dependiendo de ello el valor y el tiempo que tiene el benefactor está

condicionado a las particularidades del ecosistema. Aspectos como accesibilidad e infraestructura toman un papel importante en la experiencia del sitio y en su aprovechamiento, por ende, dentro de este servicio se toma en cuenta métodos de mercado y no monetarios los cuales consideran las preferencias y la recepción de la sociedad [51].

5) Servicios de soporte

Son aquellos que sostienen los procesos de los ecosistemas y contribuye sobre el desarrollo los otros servicios, estos pueden influir de forma directa en el bienestar humano. Se encargan de mantener la biodiversidad, el ciclo hidrológico, el ciclo de nutrientes y en la producción de materia prima. Además, son considerados los servicios funcionales encargados de los procesos ecológicos, de modo que poseen una relación entre los niveles de biodiversidad en la regulación y el suministro sostenible, además del aprovisionamiento de los recursos. El servicio de soporte es esencial para que los demás funcione de forma adecuada, por ende, son de suma importancia, el sufrir un desequilibrio puede llegar a causar pérdidas que perjudique en la calidad del hábitat, la disponibilidad de biomasa y la gestión de los ecosistemas [52].

H. Importancia de los servicios ecosistémicos

Todo aquello que obtenemos de la naturaleza es considerado (SE), los ecosistemas pueden ser terrestres o acuáticos y son los seres humanos los que se benefician de todo aquello que brinda la naturaleza, algunos de estos servicios son tangibles pues lo podemos llegar a obtener directamente de la naturaleza entre ellos están la madera y la tierra mientras que tanto la regulación como la captura de carbono, del clima y filtración del agua son considerados intangibles [53]. Permiten el desarrollo de las actividades a través de los ecosistemas, estos participan en el ciclo ecológico, considerando el material, energía química e información, y son vulnerables ante los cambios ambientales. Sus valores miden la condición del entorno ecológico, y el como este se ve afectado la naturaleza y sus recursos [54].

El agua se involucra dentro de las diferentes actividades y en varios servicios ecosistémicos; es factor clave para la producción agrícola, el consumo humano y en la generación de energía. El ecosistema es el que se encarga de regular tanto la calidad, cantidad y la disponibilidad del agua por medio de los procesos de captación y filtración de los contaminantes además del papel del ciclo

hidrológico que contribuye en el mantenimiento de la biodiversidad. Entre la aplicación de las buenas prácticas para la gestión del agua tenemos la protección de las cuencas hidrográficas para mejorar la captación y calidad del agua [55].

I. Calidad del agua

La calidad del agua puede definirse como las condiciones en las que encontramos el agua en términos de propiedades físicas, químicas y biológicas, ya sea en su estado natural o tras ser modificada por la intervención humana, son propiedades que pueden afectar su capacidad de adaptarse a un uso específico según las necesidades de los usuarios [56]. Para considerar que el agua es de buena calidad no debe contener sustancias ni microorganismos peligrosos para los consumidores, esta se establece al comparar las características del agua con las normas de calidad establecidas [57].

Para determinar la calidad del agua además de conocer los parámetros fisicoquímicos y biológicos también se debe considerar el entorno biológico, los usos y los valores que le adjudica la sociedad, estos elementos se deben manejar en conjunto puesto que la calidad del agua se determina de acuerdo con el uso que se le otorgue. La calidad del agua de los ríos está influenciada por factores naturales y antrópicos, las actividades humanas como la agricultura, la urbanización, la industria y la deforestación son las fuentes principales de contaminación del agua, por esta razón se dice que el uso de suelo de las cuencas influye en su calidad [58].

J. Contaminación del agua

Se entiende como contaminación del agua cuando se introduce cualquier material que puede alterar su composición y calidad, se considera contaminada cuando las condiciones que presenta el agua impiden que esta sea utilizada en su estado natural. Son cambios físicos, químicos o biológicos en el agua que pueden causar afectaciones en los seres vivos que la consumen, por ejemplos, en los seres humanos causan problemas a la salud, también hace que sea inapropiada para la recreación y demás usos que se le puedan dar [59]. La contaminación está relacionada con el crecimiento poblacional lo que aumenta su demanda y la introducción de desechos provenientes de forma directa o indirectas de sus actividades [60], [61].

Contaminar los cuerpos de agua es un riesgo ambiental representativo, pues son fuentes principales para proveer agua de consumo [62], además también resultan afectados los ecosistemas acuáticos que desaparecen debido al crecimiento apresurado de algas y eutrofización [63]. El agua de las cuencas altas debido a la escorrentía arrastra material particulado proveniente de la erosión, desechos naturales y domésticos, esto causa la alteración de sus propiedades, ocasionando que su disponibilidad y calidad disminuyan [64]. Evaluar la exposición de la contaminación del agua es fundamental para proteger los recursos hídricos ya que mediante la identificación de áreas de riesgos y generar estrategias de control [65].

K. Seguridad hídrica

La seguridad hídrica incorpora niveles admisibles de calidad y cantidad de agua que se encuentra a disposición para los consumidores. El riego hidrológico forma parte importante de la seguridad hídrica, posibilita establecer los límites mediante los cuales la cantidad y calidad del agua se puede considerar segura [66]. Abastecer de manera adecuada en relación con la cantidad y calidad es esencial para lograr que las comunidades logren desarrollarse en el ámbito socioeconómico, con resultados evidentes en la salud y el bienestar de la comunidad [67]. Debido a las amenazas de la seguridad hídrica las actividades agropecuarias y la prosperidad de las comunidades se ven afectadas [68]. La seguridad hídrica permite garantizar que las comunidades que se abastecen del recurso hídrico puedan acceder de forma segura. Esto se logra mediante la implementación del sistema de monitoreo del agua.

L. Caudal ecológico

El caudal ecológico se trata del caudal mínimo que es necesario dejar en un curso de agua para garantizar la conservación de los ecosistemas que alberga, mantener su geomorfología y comportamiento hidráulico y permitir que dicho caudal remanente siga cumpliendo sus funciones y servicios fluviales, como flujo de dilución, navegación y sus aportes hídricos en general [69]. El caudal ecológico es utilizado a nivel mundial como una herramienta para la gestión integrada de los recursos hídricos permitiendo analizar el consumo desmedido y la afectación a los ecosistemas acuáticos. Es considerado como un instrumento de gestión que regula los parámetros de flujo y

calidad que debe presentar cada fuente de agua superficial para lograr un equilibrio de los ecosistemas acuáticos con los terrestres, mediante este instrumento se hace un buen uso de las cuencas hidrológicas en el marco de desarrollo sostenible, buscando que los regímenes hidrológicos naturales no se vean afectados por las actividades humanas y que conserven sus flujos naturales en las épocas de lluvias o sequías [70].

M. Índices de calidad del agua

El índice de calidad de agua es un número único que se obtiene mediante una expresión matemática sencilla y precisa, para describir de manera general la calidad de los cuerpos del agua. Es una evaluación en la cual se utilizan datos característicos de parámetros químicos, físico y biológicos de manera práctica, permitiendo reducir varios números en uno solo. El WQI evalúa la calidad del agua utilizando diversos parámetros de calidad y con esto se puede relacionar la escala numérica a una descriptiva [71]. El objetivo de estos índices es ofrecer una herramienta que permita comprender de manera sencilla a los encargados de tomar decisiones respecto a la calidad y usos del agua [72].

Es una herramienta cuantitativa que proporciona información precisa de la calidad del agua, es una técnica efectiva para determinar si el agua es apta para consumo humano. La primera propuesta de Índices de Calidad del agua fue realizada por Horton en 1965, desde aquel entonces se ha realizado investigación de calidad del agua con diferentes metodologías [9]. Los WQI son utilizados para la evaluación de aguas superficiales, valora la contaminación del agua, realizar comparaciones de diversos sitios y determinar los cambios de calidad del agua [73].

N. Índice de contaminación del agua

Los índices de contaminación (ICOs) evidencian una amplia ventaja con respecto a los ICA, puesto que estos introducen diversas variables en un solo parámetro lo que implica múltiples problemas conceptuales. Los ICOs son una herramienta fácil de caracterizar, su aplicación es importante para evaluar la calidad del agua. Cuando estudiamos un pequeño número de cursos este índice resulta más relevante al complementarse con la determinación de diversas estaciones [74].

1) *Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)*

Se refleja en diversas variables, de las que se escogieron la conductividad que demuestra la presencia de sólidos disueltos, la dureza que evidencia los cationes de calcio y magnesio, la alcalinidad que presenta los aniones de carbonatos y bicarbonatos [74].

2) *Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)*

Del mismo modo que en la mineralización, se manifiesta en diversas variables fisicoquímicas, de las que se elige la demanda bioquímica de oxígeno, los coliformes totales y la saturación de oxígeno. Estos actúan en conjunto para recoger distintos efectos de contaminación orgánica [75].

3) *Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)*

Se define por medio de la concentración de sólidos suspendidos. Anteriormente se relacionaba con el DBO, DQO y el amonio, pero se los desvinculó ya que estos últimos pertenecen a la contaminación orgánica. Bajo diversas situaciones los sólidos suspendidos están relacionados únicamente a compuestos inorgánicos [77].

4) *Índice de contaminación trófico (ICOTRO)*

Está relacionado directamente a la concentración de fósforo total. A diferencia de los demás índices este no se mide con una escala de 0 a 1. Este índice establece el nivel de contaminación por eutrofización (**TABLA I**) y se caracteriza de la siguiente manera [75].

TABLA I
NIVELES DE CONTAMINACIÓN POR FÓSFORO TOTAL

Nivel	P _{total} (g/m ³)
Oligotrófico	< 0.01
Mesotrófico	0.01 – 0.02
Eutrófico	0.02 – 1
Hipereutrófico	>1

Nota: Niveles de contaminación por concentración de fósforo total.

Fuente: [75]

O. Índice de calidad del agua de Brown WQI-NSF

El WQI fue desarrollado por Brown et al. en la década de 1970 y se ha convertido en una herramienta ampliamente utilizada a nivel mundial. Este índice integra parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en un único valor, lo que permite evaluar de manera rápida y comprensible el estado del recurso hídrico [22].

Este índice se creó utilizando el método Delphi, con la finalidad de reducir los juicios subjetivos. Este método consistió en fusionar las opiniones de 142 especialistas en calidad del agua de diversas partes de Estados Unidos. Los parámetros que se escogieron son: pH, demanda bioquímica de oxígeno, temperatura, turbiedad, sólidos totales, fosfatos, oxígeno disuelto, nitratos y coliformes fecales [22].

1) Características del índice

El ICA - NSF es la referencia principal en la evaluación de la calidad de las aguas superficiales destinadas al consumo humano a escala global. Es importante tener en cuenta que el índice tiene la capacidad de ser modificado y ajustado según las condiciones predominantes en cada sistema acuático en particular [22].

Este indicador se utiliza frecuentemente entre todos los índices de calidad del agua existentes, y puede emplearse para evaluar las variaciones en la calidad del agua en zonas específicas de los ríos a lo largo del tiempo, contrastando la calidad del agua de distintas secciones del mismo río, y también contrastándolo con la calidad del agua de varios ríos a nivel global [22].

2) Parámetros del índice de calidad del agua WQI-NSF

a) Parámetros físicos

1. Temperatura: Es un parámetro importante en la calidad del agua, la variación de temperatura puede causar alteración en los procesos físicos, químicos y biológicos. La temperatura tiene una relación inversamente proporcional con el parámetro de oxígeno disuelto, puesto que cuando la temperatura aumenta el oxígeno disuelto disminuye su porcentaje en el agua, esto hace que aumente la producción de microorganismos infecciosos y destruyen la vida acuática. La solubilidad de las sales generalmente aumenta esto hace que la tasa de reacciones metabólicas se acelera junto a la biodegradación [76]. Se mide en °C, la variación de la temperatura en los ríos se

da por diversas circunstancias como la altitud, latitud, la hora del día, la temperatura ambiente, la circulación de aire y si la muestra fue tomada en época seca o lluviosa [22].

2. Turbiedad: Es la falta de claridad en el agua, causado por la distribución de partículas en suspensión, ya sea fitoplancton o sedimentos de la microcuenca o provenientes de aguas residuales domésticas, mientras exista mayor cantidad de sólidos suspendidos el agua tendrá menor claridad y mayor turbiedad, se mide en unidades nefelométricas (NTU) [22]. Comúnmente en agua superficiales este material en suspensión evita que la luz sea transmitida y aumenta la producción de bacterias por lo que el agua con presencia de turbiedad constituye un peligro para las personas [77].

3. Sólidos totales: Los sólidos totales resultan de la suma de los sólidos suspendidos y sólidos disueltos, su unidad de medida es en mg/l. Los sólidos disueltos se presentan cuando el agua se evapora e indican la presencia de sales en el agua, mide las sustancias orgánicas e inorgánicas y se aplica principalmente al estudiar la calidad de agua de los ríos, arroyos y lagos. Los sólidos suspendidos aparecen en forma coloidal o partículas muy finas cuando el agua se encuentra en estado sólido, estos aparecen luego de aplicar al agua un proceso de coagulación o floculación [78].

b) Parámetros químicos

4. Oxígeno disuelto: Representa el porcentaje de oxígeno que se presenta disuelto en el agua, nos indica si el agua está contaminada y que tan apta es para sostener la vida y procesos acuáticos. El agua de buena calidad está representada por un nivel alto de oxígeno disuelto, cuando los niveles de oxígeno son bajos la vida acuática no puede sobrevivir. La presión, temperatura y mineralización del agua son algunos factores que condicionan la presencia del oxígeno disuelto [79].

5. pH: El potencial de hidrógeno representa los iones de hidrógeno que se encuentran presentes en el agua, se mide en un rango que va de 0 a 14 que indica la acidez o alcalinidad del agua, el agua con un pH de 0 a 7 se considera ácido, mientras que en un rango de 7 a 14 se considera alcalino, el valor de 7 representa que el pH es neutro [76]. Para su medición se consideran el número de iones oxidrilo y los protones cuando estos son iguales el pH del agua tendrá un valor aproximado a 7. Se considera que el agua es limpia y óptima para el desarrollo de la vida acuática cuando los valores de pH están entre 6,5 a 9 [78].

6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): Es la cantidad de oxígeno que las bacterias requieren para la descomposición de la materia orgánica en condiciones aeróbicas a 20 °C durante 5 días. Está relacionado con la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, cuando las bacterias necesitan de gran cantidad de oxígeno este se reduce y la demanda bioquímica de oxígeno es alta. Cuando no existe la presencia de materia orgánica no tendremos muchas bacterias para descomponerla y en este caso el oxígeno disuelto será alto y el DBO será menor. Cuando el DBO es alto los organismos acuáticos resultan afectados [22].

7. Nitratos: Los nitratos representan el aspecto más oxidado del nitrógeno que se encuentra en el agua, es incoloro e inoloro y se forman cuando el oxígeno y el nitrógeno se combinan. Los nitratos presentes en el agua provienen de actividades como la agricultura al utilizarse compuestos nitrogenados y desechos orgánicos que llegan al agua a través de procesos de infiltración, estos compuestos en el agua causan eutrofización debido al aumento del consumo de oxígeno y provocan afectación a los organismos acuáticos [79].

8. Fosfatos: Se forman por la combinación de fósforo y oxígeno, estos compuestos se presentan en el agua principalmente por acción de la lluvia y la escorrentía, suelen ser arrastrados de los suelos y su presencia se debe al uso de fertilizantes en suelos agrícolas o excremento de animales. Los fosfatos en altas concentraciones provocan eutrofización al aumentar el crecimiento de plantas y animales acuáticos que consumen grandes cantidades de oxígeno disuelto [78].

c) Parámetros microbiológicos

9. Coliformes fecales: Denominados coliformes termotolerantes por su capacidad de crecer en altas temperaturas su principal indicador es la bacteria *Escherichia Coli*, estos coliformes provienen de excrementos de animales y humanos. Cuando existe la presencia de coliformes nos indica que el agua presenta contaminación microbiológica lo que puede producir enfermedades intestinales al ser consumidas por el ser humano. Por lo general se mide en NMP/100 ml [22].

3) Curvas de función para cada parámetro

El valor del subíndice de temperatura se obtiene con la curva de la **Fig. 3**, en este caso utilizaremos la diferencia de la temperatura (ΔT), la cual se obtiene restando la temperatura ambiente y la temperatura obtenida de la muestra. Si ΔT es $> 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ el valor del subíndice será 9.

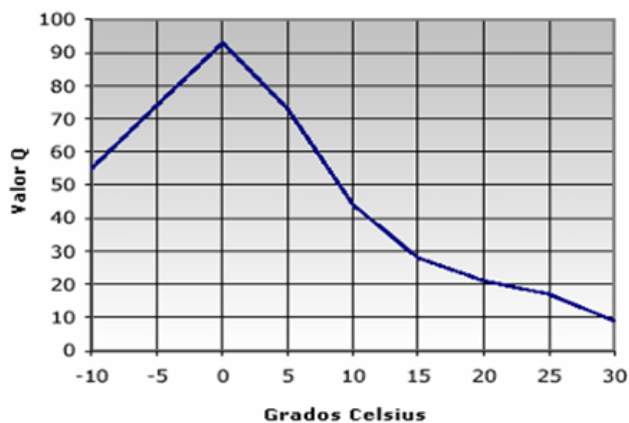


Fig. 3. Función de calidad NSF
Temperatura $^{\circ}\text{C}$

Fuente: [80]

La **Fig. 4** presenta la curva para identificar el subíndice de turbiedad. Si el valor de turbiedad es mayor a 100 NTU el valor del subíndice es 5.

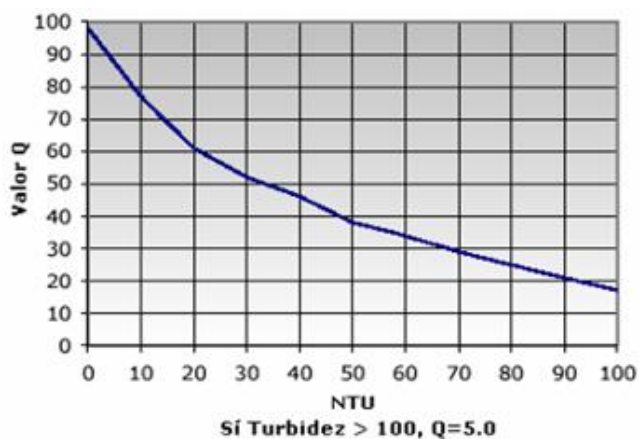


Fig. 4. Función de calidad NSF
Turbiedad

Fuente: [80]

En la **Fig. 5** se observa la curva para calcular el valor de los sólidos totales. Si los sólidos totales son mayores 500 mg/l el valor del subíndice es igual a 20.

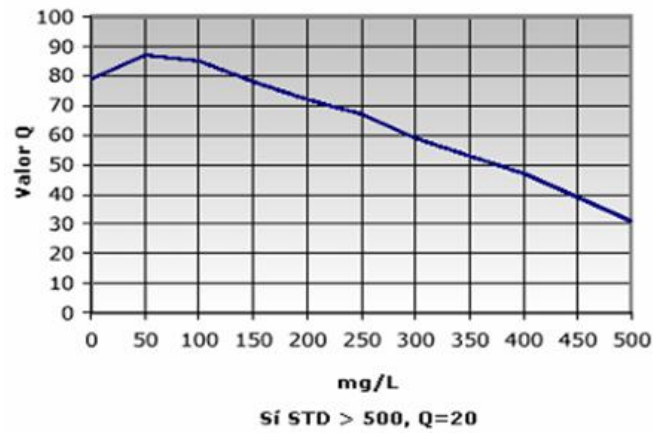


Fig. 5. Función de calidad NSF
Sólidos Totales

Fuente: [80]

La curva presentada en la **Fig. 6** nos ayuda a conocer el índice del porcentaje saturación, cuando el % de saturación es mayor 140, el subíndice es igual a 50.

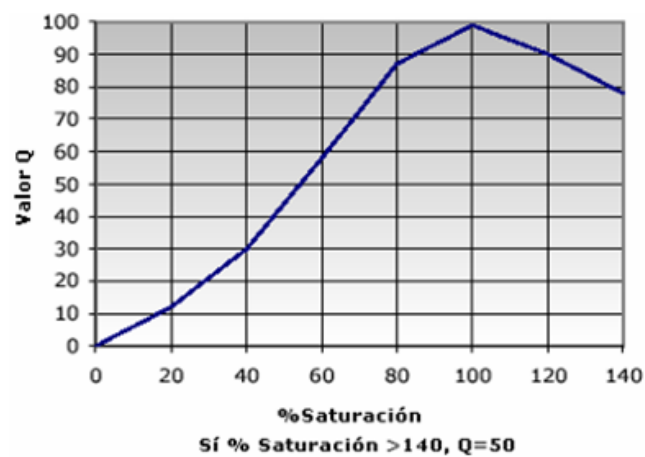


Fig. 6. Función de calidad NSF
Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto

Fuente:[80]

La **Fig. 7** corresponde a la curva para obtener el valor del subíndice de potencial de hidrógeno. Si el valor del pH es menor a 2 o mayor a 12 el valor del subíndice es igual a 0.

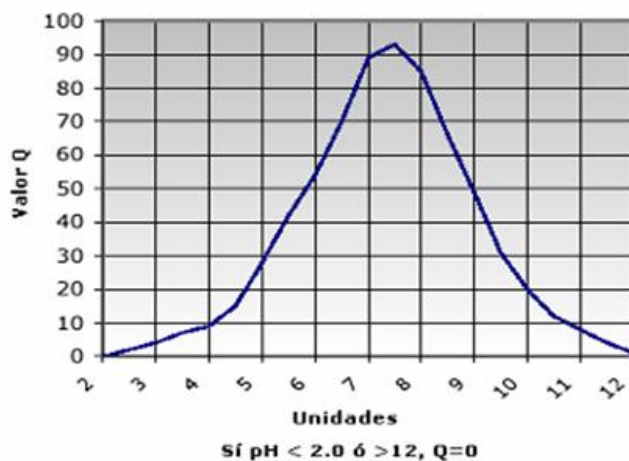


Fig. 7. Función de calidad NSF
Potencial de Hidrógeno (pH)

Fuente: [80]

La curva de la **Fig. 8** nos permite conocer el Q_i de la demanda bioquímica de oxígeno, usando el valor de DBO obtenido es mayor a 30, el valor del índice será el equivalente al DBO de 30.

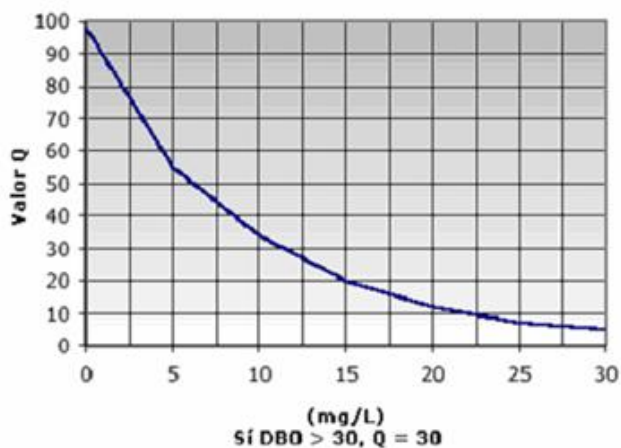


Fig. 8. Función de calidad NSF
Demanda Bioquímica de Oxígeno

Fuente:[80]

La **Fig. 9** presenta la curva para identificar el subíndice de nitratos. Si el valor de nitratos es mayor a 100 el valor del subíndice es 10.

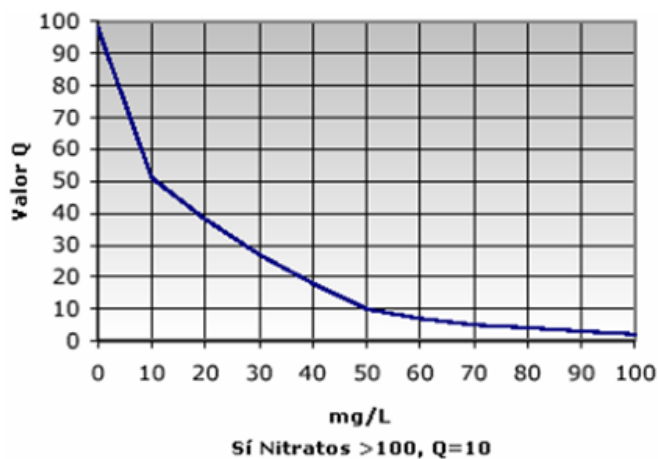


Fig. 9. Función de calidad NSF
Nitratos

Fuente: [80]

La **Fig. 10** corresponde a la curva para obtener el valor del subíndice de fosfatos. Si el valor de fosfatos mayor a 10 el subíndice es igual a 2.

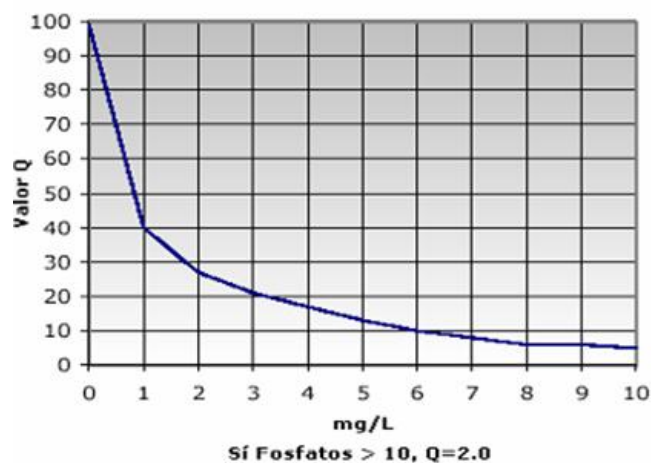


Fig. 10. Función de calidad NSF
Fosfatos

Fuente: [80]

La **Fig. 11** presenta la curva para identificar el subíndice para coliformes fecales, si las coliformes fecales son mayor a 100.000 el valor del índice será igual a 20.

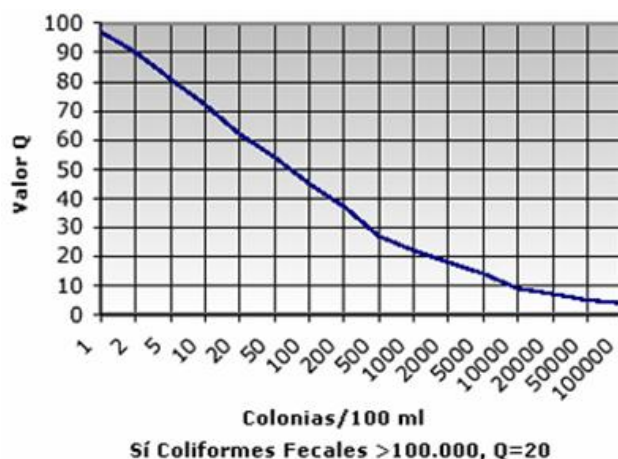


Fig. 11. Función de calidad NSF
Coliformes Fecales

Fuente:[80]

P. Ajustes polinómicos de las curvas

Los ajustes de curvas buscan adecuar la función de una forma más sencilla para el ajuste de sus valores. Se desarrollan en dos categorías, la regresión e interpolación. En la primera se presenta cuando existe un grado de error que está relacionado con los datos, por lo general esto ocurre con los datos experimentales. Mientras que la interpolación se emplea cuando se requiere obtener valores intermedios entre los datos y que ellos estén libres del error, con el objetivo de ajustar las curvas a través de los puntos obtenidos de los datos y utilizar la curva para la predicción de datos intermedios [81].

Los ajustes polinomiales de curvas se utilizan para obtener estimaciones intermedias. Busca obtener los valores de los parámetros asociados con la mejor curva de ajustes. Se ajusta el valor de los parámetros de tal manera que se minimiza el error [82]. Estos ajustes polinomiales a las curvas se utilizan para obtener el valor exacto del subíndice para cada parámetro. La **TABLA II** presenta los ajustes polinomiales aplicados para cada parámetro.

TABLA II
AJUSTE DE CURVAS PARA DETERMINAR LOS FACTORES DE ESCALA Qi

Parámetros	Ajustes
% Saturación de Oxígeno	$Q_{OD} = 3,1615E-08(OD\%)^5 - 1,0304E-05(OD\%)^4 + 1,0076E-03(OD\%)^3 - 2,7883E-02(OD\%)^2 + 8,4068E-01(OD\%) - 1,6120E01$ $R^2 = 0,9995$ Donde: Q_{OD}: Factor de escala Oxígeno disuelto - OD%: Oxígeno disuelto expresado como porcentaje de saturación
Coliformes fecales	$\ln(Q_{Coli}) = -0,0152(\ln C)^2 - 0,1063(\ln C) + 4,5922$ $R^2 = 0,999$ Donde: Q_{Coli}: Factor de escala coliformes fecales - C: Coliformes fecales como NMP
pH	Para $pH < 7,5$ $Q_{pH} = -0,1789pH^5 + 3,7932pH^4 - 30,517pH^3 + 119,75pH^2 - 224,58pH + 159,46$ $R^2 = 0,9981$ Para $pH > 7.5$ $Q_{pH} = -1.11429pH^4 + 44.50952pH^3 - 656.60000pH^2 + 4215.34762pH - 9840.14286$ $R^2 = 1.0000$ Donde: Q_{pH}: Factor de escala pH - pH: Nivel de pH
Nitratos	$Q_{Nitra} = 3,5603E-09N^6 - 1,2183E-06N^5 + 1,6238E-04N^4 - 1,0693E-02N^3 + 3,7304E-01N^2 - 7,5210N + 1,0095E+02$ $R^2 = 0,9972$ Donde: Q_{Nitra}: Factor de escala Nitratos - N: Concentración de Nitratos en mg/l
Fosfatos	$Q_P = 4,67320E-03P^6 - 1,61670E-01P^5 + 2,20595P^4 - 1,50504E+01P^3 + 5,38893E+01P^2 - 9,98933E+01P + 9,98311E+01$ $R^2 = 0,9994$ Donde: Q_P: Factor de escala Fosfatos - P: Fosfatos en mg/l
Temperatura	$Q_{\Delta T} = 1,9619E06\Delta T^6 - 1,3964E-04\Delta T^5 + 2,5908E-03\Delta T^4 + 1,5398E-02\Delta T^3 - 6,7952E01\Delta T^2 - 6,7204E-01\Delta T + 9,0392E+01$ $R^2 = 0,9972$ Donde: $Q_{\Delta T}$: Factor de escala Cambio de Temperatura - ΔT: Cambio de temperatura en °C
DBO ₅	$Q_{DBO} = 1,8677E-04(DBO)^4 - 1,6615E-02(DBO)^3 + 5,9636E-01(DBO)^2 - 1,1152E+01(DBO) + 1,0019E+02$ $R^2 = 0,9989$ Donde: Q_{DBO}: Factor de escala demanda bioquímica de oxígeno - DBO: demanda bioquímica de oxígeno en mg/l

Sólidos totales	$Q_{ST} = -4,4289E-09ST^4 + 4,650E-06 ST^3 - 1,9591E-03 ST^2 + 1,8973E-01 ST + 8,0608E+01$ $R^2 = 0,9977$ Donde: Q_{ST}: Factor de escala Sólidos Totales - ST: Sólidos totales en mg/l
Turbiedad	$Q_T = 1,8939E06-T^4 - 4,9942E-04T^3 + 4,9181E-02T^2 - 2,6284T + 9,8098E+01$ $R^2 = 0,9990$ Donde: Q_T: Factor de escala Turbiedad - T: Turbiedad en mg/l
Fuente: [31]	

VI. METODOLOGÍA

A. Área de estudio

El área de estudio está ubicada en la microcuenca Pumamaqui en el cantón Chilla de la provincia de El Oro (**Fig. 12**), se encuentra en la parte alta de la subcuenca Casacay que forma parte de la cuenca Jubones. Esta microcuenca se abastece de dos fuentes principales que son las quebradas Pumamaqui y Pilliguro, se encuentra dentro del área del bosque y vegetación protectora Casacay. Tiene una superficie de 2378, 65 ha y una longitud de 7, 630 km, su altitud va desde los 1263 msnm a 3443 msnm.

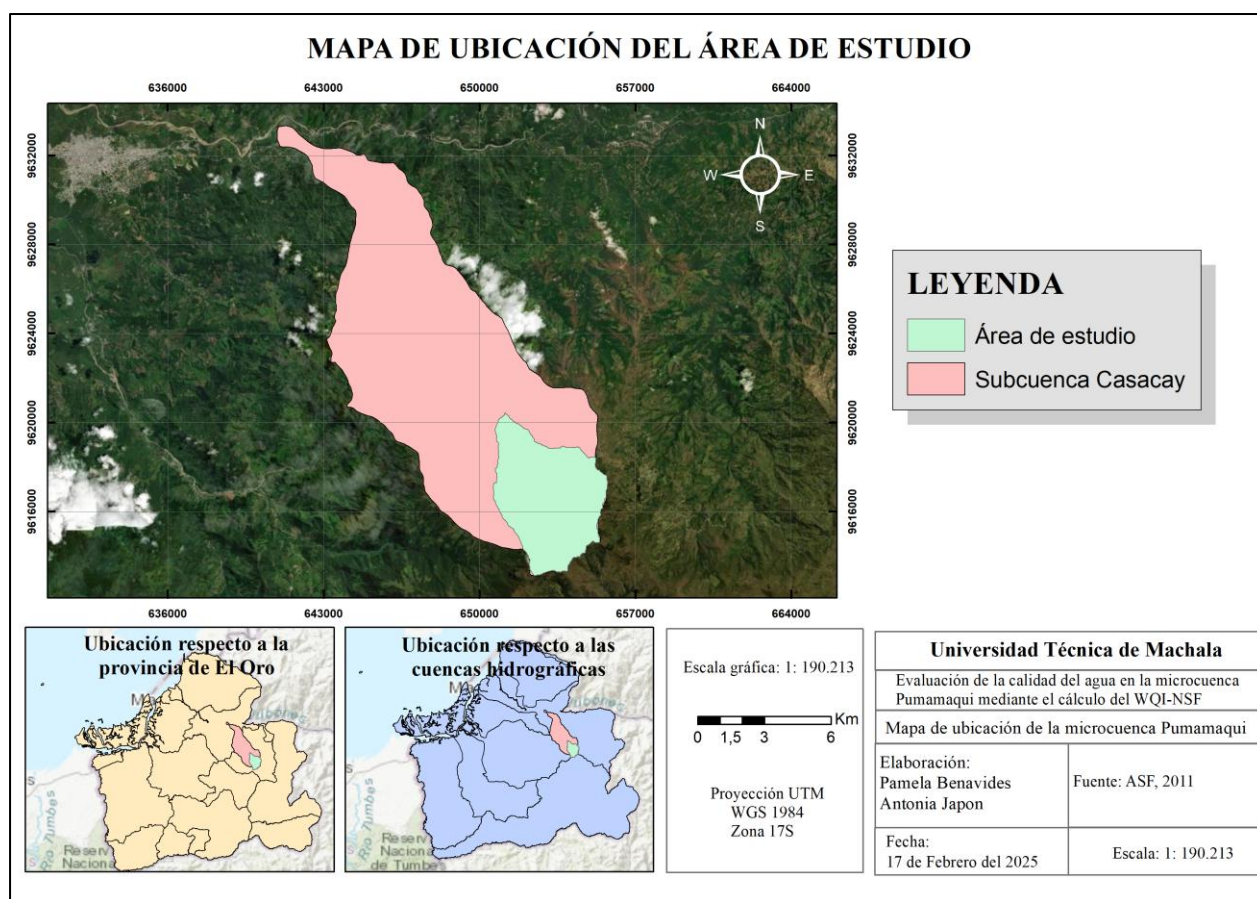


Fig. 12. Ubicación del área de estudio

Según el mapa de cobertura y uso de suelo del MAATE del año 2022 (**Fig. 13**) la microcuenca Pumamaqui está compuesta por 6 tipos de cobertura y uso de suelo, las cuales se muestran en la **TABLA III**. La cobertura que se presenta en mayor porcentaje es la de bosque

nativo que ocupa 756,39 hectáreas de la microcuenca, seguida de la cobertura de pastizal que cuenta con 635,32 hectáreas, la vegetación arbustiva y herbácea ocupa 514,03 hectáreas de la microcuenca, también tenemos la cobertura de páramo que ocupa 315,69 hectáreas, la cobertura de plantación forestal que representa 95,30 ha, finalmente tenemos la cobertura de mosaico agropecuario que cuenta con 61,90 hectáreas.

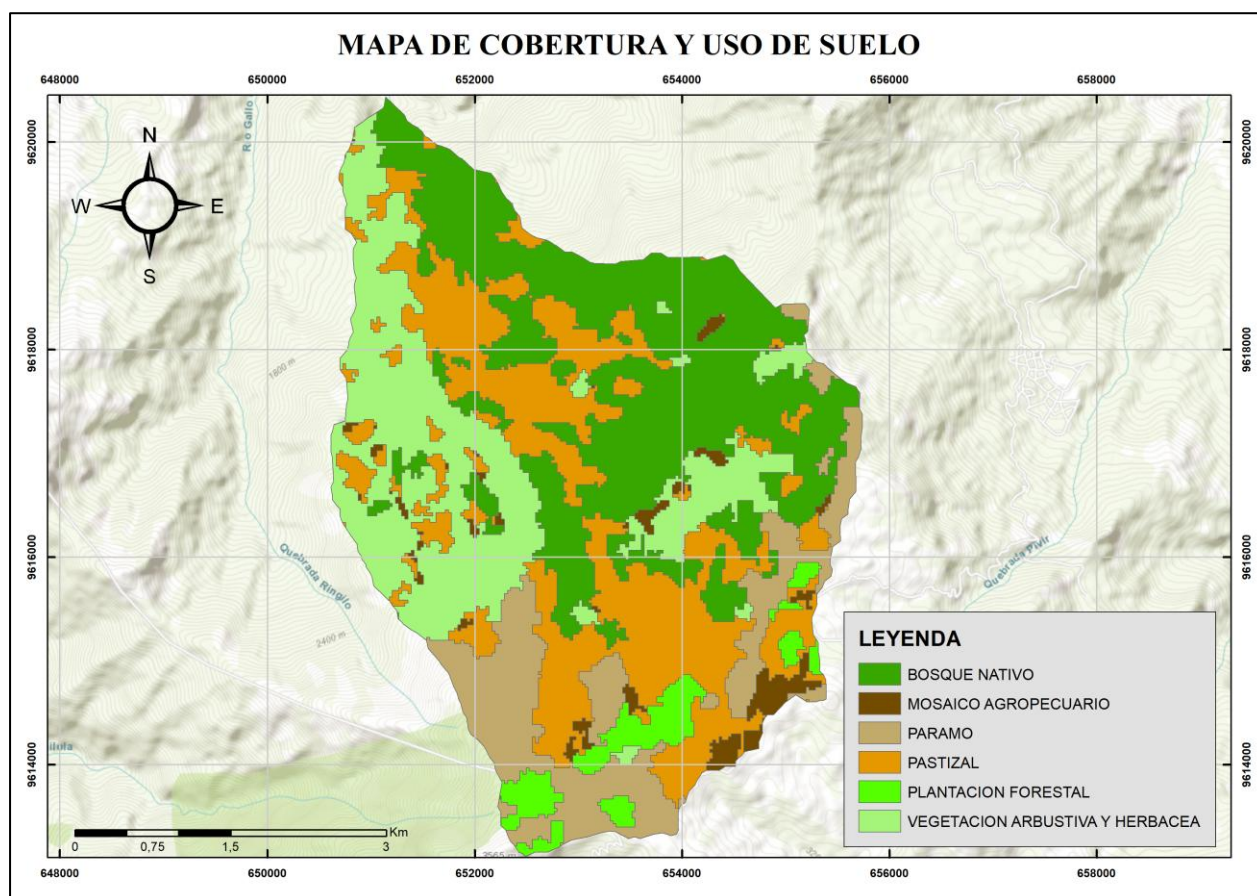


Fig. 13. Cobertura y uso de suelo de la microcuenca Pumamaqui.

TABLA III
COBERTURA Y USO DE SUELO DE LA MICROCUENCA PUMAMAQUI

TIPO	ÁREA (ha)
Bosque nativo	756,392
Mosaico agropecuario	61,904
Paramo	315,69
Pastizal	635,325
Plantación forestal	95,3086
Vegetación arbustiva y herbácea	514,032
TOTAL	2378,6516

B. Materiales y métodos

1) Delimitación Pfafstetter

a) Obtención del DEM

Para la delimitación de la microcuenca se utilizó un modelo de elevación digital (DEM) obtenido de conjunto de datos ALOS PALSAR de la página Alaska Satellite Facility, procesado en el software ArcGis versión 10.4.1.

b) Delimitación de la microcuenca

Se realizó la corrección al modelo de elevación digital mediante la caja de herramientas de ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Fill. Una vez corregido el DEM se procede a obtener el flujo de dirección a partir de fill: ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Direction. A partir del flujo de dirección se obtiene el flujo de acumulación mediante la siguiente herramienta: ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Accumulation. Replicamos reclasificación al flujo de acumulación para obtener solo los caudales necesarios para la delimitación. Para una visualización mejor aplicaremos la expresión ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Stream Link. Para obtener la red hídrica lo haremos a partir de la herramienta ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Stream to Feature. Para generar la delimitación de la microcuenca utilizamos la herramienta ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Watershed, con esto obtenemos la delimitación de la microcuenca en formato raster, luego procedemos a convertirlo a formato vectorial utilizando las siguientes herramientas: ArcToolbox > Conversion Tools > From Raster > Raster to Polygon. El resultado de cada uno de los procesos realizados se puede observar en la **Fig. 14**.

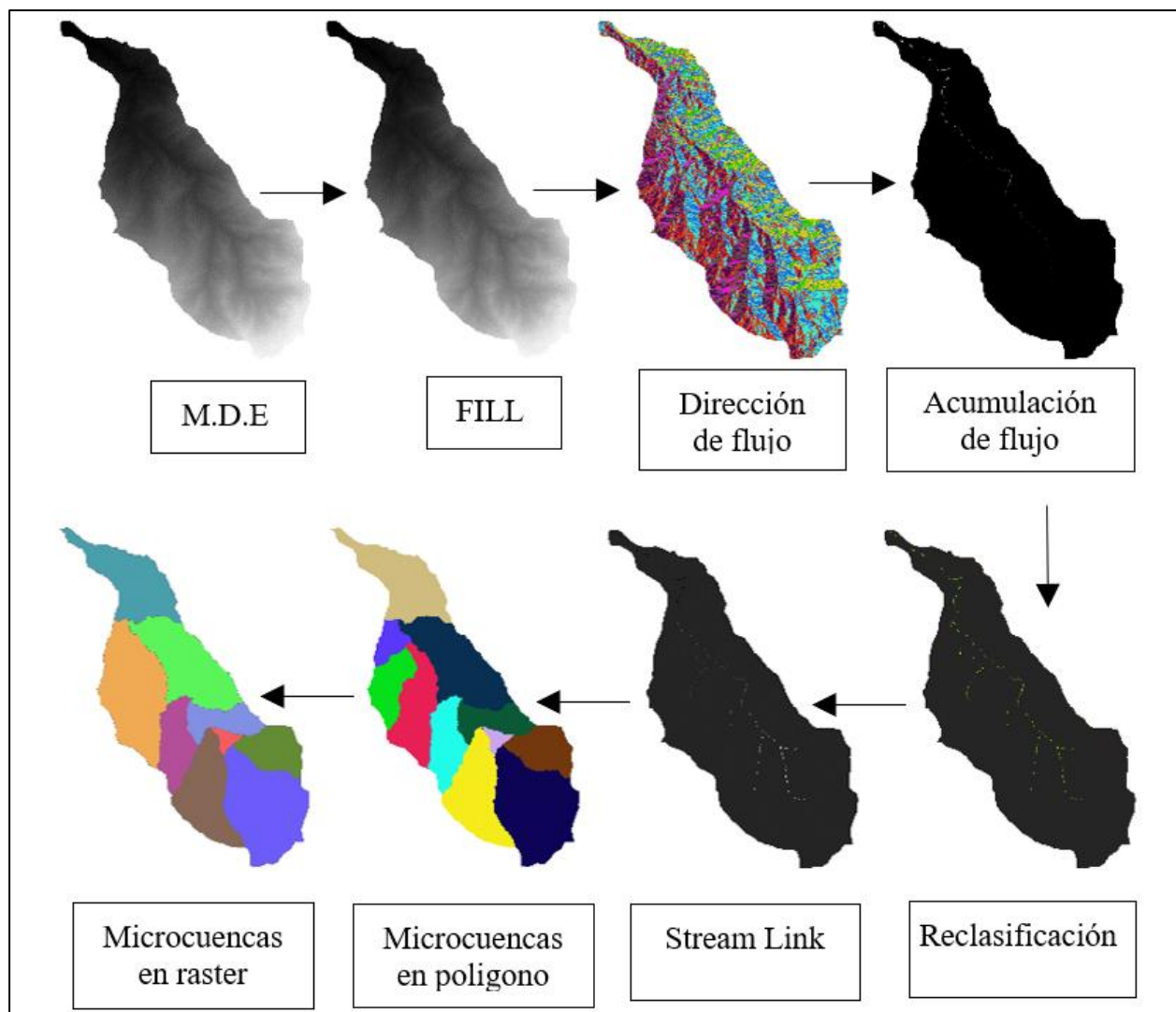


Fig. 14. Proceso de delimitación de microcuencas mediante el método Pfafstetter

2) Programa de Monitoreo de la microcuenca Pumamaqui

La primera etapa consistió en la identificación del sitio y toma de las coordenadas mediante la información previamente establecida acerca del área de estudio, donde se definieron los puntos de muestreo según su ubicación y accesibilidad, además para establecer el programa de monitoreo de calidad del agua de la microcuenca Pumamaqui, se realizó en base a los procedimientos establecidos en NTE INEN 2226: 2013 para la calidad del agua, muestreo y diseño de los programas de monitoreo, complementado con la NTE INEN 2169: 2013 *Agua. Calidad del agua Muestreo. Manejo y Conservación de muestras*. Y la NTE INEN 2176: 2013 *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo*.

a) Objetivos del programa de monitoreo

Antes de definir el programa de monitoreo se analizó los lineamientos que define la norma, para plantear un objetivo.

1. Mediciones de control de la calidad usadas, por el encargado de la planta, para decidir inmediatamente la corrección de los procesos a corto plazo, cuando sea necesario [83].

2. Mediciones de la caracterización de calidad usadas para indicar calidad, pueden ser parte de un programa de investigación, para propósitos de control a largo plazo o para indicar tendencias a largo plazo [83].

3. Identificación de fuentes de contaminación.

Luego del análisis de los lineamientos de la NTE INEN 2226: 2013 para el programa de monitoreo de esta investigación se consideró el propósito 3, principalmente porque su objetivo es identificar las fuentes puntuales de contaminación que influyen sobre la calidad del agua, lo cual es necesario aplicar en la microcuenca Pumamaqui, y en base a ello plantear un programa de monitoreo en la zona de estudio que es fuente de abastecimiento para la cuenca baja la cual provee agua potable a 3 cantones de la provincia [83].

b) Diseño del programa de muestreo

Mediante el objetivo 3, el programa de monitoreo busca investigar el origen y la naturaleza de los contaminantes, por ello se eligió los puntos fueron definidos en área claves con mayor confluencia en la vertiente, también se tomó en cuenta las características del área y la accesibilidad, pues las actividades que se desarrollan en la microcuenca como pastoreo, ganadería y la agricultura influyen sobre la calidad del agua de la microcuenca. El diseño consistió en recolectar 1 muestra por cada punto de monitoreo para que obtener información puntual de cada punto [83].

c) Frecuencia

Con relación a la frecuencia, el muestreo fue realizado una única vez lo cual se alinea al programa de identificación de fuentes de contaminación, pues se busca en el trabajo realizar una evaluación de la calidad del agua de forma puntual para validar condiciones iniciales.

d) Técnicas De Muestreo

Para el análisis de la calidad del agua en la microcuenca Pumamaqui se estableció 4 puntos de muestreo, y para definir el tipo se analizaron las recomendaciones de la NTE INEN 2176: 2013 [84], de modo que se empleó un muestreo puntual para una obtención representativa de la calidad del agua en cada punto en el instante y tiempo que fue tomado para un análisis de posible contaminación. Siendo este tipo de técnica ideal cuando el flujo no es uniforme y se consideran parámetros inestables que cambian como; OD, pH, temperatura, además la muestra puntual permite establecer un programa de muestreo más extensivo. En relación con el tipo de recipiente para las muestras, se utilizó recipientes de polietileno de alta densidad como lo indica la norma técnica.

e) Manejo y Conservación de la muestra

Para el manejo y conservación de la muestra, se basó en la NTE INEN 2169: 2013 para la preservación de la muestra se siguió las siguientes indicaciones para cada parámetro, como se muestra en la **TABLA IV**.

TABLA IV
CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS CONFORME NTE INEN 2169: 2013

Parámetros físicos-químicos	Volumen del recipiente de muestreo	Descripción
Sólidos totales	100 ml	Para los 4 parámetros se siguió las indicaciones de la norma y se usó un recipiente de plástico (P), y para su conservación se mantuvo en una temperatura de entre 2°C y 5°C
DBO ₅	1000 ml	
Fosfatos	250 ml	
Nitratos	250 ml	
Parámetro microbiológico	Descripción	
Coliformes fecales	La norma no cubre el manejo de muestras para análisis microbiológico, pero se recomienda, el tipo de recipiente estéril, los cuales se utilizaron y se conservó entre 2°C y 5°C evitando la exposición a la luz y cambios de temperatura con un máximo de conservación de entre 6-24 horas.	

Fuente: [85]

Los siguientes parámetros son realizados en el lugar del muestreo:

- pH
- Oxígeno disuelto: (método electroquímico)
- Temperatura: No se conserva
- Turbiedad: Debido a que se puede alterar por sedimentación o crecimiento microbiano en su transporte, se realiza el análisis in situ.

f) Recolección de la muestra

La segunda etapa consistió en la recolección de la muestra, para ello se realizó una visita de reconocimiento del área de estudio donde se identificaron los puntos de muestreo y la accesibilidad del área, para la planificación de la toma de muestra.

En la siguiente semana se realizó un muestreo simple en los cuatro puntos establecidos, empezando por la zona más alejada y fueron recolectadas considerando los criterios definidos en las NTE INEN 2176: 2013 y NTE INEN 2169: 2013, establecidas en el programa de monitoreo. La toma de muestra fue realizada con el método puntual individual, haciendo uso de los guantes para evitar el contacto con el agua. Según la NTE INEN 2226: 2013 consideramos tomar la muestra en dirección contraria a la corriente, aproximadamente a 30 cm por debajo de la superficie para evitar el contacto con sedimentos y residuos con la finalidad de que la muestra sea más representativa, una vez tomadas en los recipientes fueron llenados completamente para homogeneizar la muestra, y que no exista aire sobre esta.

Cada muestra fue rotulada etiquetando los datos del punto de monitoreo, el tipo de agua, considerando la fecha, hora, lugar y coordenadas del área de estudio. Posteriormente para el transporte se conservó en un cooler térmico y refrigerante para luego ser trasladados al laboratorio donde se analizaron los parámetros; sólidos totales, DBO₅, fosfatos, y nitratos (**Fig. 15**). Para el caso de la temperatura, pH y oxígeno disuelto las muestras fueron tomadas in situ por medio del multiparámetro, donde se registraron los resultados.



a)



b)



c)



d)

Fig. 15. Muestras recolectadas de los puntos de muestreo. a) punto 1; b) punto 2; c) punto 3; d) punto 4.

3) Identificación de los parámetros adecuados para el análisis de calidad del agua

Para determinar el método de evaluación de calidad del agua se realizó una revisión bibliográfica la cual nos permitió elegir la metodología óptima para analizar el agua de la microcuenca según sus características y uso. La metodología de evaluación empleada es la propuesta por la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos (WQI-NSF) la cual

emplea nueve parámetros para el análisis de calidad del agua y es la más idónea para analizar agua destinada a consumo humano.

4) Cálculo del WQI–NSF

El índice de calidad del agua se calcula para cada uno de los nueve parámetros en cada punto de muestreo. Para realizar el cálculo de la calidad del agua, se utiliza una suma lineal ponderada de los subíndices. El resultado de su aplicación debe ser un número entre 0 y 100, donde 0 representa la calidad del agua muy mala calidad y 100 representa el agua de excelente calidad [86]. Cada uno de los parámetros posee un peso determinado (**TABLA IV**) en relación a la importancia asociada al agua, estos parámetros son utilizados para determinar la media ponderada que forma el ICA [87].

El índice usa un promedio aritmético ponderado que se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$WQI = \sum_{i=1}^n Q_i W_i$$

Donde:

WQI: Índice de Calidad de Agua

Q_i: Subíndice del parámetro i

W_i: Factor de Ponderación para el Subíndice i

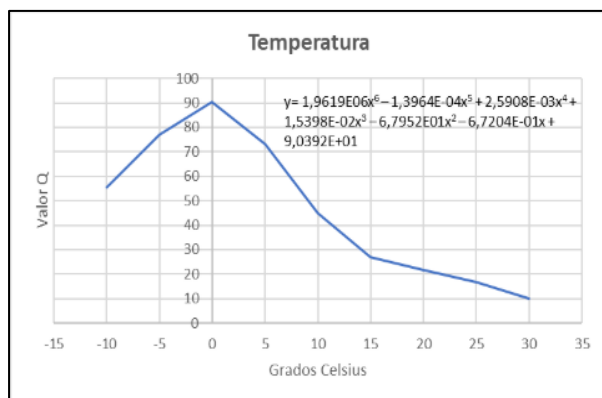
TABLA V
PESOS RELATIVOS DE LOS PARÁMETROS DEL WQI-NSF

Parámetros	Pesos
Turbiedad	0.08
Sólidos totales	0.08
DBO ₅	0.10
Temperatura	0.10
Fosfatos	0.10
Nitratos	0.10
pH	0.12
Coliformes fecales	0.15
Oxígeno disuelto	0.17

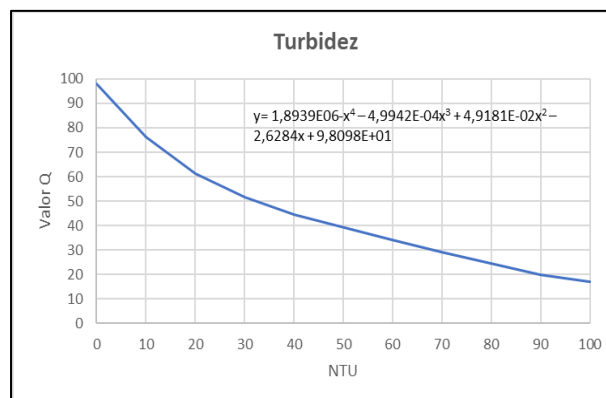
Fuente: [80]

Para obtener el valor de Qi se utilizó las gráficas de las curvas de calidad de la NSF incorporando ajustes polinomiales y los resultados de cada parámetro obtenidos en laboratorio.

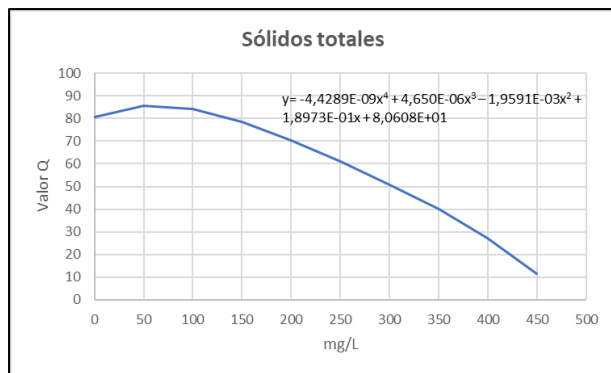
En la **Fig. 16** se muestran las curvas con los ajustes polinomiales utilizadas para determinar el subíndice de cada parámetro. Donde los valores del eje X representan el valor del parámetro analizado y los valores de eje Y corresponden al valor de cada subíndice.



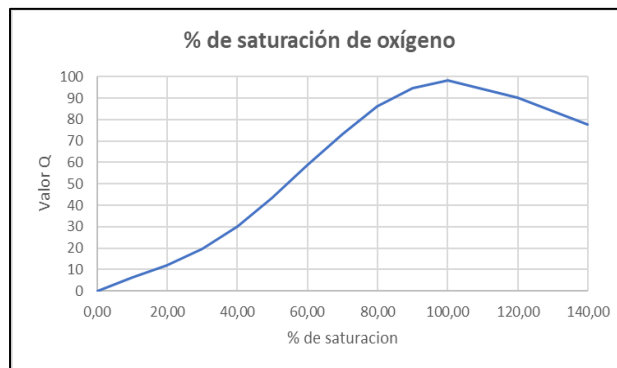
(a)



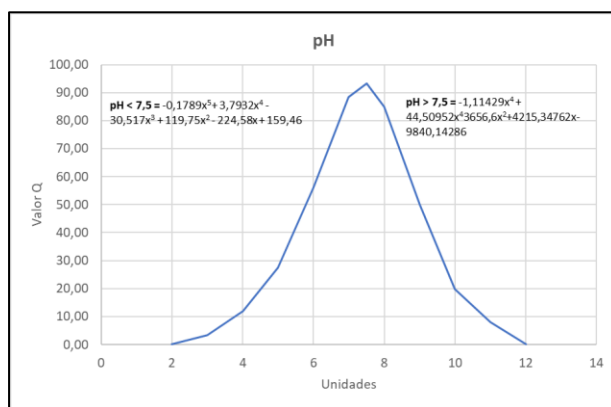
(b)



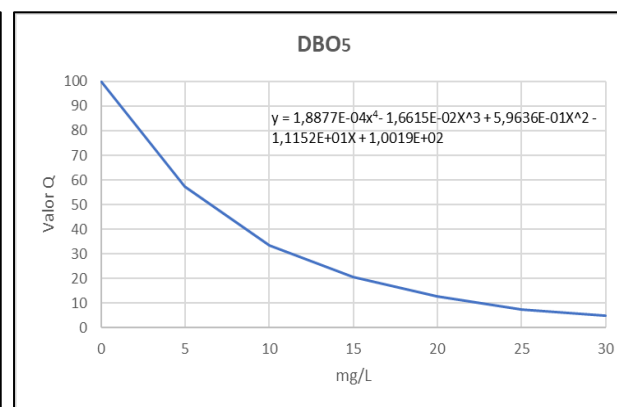
(c)



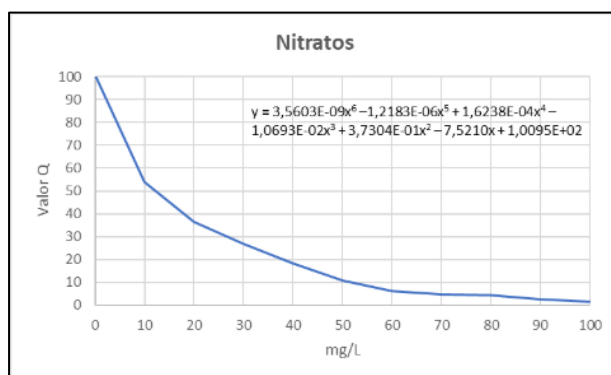
(d)



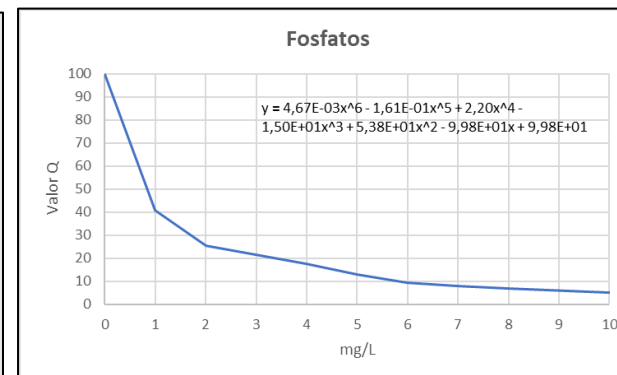
(e)



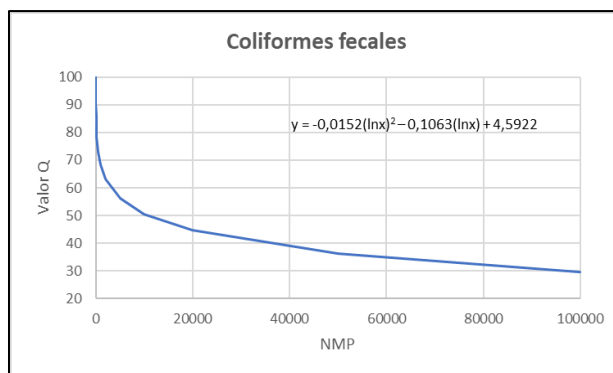
(f)



(g)



(h)



(i)

Fig. 16. Curvas del WQI-NSF con ajustes polinomiales para determinar el valor Qi. (a) Temperatura; (b) Turbiedad; (c) Sólidos totales; (d) Oxígeno disuelto; (e) pH; (f) Demanda bioquímica de oxígeno; (g) Nitratos; (h) Fosfatos; (i) Coliformes fecales.

Para la interpretación de la calidad del agua se estableció una escala de clasificación que va de 0 a 100 como se muestra en la **TABLA V** donde 0 representa agua de mala calidad y 100 representa agua de excelente calidad.

TABLA VI
ESCALA DE CLASIFICACIÓN DEL WQI-NSF

Clasificación de calidad del agua	Rango	Color
Excelente	91-100	Blue
Buena	71-90	Green
Media	51-70	Yellow
Mala	26-50	Orange
Muy mala	0-25	Red

Fuente: [57]

VII. RESULTADOS

A) Delimitación y caracterización de la microcuenca Pumamaqui

Del proceso de delimitación obtuvimos la microcuenca de la parte alta de la subcuenca Casacay y su red de drenaje, la microcuenca se encuentra ubicada en el cantón Chilla de la provincia de El Oro (Fig. 17).

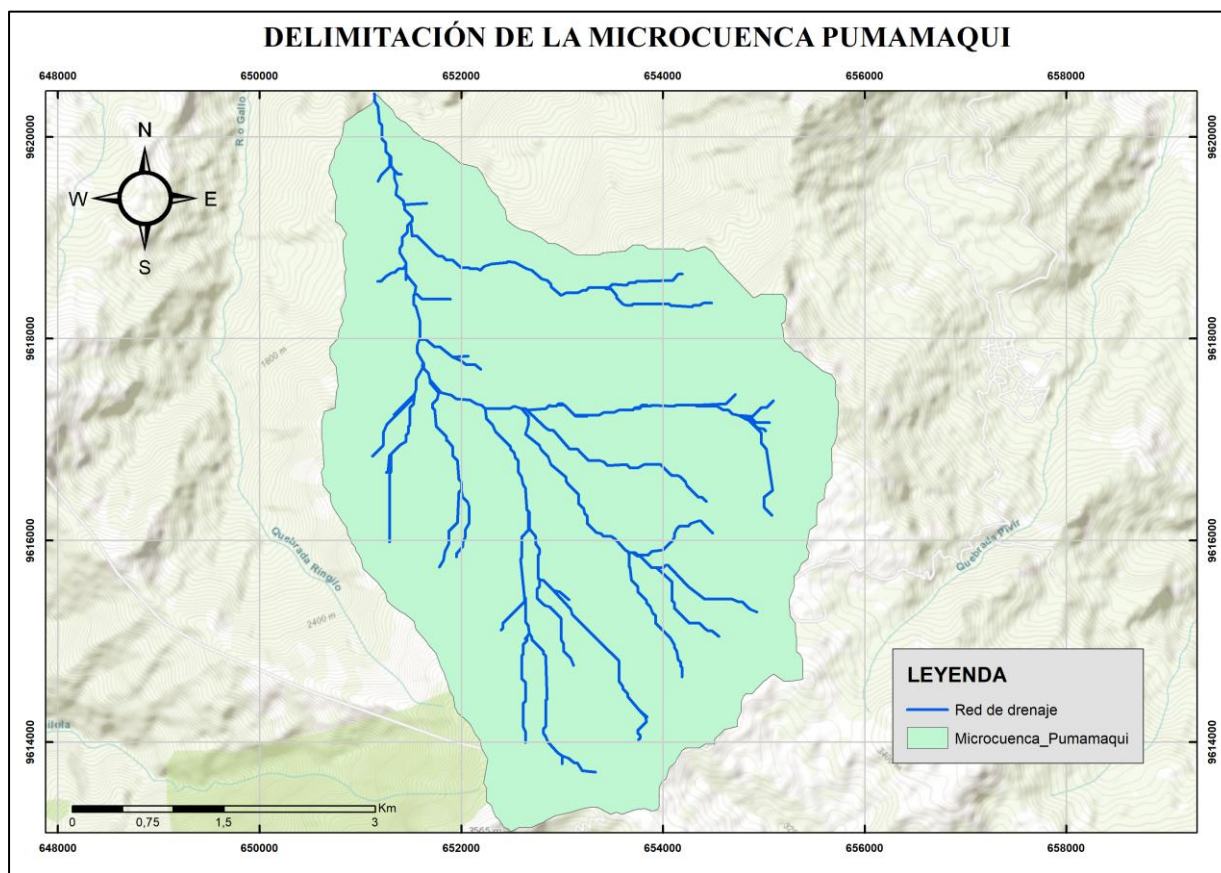


Fig. 17. Microcuenca Pumamaqui, resultado de la de delimitación

TABLA VII
CARACTERÍSTICAS DE LA MICROCUENCA

Características de la microcuenca Pumamaqui	
Área	2378, 65 ha
Perímetro	21,68 km
Longitud de cuenca	7, 630 km,
Longitud de cauces	41 km
Forma	Oval redonda a oval-oblonga
Orden de los ríos	4
Altura máxima	3443 msnm
Altura mínima	1263 msnm
Altura media	2488 msnm
Pendiente media	27,32 %

La **TABLA VII** nos muestra las características de la microcuenca, la cual tiene un área de 2378,65 hectáreas, su perímetro es de 21,68 km, la longitud de cuenca es de 7,63 km, la longitud de todos los cauces tiene un total de 41 km, su forma según el índice de compacidad es oval redonda a oval-oblonga, sus ríos son de cuarto orden, posee una altura media de 2488, siendo su altura máxima es de 3443 msnm y la mínima de 1263, y la pendiente media de la cuenca es de 27,32 %.

B) Puntos de muestreo seleccionados

Los puntos de muestreo se eligieron mediante mapas cartográficos, se estableció los puntos en las quebradas principales de escorrentía, considerando el uso de suelo y la accesibilidad. Se escogieron 4 puntos muestreo los cuales se muestran en la **TABLA VI** y **Fig. 18**.

TABLA VIII
PUNTOS DE MUESTREO

PUNTO	COORDENADAS	
	X	Y
Punto 1	652899	9613957
Punto 2	653894	9615316
Punto 3	654844	9615693
Punto 4	655060	9616686



Fig. 18. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo

1) Descripción de los puntos de muestreo

Punto 1: Ubicado en la quebrada Pilliguro a una altura de 3208 msnm, se encuentra rodeado principalmente de páramo y pastizal para actividades de ganadería, también encontramos plantaciones forestales y actividades agrícolas, este punto se lo escogió debido a su ubicación cercana a las fuentes de escorrentía en la parte alta de la microcuenca (**Fig. 19**).



Fig. 19. Punto de muestreo 1

Punto 2: Ubicado en la quebrada Pumamaqui a 2927 msnm de altura, a los alrededores de este punto se puede encontrar bosque y actividades de ganadería, este punto fue elegido debido a su ubicación en la microcuenca y considerando su uso de suelo (**Fig. 20**).



Fig. 20. Punto de muestreo 2

Punto 3: Se encuentra a una altura de 3131 msnm, rodeado de páramo y bosque nativo, además se desarrolla actividad agrícola y ganadería, a los alrededores de este punto no se encuentran población (**Fig. 21**).



Fig. 21. Punto de muestreo 3

Punto 4: Ubicado a 2954 msnm, a sus alrededores se encuentra bosque nativo, vegetación arbustiva y herbácea; se pudo observar que no existen poblaciones, únicamente se encuentra pastizal destinado a la ganadería (**Fig. 22**).



Fig. 22. Punto de muestreo 4

C) Parámetros del WQI-NSF

El WQI-NSF establece 9 parámetros para el análisis de calidad del agua estos parámetros fueron establecidos por expertos mediante el método Delphi [22]. Incluye parámetros físicos, químicos y microbiológicos, los cuales se mencionan a continuación:

- Temperatura
- Turbiedad
- Sólidos totales
- Oxígeno disuelto
- pH
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)
- Nitratos
- Fosfatos
- Coliformes fecales

D) Calidad del agua de la microcuenca Pumamaqui

1) Resultados de los parámetros analizados en laboratorio

En la **TABLA IX** se presentan los resultados obtenidos de los nueve parámetros físicos, químicos y microbiológicos analizados para cada uno de los puntos de muestreo establecidos.

TABLA IX
RESULTADO DE LOS PARÁMETROS

Parámetros	Unidades	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Temperatura	°C	12,14	10,66	11,96	11,76
Turbiedad	mg/l	0,85	1,18	0,85	1,35
Sólidos totales	mg/l	80	68,00	54	104
Oxígeno disuelto	%	98,20	99,60	93,6	97,8
pH	unidades pH	7,29	7,20	7,02	7,75
DBO ₅	mg/l	< 2	< 2	< 2	<2
Nitratos	mg/l	3,10	4,43	3,1	3,98
Fosfatos	mg/l	1,42	2,10	0,05	0,08
Coliformes fecales	(NMP/100 ml)	< 1,8	< 1,8	< 1,8	<1,8

2) Cálculo del índice de calidad del agua WQI-NSF

De acuerdo con la metodología planteada en la sección 4 para el cálculo del WQI-NSF, se presentan los valores obtenidos de los ajustes polinomiales aplicados, y los subíndices ponderados de los cuatro puntos de muestreo, con su valor del cálculo de índice de calidad como se muestra en la **TABLA IX**.

TABLA X
RESULTADO DEL WQI-NSF DEL PUNTO 1

Parámetros	Valor	Valor (Qi)	Peso (Wi)	Qi * Wi	Índice de calidad	Calidad
Temperatura ΔT (°C)	0	90,39	0,10	9,04	85 ,45	Buena
Turbiedad (mg/l)	0,85	95,81	0,08	7,66		
Sólidos totales (mg/l)	80	85,45	0,08	6,84		
Oxígeno disuelto (%)	98,20	98,19	0,17	16,69		
pH (unidades pH)	7,29	93,09	0,12	11,17		
DBO ₅ (mg/l)	< 2	80,14	0,10	8,01		
Nitratos (mg/l)	3,10	80,92	0,10	8,09		
Fosfatos (mg/l)	1,42	31,63	0,10	3,16		
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	< 1,8	98,50	0,15	14,77		

La **TABLA X** muestra los resultados del cálculo del WQI-NSF para el punto 1 en el cual el valor es de 85,45 lo que indica que el agua es de buena calidad. Analizando de manera individual la calidad de cada parámetro, podemos observar que el parámetro de fosfatos es el que presentan menor calidad con un índice de 31,63. Los parámetros de turbiedad, sólidos totales, oxígeno disuelto, pH, DBO₅, nitratos y coliformes presentan un índice por encima de 80 lo cual indica que tienen buena calidad.

TABLA XI
RESULTADO DEL WQI-NSF DEL PUNTO 2

Parámetros	Valor	Valor (Qi)	Peso (Wi)	Qi * Wi	Índice de calidad	Calidad
Temperatura ΔT (°C)	0	90,39	0,10	9,04	83,99	Buena
Turbiedad (mg/l)	1,18	94,98	0,08	7,60		
Sólidos totales (mg/l)	68,00	85,82	0,08	6,87		
Oxígeno disuelto (%)	99,60	98,39	0,17	16,73		
pH (unidades pH)	7,20	92,14	0,12	11,06		
DBO ₅ (mg/l)	< 2	80,14	0,10	8,01		
Nitratos (mg/l)	4,43	74,08	0,10	7,41		
Fosfatos (mg/l)	2,10	25,02	0,10	2,50		
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	< 1,8	98,50	0,15	14,77		

La **TABLA X** muestra los resultados del punto 2 de monitoreo, correspondiente al cálculo del WQI-NSF con un valor de 83,99 lo cual se interpreta que el agua es de buena calidad de acuerdo con la escala de clasificación de la **TABLA VI**.

TABLA XII
RESULTADO DEL WQI-NSF DEL PUNTO 3

Parámetros	Valor	Valor (Qi)	Peso (Wi)	Qi * Wi	Índice de calidad	Calidad
Temperatura ΔT (°C)	0	90,39	0,10	9,04	91,07	Excelente
Turbiedad (mg/l)	0,85	95,81	0,08	7,66		
Sólidos totales (mg/l)	54	85,84	0,08	6,87		
Oxígeno disuelto (%)	93,6	96,75	0,17	16,45		
pH (unidades pH)	7,02	88,96	0,12	10,68		
DBO ₅ (mg/l)	< 2	80,14	0,10	8,01		
Nitratos (mg/l)	3,1	80,92	0,10	8,09		
Fosfatos (mg/l)	0,05	94,97	0,10	9,50		
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	< 1,8	98,50	0,15	14,77		

La **TABLA XI** muestra los resultados del punto 3 de monitoreo, correspondiente al cálculo del WQI-NSF con un valor de 91,07 lo cual se interpreta que el agua es de excelente calidad de acuerdo con la escala de clasificación de la **TABLA VI**.

TABLA XIII
RESULTADO DEL WQI-NSF DEL PUNTO 4

Parámetros	Valor	Valor (Qi)	Peso (Wi)	Qi * Wi	Índice de calidad	Calidad
Temperatura ΔT (°C)	0	90,39	0,10	9,04	90,48	Buena
Turbiedad (mg/l)	1,35	94,55	0,08	7,56		
Sólidos totales (mg/l)	104	83,86	0,08	6,71		
Oxígeno disuelto (%)	97,8	98,11	0,17	16,68		
pH (unidades pH)	7,75	90,44	0,12	10,85		
DBO ₅ (mg/l)	<2	80,14	0,10	8,01		
Nitratos (mg/l)	3,98	76,29	0,10	7,63		
Fosfatos (mg/l)	0,08	92,18	0,10	9,22		
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	<1,8	98,50	0,15	14,77		

La **TABLA IX** muestra los resultados del cálculo del WQI-NSF para el punto 4 en el cual el valor es de 90,48 lo que indica que el agua es de buena calidad según la calificación del WQI-NSF presentada en la **TABLA VI**.

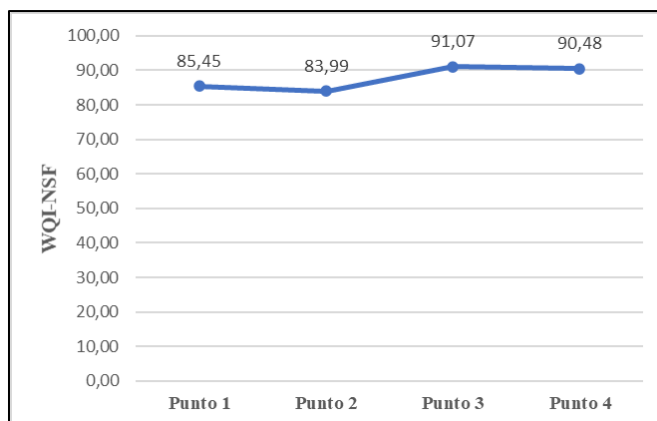


Fig. 23. Variación de la calidad en los diferentes puntos de muestreo

En la **Fig. 23** se observa la variación de la calidad WQI-NSF para cada uno de los puntos analizados, se observa una variación de 83,99 a 91,07, en el punto de muestreo 2 se presenta menor calidad teniendo un WQI-NSF de 83,99, y el punto 3 es el que mejor calidad presenta, teniendo un WQI-NSF de 91,07, en general los puntos 1, 2 y 4 presentan una calidad buena según la clasificación de la **TABLA VI** y el punto 3 tiene excelente calidad.

VIII. DISCUSIÓN

Los estudios de calidad del agua son necesarios para generar estrategias de gestión que contribuyan en la conservación de una microcuenca, pues permiten identificar la problemática y si presenta o no contaminación, por ende, muchos países han desarrollado sistemas de monitoreo como una medida de prevención y contribución para la gestión integral de los recursos hídricos [88].

En ese sentido, un principio de la gestión del agua es monitorear y evaluar las fuentes hídricas [89]. Países como Estados Unidos implementó el Seguimiento de Calidad del Agua (MCA), que ha sufrido cambios desde la primera vez de su ejecución con el fin de hacerlo más confiable y adecuado en condiciones puntuales, este sistema busca evaluar mediante parámetros físicos, químicos y biológicos, y en base a ello detectar los contaminantes y las tendencias en la calidad del agua de la región. Uno de los programas dentro de estos estudios de monitoreo es el NASQAN en la cuenca del río Colorado, implementando 8 estaciones en los siete estados, que cuenta con una caracterización a lo largo del río, e identifica datos de concentraciones de sedimentos y productos químicos en zonas claves, y de ser el caso de presentar contaminación busca identificar el origen y como incide sobre la salud de la comunidad, este mismo programa presenta efectividad en la gestión del Río Grande [15]. No obstante, [90] plantea que en los programas de monitoreo se presentan limitaciones que impiden su efectividad, como los incorporados en Sudáfrica a través del Departamento de Agua y Saneamiento que no cuentan con resultados favorables, el sistema de monitoreo está estructurado en un marco complejo a nivel nacional, provincial, y local para evaluar y garantizar el acceso al agua, pero se encuentra condicionado por; la falta de organización en donde diferentes instituciones trabajan por separado y cada una recopila sus propia información lo que provoca vacíos de información y baja calidad en los datos, sistemas de monitoreo complejos que no han sido eficaces y se debe aplicar mejoras ante los problemas de calidad del agua persistentes con niveles elevados de contaminación.

Otro de los países que realizan monitoreos de calidad de agua de sus fuentes de abastecimiento es Canadá. El Consejo Canadiense de ministros de Medio Ambiente diseñó el CCME WQI que es un método para determinar la calidad el agua, mide 22 características fisicoquímicas y sus aguas son para el consumo humano. Este cuenta con tres enfoques; alcance, frecuencia y amplitud, además Canadá ha implementado tecnologías y herramientas nuevas para

monitorear, las redes de sensores automatizados que monitorean los parámetros en tiempo real este índice ha ayudado en la gestión del agua [91]. Por otro lado, [92] menciona que el uso de metodologías desactualizada en los programas de monitoreo puede ser contraproducente en su gestión, como en México que presenta un deterioro en la mayoría de sus ríos, pero en su proceso de seguimiento y monitoreo emplea el índice SEDUE QWI, creado en la década de los 70, y sus resultados no reflejan las condiciones actuales.

Para el seguimiento a nivel nacional en Ecuador tenemos en la ciudad de Quito a FONAG que es el Fondo para la protección del Agua, y a EPMAS a cargo de programas de monitoreo del agua. Este último mantiene un registro las 24 horas del día para tener un control de calidad y poder potabilizar en las 20 plantas de tratamiento de la empresa, este programa utiliza equipo especializado como los loggers de presión que registran los datos, almacenados cada 25 minutos y son enviados al servidor de Agua Quito [93]. Mientras que, para la ciudad de Cuenca la Empresa Pública de Telecomunicaciones, Agua, Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Agua (ETAPA EP) se hace cargo del programa de “Monitoreo de la Integrada Ecológica de los Ríos de Cuenca de ETAPA EP” el cual busca determinar la calidad de los ríos considerando bioindicadores biológicos, estado de la vegetación de ribera, de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en 73 puntos en las subcuencas de los ríos [94].

A diferencia de los sistemas de seguimiento anteriormente analizados, a nivel local las investigaciones de calidad del agua se ven afectados por el poco financiamiento de las actividades de monitoreo y la disponibilidad del equipo técnico [95]. Sin embargo, con el diseño de programa de seguimiento en la microcuenca Pumamaqui se busca ser un punto de partida para realizar monitoreos de calidad en zonas que poseen gran importancia en conservación y que son fuentes de abastecimiento, pero no han sido analizadas.

De acuerdo con los resultados tenemos a la variación de temperatura con un valor de cero, la microcuenca Pumamaqui está ubicada en una zona gran altitud, [96], [97], sostienen en sus análisis que para las zonas montañosas en Sudamérica con más de 2000 m.s.n.m como en el caso de la microcuenca Pumamaqui este aspecto dificulta el acceso para mayor perturbación con actividades que desarrollen descargas directas a los cuerpos de agua. A diferencia de lugares en donde si se ejecuten es tipo de acciones, es necesario realizar un muestreo como lo indica [98] para el análisis del WQI-NSF realizar dos muestreos uno antes de que el cuerpo hídrico se vea afectado

y otra luego, sin embargo, la microcuenca al no presentar descargas, los resultados de variación de temperatura son de cero.

La turbiedad se manifiesta en el agua debido a las partículas en suspensión que causan la absorción y dispersión de la luz, de acuerdo con los resultados los niveles de turbiedad dentro de la microcuenca se encuentran entre 0,85 mg/l y los 1,35 mg/l, siendo cantidades bajas, como lo menciona, [99] si un cuerpo de agua contiene valores elevados de turbiedad posee mayor cantidad de materiales; coloidales, minerales y orgánicos que pueden ser contaminantes para el cuerpo de agua, sin embargo, los resultados de la investigación cuentan con cantidades muy pequeñas y se puede decir que la calidad del agua es buena y no posee contaminación microbiana, por tanto, la microcuenca Pumamqui no se ve afectada por la cantidad de turbiedad resultantes en los puntos de muestreo y cuenta con alta transparencia sin presencia de sedimentos contaminantes. Según [100], en este tipo de agua los procesos de tratamiento de agua para consumo humano son más sencillo pues no requiere de proceso de desinfección. Mientras tanto, [101] destaca que, si bien la turbiedad es un indicador de calidad, no brinda resultados específicos con relación a los contaminantes.

La cantidad de sólidos totales incluye partículas suspendidas y disueltas [102]. En los puntos muestreados, oscilan entre 54 mg/l y 104 mg/l estos valores pueden darse mayormente por material vegetal dentro del río, como descomposición orgánica de raíces, troncos y ramas, la microcuenca es una zona que presenta un volumen de precipitaciones significativas por periodos. Según [103], esto influye sobre los resultados pues llevan consigo el material del suelo o aire hacia el cuerpo de agua, y de esta forma los sólidos totales son un factor determinante en el transporte de contaminantes, y se definen como indicador para la calidad del agua. Por otro lado, se presenta una variación entre los resultados del primer punto y el último, este factor se ve principalmente afectado por las actividades antropogénicas que se desarrollen cerca del recurso hídrico, los niveles de sólidos totales se relacionan con la turbiedad, ya que aumenta las concentraciones de sedimentos, además de que reduce la eficiencia de tratamiento de agua [104].

El oxígeno disuelto depende de factores como la temperatura, salinidad, presión, altitud y composición fisicoquímica del agua [105]. En la microcuenca el valor más bajo es de 93,6% mientras que 99,60% corresponde al valor más alto estos resultados reflejan que las condiciones de vida acuática son buenas y no presenta contaminación orgánica, esto lo menciona [106] que el porcentaje de oxígeno disuelto en el agua ayuda a identificar las fuentes de contaminación en un cuerpo de agua y las altas concentraciones de oxígeno disuelto permiten la proliferación de

bacterias y microorganismos aeróbicos, lo cual permite tener una baja carga de contaminantes orgánicos. Por otro lado, [107] atribuye en su investigación la influencia de las características de una cuenca en los resultados altos de oxígeno disuelto, además indica que las zonas con gran altitud y temperaturas más frías permiten que haya mayor turbulencia lo que también incide sobre estos valores. [108] menciona que cuando los valores son bajos es porque existe una alta demanda de oxígeno por parte de los organismos presentes en el agua que necesitan digerir la materia orgánica o por oxidación de compuestos inorgánicos, lo que provoca que el porcentaje de OD disminuya [109].

El pH es un indicativo de la acidez o alcalinidad del agua, está representado por los iones de hidrógeno, es importante en los procesos químicos y orgánicos, también mejora la vida acuática [110]. El pH presente en la microcuenca de estudio varia de 7,02 a 7,75; según [111] menciona que el pH en valores de 5,5 a 8,5 no influye en la calidad del agua, cuando se presenta en valores menores a 4 puede tener repercusiones sobre la salud humana causando irritación de las mucosas y otros órganos internos, además puede causar ulceraciones. De acuerdo con [110] el pH del agua interviene sobre la residencia de sus iones, esto puede llegar a afectar sus compuestos positivos como los metales pesados, el amoníaco y sulfatos de hidrógeno. [112] menciona que los niveles óptimos de pH que deben tener los ecosistemas dulces son de 6,5 a 8,5 por lo que se considera que el agua de la microcuenca se encuentra en buenas condiciones para el desarrollo de la vida acuática. La variación del rango ideal puede ocasionar alteraciones en la determinación de iones y en los nutrientes fundamentales disponibles [113].

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para descomponer la materia orgánica durante un lapso de 5 días a una temperatura de 20 °C [114]. El DBO₅ de la microcuenca es de 2 mg/l para todos los puntos y es considerado de buena calidad. De acuerdo con [115] los niveles altos de DBO₅ están relacionados con los meses cálidos, reflejando un incremento de contaminación orgánica y actividad microbiana. Según [116] menciona que el DBO₅ está relacionado con los sólidos totales y reflejan contaminación orgánica del agua a causa de actividades humanas. Por otro lado, [117] menciona que la presencia de contaminantes orgánicos ocurre debido a la presencia de aguas residuales, fertilizantes, restos orgánicos provenientes de animales y vegetación en estado de descomposición. En la microcuenca Pumamaqui la única fuente posible de aportación de materia orgánica que puede alterar la calidad del agua es la presencia de ganadería.

Los nitratos presentes en los puntos de muestreo son de 3,1 a 4,43 ml/l, estos valores son caracterizados de buena calidad, según [118] las concentraciones altas de nitratos están relacionadas con la presencia de residuos animales. Generalmente al agua de la parte alta presenta bajos niveles de nitratos esto se debe a que estos compuestos se introducen hacia las aguas subterráneas o se escurren de manera superficial hacia la parte más baja. De acuerdo con [119] cuando se presentan concentraciones altas de nitratos se produce un excesivo crecimiento de algas y con ello la eutrofización. [120] argumenta que la razón principal de la contaminación por nitratos es a causa de desechos provenientes de estiércol de animales, fertilizantes y pesticidas.

El contenido de fosfatos obtenidos en la microcuenca varía de 0,05 a 2,10 mg/l, el contenido más alto se presenta en el punto 1 y 2 que cuenta con 1,42 y 2,10 mg/l respectivamente. [112] menciona que los fosfatos se encuentran de forma natural en la descomposición de materia vegetal y de excremento animales. Por el contrario, [121] asocia la presencia de fosfatos en el agua de ríos con altas precipitaciones, además, menciona que las rocas son la principal causa de la presencia de fosfatos puesto que estas cuando se encuentran en un medio acuático ácido los minerales de fósforo se encuentran estables y cuando el pH es ligeramente alcalino tiende a transformarse en fosfatos. La erosión del suelo también es un factor que [122] considera que influye en la presencia de fosfatos debido al arrastre de sedimentos. Según [123] la presencia de fosfatos en el agua se puede atribuir a las actividades agrícolas por el uso de fertilizantes, aguas industriales y aguas domésticas, en el caso de la microcuenca no existe gran presencia de actividades humanas, solo existe la presencia de ganadería. Por esta razón se le atribuye a esta actividad la presencia de fosfatos en el agua, que al combinarse con la lluvia se produce arrastre de las heces del ganado.

La calidad que presenta la microcuenca Pumamaqui en todos sus puntos es considerada de buena calidad, según [76] nos menciona que el agua con este rango de calidad se lo conoce como levemente contaminado, por lo que es posible su utilización para el consumo humano solo realizando un proceso de purificación.

IX. CONCLUSIONES

Mediante la delimitación con el método Pfafstetter obtuvimos la división de la microcuenca para la identificación de sus características morfométricas como el área, el perímetro y la longitud de cuenca. Además, se identificaron las fuentes de escorrentía que abastecen a la microcuenca, como las quebradas Pilliguro y Pumamaqui, este método es ampliamente utilizado para la delimitación de microcuencas, puesto que facilita la identificación de las cuencas en sus diferentes niveles.

El planteamiento de un sistema de monitoreo es importante, ya que nos permite dar un seguimiento de manera constante a cerca de la calidad del agua de la microcuenca y de esta manera plantear estrategias de conservación y mejora, para tener disponibilidad de agua de buena calidad. Se establecieron cuatro puntos de muestreo considerando lo establecido en la norma técnica ecuatoriana INEN 2226:2013, también se consideró la ubicación geográfica, la accesibilidad, los usos de suelo y las actividades que se desarrollan cerca de estos puntos.

Para el análisis de la calidad del agua se utilizó el WQI-NSF, puesto que nos permite analizar agua destinada a consumo humano, analiza 9 parámetros físicos (temperatura, turbiedad y sólidos totales), químicos (oxígeno disuelto, pH, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos y fosfatos) y microbiológicos (coliformes fecales). Este índice nos establece curvas polinomiales para la medición de la calidad de cada uno de los parámetros establecidos. Además, nos permite hacer un análisis cuantitativo de la calidad del agua a partir de datos cualitativos. También se aplicaron ajustes polinomiales a las curvas propuestas por el WQI-NSF para obtener datos de calidad más precisos.

De la implementación del Índice de Calidad del Agua propuesta por la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos (WQI-NSF) obtuvimos que el agua de la microcuenca es de buena a excelente calidad, con índices que varían de 83,99 a 91,07. El punto de muestreo uno tuvo una calidad de 85,45, el punto 2 el valor de calidad es de 83,99, para el punto 3 el índice de calidad es de 91,07 y el punto 4 tiene un valor de calidad de 90,48. La calidad en los cuatro puntos de muestreo analizados no muestra una variación significativa entre ellos. Al analizar de manera individual cada uno de los parámetros encontramos que el parámetro de fosfatos es el que presenta menor calidad, se asume que el contenido de fosfatos se debe a las actividades de ganadería que se desarrolla a los alrededores de los puntos de muestreo. Asimismo, puede estar causado por la

presencia de fósforo en las rocas, el cual, debido a las condiciones de la microcuenca y a los procesos de erosión, se produce la liberación en fosfatos.

X. RECOMENDACIONES

Se propone establecer un programa de monitoreo con frecuencia estacional para evaluar la en diferentes periodos de tiempo. En la microcuenca Pumamaqui se presentan estaciones secas y lluviosas, por tanto, realizar un análisis de calidad y comparar los resultados dependiendo del tiempo nos permitirá ampliar la información para posteriormente establecer estrategias de gestión según las amenazas encontrada en cada monitoreo realizado.

Se considera indispensable realizar de forma continua y periódica la aplicación de metodologías específicas para su monitoreo como; WQI-NSF pues este índice permite interpretar de forma sencilla los resultados con el objetivo de transmitir a la comunidad local dicha información. Además de seguir aplicando los ajustes polinomiales puesto que permitirán tener mayor exactitud en los resultados del índice de calidad.

Para fortalecer la gestión de recurso hídrico se recomienda implementar tecnologías de monitoreo remoto, estas nuevas herramientas pueden ser; sensores inteligentes, las imágenes satelitales, drones o SIG, nos permitirá obtener datos en tiempo real de indicadores importantes como pH, turbiedad, conductividad, temperatura, niveles de oxígeno disuelto entre otros. Además, ayudará a expandir la cobertura del monitoreo en áreas donde se dificulta su acceso.

Es necesario implementar campañas de concientización y sensibilización hacia la comunidad, puesto que microcuenca Pumamaqui posee gran importancia al ser fuente de abastecimiento, por ende, establecer zonas de protección y fomentar prácticas sostenibles garantizará la sostenibilidad del recurso hídrico, y con ayuda de los gobiernos locales lograr involucrar a la comunidad para tener un compromiso con la conservación del recurso hídrico.

REFERENCIAS

- [1] R. Peñafiel, F. R. Morales-Fiallos, B. Paredes-Beltran, D. Moya, A. J. F. Carrion, and B. Moreano, “Heavy Metals in Water and Sediments and Their Impact on Water Quality in Andean Micro-watersheds: A Study of the Colorado and Alajua Rivers in the Ambato River Watershed, Tungurahua, Ecuador,” *Nature Environment and Pollution Technology*, vol. 23, no. 4, pp. 1901–1916, Dec. 2024, doi: 10.46488/NEPT.2024.v23i04.003.
- [2] L. F. Cifuentes-Herrera, L. P. Romero-Duque, O. E. A. Núñez, and J. M. Trilleras, “Integrated Water Resource Management under Ecosystem Services Approach—The Chimulala Micro-watershed, Peru,” *Environ Manage*, pp. 1–16, Dec. 2024, doi: 10.1007/S00267-024-02092-Z/FIGURES/7.
- [3] S. A. Saravia-Maldonado, L. F. Fernández-Pozo, B. Ramírez-Rosario, and M. Á. Rodríguez-González, “Analysis of Deforestation and Water Quality in the Talgua River Watershed (Honduras): Ecosystem Approach Based on the DPSIR Model,” *Sustainability*, vol. 16, no. 12, p. 5034, Jun. 2024, doi: 10.3390/SU16125034.
- [4] M. Procel-Silva, H. Moyano-Vallejo, X. Granizo-Espinoza, L. Cabezas, S. Godoy-Ponce, and Y. Montenegro-Zambrano, “Environmental Impact Assessment and Management Strategies for the Pachanlica River Micro-Watershed, Ecuador: Addressing Water Pollution and Its Alignment with the Sustainable Development Goals (SDGs),” *Journal of Lifestyle and SDGs Review*, vol. 5, no. 2, p. e04406, Jan. 2025, doi: 10.47172/2965-730X.SDGsReview.v5.n02.pe04406.
- [5] B. Gharabaghi, E. Mcbean, H. Bonakdari, G. D. Gikas, D. Lergios, and V. A. Tsihrintzis, “Comparative Assessment of the Application of Four Water Quality Indices (WQIs) in Three Ephemeral Rivers in Greece,” *Water 2023, Vol. 15, Page 1443*, vol. 15, no. 8, p. 1443, Apr. 2023, doi: 10.3390/W15081443.
- [6] G. Pauta-Calle *et al.*, “Water quality assessment of the rivers of Cuenca city in Ecuador,” *Maskana*, vol. 10, no. 2, pp. 76–88, Dec. 2019, doi: 10.18537/MSKN.10.02.08.
- [7] M. R. Pontón Valarezo, “Evaluación de la calidad del agua de la microcuenca del río Piñas mediante los índices ICA y BMWP,” Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador, 2018. Accessed: Feb. 08, 2025. [Online]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28920>

- [8] R. O. Do Nascimento, S. R. Araújo, S. D. S. V. Sodré, K. M. Freitas, and A. C. Alves, "Characterization of water quality and the effects of land use and seasonality on springs in eastern Amazonia," *Revista Ambiente & Água*, vol. 18, p. e2909, Oct. 2023, doi: 10.4136/AMBI-AGUA.2909.
- [9] A. Das, "Assessment of Surface Water Quality Using Entropy-WQI, Fuzzy-TOPSIS Analysis, Irrigation Indices and Spatial Interpolation Approaches in Mahanadi River Basin, Odisha, India," *Journal of Environmental Nanotechnology*, vol. 13, no. 1, pp. 182–212, 2024, doi: 10.13074/JENT.2024.03.241526.
- [10] F. A. J. Castillo and F. A. J. Castillo, "Delimitación automática de microcuencas utilizando datos SRTM de la NASA," *Enfoque UTE*, vol. 6, no. 4, pp. 81–97, Dec. 2015, doi: 10.29019/ENFOQUEUTE.V6N4.80.
- [11] A. E. Pérez-López, V. F. Melo, E. I. F. Filho, and M. R. Francelino, "Automatic delimitation and morphometrics analysis of watersheds and sub-watersheds using a digital elevation data set in the Cornare Antioquia, Colombia jurisdiction," *Rev Fac Nac Agron Medellin*, vol. 75, no. 3, pp. 10037–10051, Sep. 2022, doi: 10.15446/rfnam.v75n3.100663.
- [12] F. Castro and S. Castillo, "Delimitación y Codificación de Cuencas Hidrográficas." Accessed: Feb. 03, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/327230718_Delimitacion_y_Codificacion_de_Cuencas_Hidrograficas
- [13] V. Lakshmikantha, A. Hiriyannagowda, A. Manjunath, A. Patted, J. Basavaiah, and A. A. Anthony, "IoT based smart water quality monitoring system," *Global Transitions Proceedings*, vol. 2, no. 2, pp. 181–186, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.GLTP.2021.08.062.
- [14] S. Chrea, L. Tudesque, and R. Chea, "Comparative assessment of water quality classification techniques in the largest north-western river of Cambodia (Sangker River-Tonle Sap Basin)," *Ecol Indic*, vol. 154, p. 110759, Oct. 2023, doi: 10.1016/J.ECOLIND.2023.110759.
- [15] F. Rivas and X. Maldonado, "Acuerdos de monitoreo de calidad del agua en Estados Unidos de Norte América: Estado del Arte," *Visión Gerencial*, no. 1, pp. 173–187, 2011, doi: 10.53766/VIGEREN.
- [16] J. A. Robledo-Hernández, "Evaluation of the ICA-NSF Water Quality Index in the micro-basins of the Río Dulce National Park as a tool in the comprehensive management of

- sustainable management, Livingston, Izabal, Guatemala, Central America,” *Tecnologia en Marcha*, vol. 36, no. 1, 2023, doi: 10.18845/tm.v36i1.6241.
- [17] M. G. Uddin, S. Nash, and A. I. Olbert, “A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality,” *Ecol Indic*, vol. 122, p. 107218, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.ECOLIND.2020.107218.
- [18] C. O. Márquez, V. J. García, and A. C. Ríos, “Water Quality Indicator for Adaptability to Global Climate Change in Andean Highland Ecosystems,” *Water 2023, Vol. 15, Page 857*, vol. 15, no. 5, p. 857, Feb. 2023, doi: 10.3390/W15050857.
- [19] X. Nong, D. Shao, H. Zhong, and J. Liang, “Evaluation of water quality in the South-to-North Water Diversion Project of China using the water quality index (WQI) method,” *Water Res*, vol. 178, p. 115781, Jul. 2020, doi: 10.1016/J.WATRES.2020.115781.
- [20] M. Varol, “Use of water quality index and multivariate statistical methods for the evaluation of water quality of a stream affected by multiple stressors: A case study,” *Environmental Pollution*, vol. 266, p. 115417, Nov. 2020, doi: 10.1016/J.ENVPOL.2020.115417.
- [21] S. F. Pesce and D. A. Wunderlin, “Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba City (Argentina) on Suquía River,” *Water Res*, vol. 34, no. 11, pp. 2915–2926, Aug. 2000, doi: 10.1016/S0043-1354(00)00036-1.
- [22] M. S. Carrillo Alvarado and P. D. Urgilés Calle, “Determinación del índice de calidad de agua ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindilig,” Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador, 2016. Accessed: Feb. 06, 2025. [Online]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23518>
- [23] H. Luo *et al.*, “Integrating Water Quality Index (WQI) and Multivariate Statistics for Regional Surface Water Quality Evaluation: Key Parameter Identification and Human Health Risk Assessment,” *Water (Switzerland)*, vol. 16, no. 23, p. 3412, Dec. 2024, doi: 10.3390/W16233412/S1.
- [24] F. J. Paula Filho, R. V. Marins, L. Chicharo, R. B. Souza, G. V. Santos, and E. M. A. Braz, “Evaluation of water quality and trophic state in the Parnaíba River Delta, northeast Brazil,” *Reg Stud Mar Sci*, vol. 34, p. 101025, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.RSMA.2019.101025.
- [25] “GEMS/Water Home - GEMS/Water - Sitio global.” Accessed: Jan. 06, 2025. [Online]. Available: <https://communities.unep.org/spaces/gemswater/overview>

- [26] L. S. Quiroz Fernández, E. Izquierdo Kulich, and C. Menéndez Gutiérrez, “Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador ,” *Ingeniería Hidráulica y ambiental* , vol. 38, no. 3, pp. 41–51, 2017, Accessed: Feb. 03, 2025. [Online]. Available: <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v38n3/riha04317.pdf>
- [27] L. A. Vargas Collaguazo and J. E. Espinoza Correa, “La planificación estratégica como herramienta para la gestión integral de la subcuenca de Casacay,” *Revista Ciencia y Construcción* , vol. 4, no. 1, pp. 48–55, 2022, Accessed: Feb. 03, 2025. [Online]. Available: <https://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/article/view/159/116>
- [28] J. Xia and J. Zeng, “Environmental Factors Assisted the Evaluation of Entropy Water Quality Indices with Efficient Machine Learning Technique,” *Water Resources Management*, vol. 36, no. 6, pp. 2045–2060, Apr. 2022, doi: 10.1007/S11269-022-03126-Z/FIGURES/4.
- [29] C. Torres, P. ; Hernán Cruz, C. ; Patiño, and P. Janeth, “Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano,” *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 8, no. 15, pp. 79–94, 2009, Accessed: Jan. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75017199010>
- [30] O. Onifade, N. Shamsuddin, J. L. Z. Jin, D. T. C. Lai, and S. H. Gödeke, “Assessment of Pollution Status in Brunei River Using Water Quality Indices, Brunei Darussalam,” *Water (Basel)*, vol. 16, no. 17, p. 2439, Aug. 2024, doi: 10.3390/W16172439.
- [31] M. A. Jiménez and M. V. Vélez, “Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial,” *Avances en Recursos Hidráulicos*, no. 14, pp. 53–69, 2006, Accessed: Feb. 05, 2025. [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=145020399004>
- [32] D. Sierra-Porta, “Hydrogeochemical Evaluation of Water Quality Suitable for Human Consumption and Comparative Interpretation for Water Quality Index Studies,” *Environmental Processes*, vol. 7, no. 2, pp. 579–596, Jun. 2020, doi: 10.1007/S40710-020-00426-7/FIGURES/7.
- [33] D. A. Damian Carriín, C. O. Márquez, V. J. García, M. V. Rodríguez Llerena, and J. E. Ayala, “Priorización de microcuencas en los Andes ecuatorianos usando parámetros morfométricos, WSA y GIS,” *Revista Geográfica Venezolana*, vol. 58, no. 1, pp. 38–61, Apr. 2014, doi: 10.1016/J.JHYDROL.2014.02.028.

- [34] Bassi. Lauro, *Guía metodológica para el manejo participativo de microcuencas Secretaría de Coordinación Ejecutiva de la Presidencia MARN Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales*. 2007. Accessed: Feb. 06, 2025. [Online]. Available: <http://www.fao.org.gt>
- [35] J. X. Anchundia Solorzano, “Caracterización de las microcuencas aportantes al embalse propósito múltiple Chone para un modelo de gestión,” *Polo del Conocimiento*, vol. 7, no. 66, pp. 808–825, 2022, doi: 10.23857/pc.v7i1.3512.
- [36] C. Matovelle and D. Heras, “Análisis comparativo de las características morfométricas de sistemas hidrográficos de la vertiente del Pacífico, Ecuador,” *Investig Cienc*, vol. 28, no. 80, pp. 22–31, 2020, Accessed: Feb. 08, 2025. [Online]. Available: <http://orcid.org/0000-0002->
- [37] M. Vásconez, A. Mancheno, C. Álvarez, C. Prehn, C. Cevallos, and L. Ortiz, *Cuencas Hidrográficas*. Quito-Ecuador: Editorial Abya-Yala, 2019. Accessed: Feb. 06, 2025. [Online]. Available: <https://abyayala.org.ec/producto/cuencas-hidrograficas/>
- [38] J. Galizia Tundisi, “Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado,” *Cienc Cult*, vol. 55, no. 4, pp. 31–33, 2003.
- [39] C. Vera and I. Camiloni, “El ciclo del agua.” Accessed: Feb. 08, 2025. [Online]. Available: <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002315.pdf>
- [40] S. F. Utrera Caro, A. M. Aura y Larios de Medrano, M. L. Fernández De Soto Blass, E. Madrazo Rivas, and J. Morrillas Gomez, *Agua, trasvases y medio ambiente : las cuencas fluviales y el nuevo plan hidrológico nacional*. Madrid: Dykinson, 2013. Accessed: Feb. 07, 2025. [Online]. Available: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=753200&lang=es&site=ehost-live>
- [41] G. V. Mero Ceballos, “Diseño de captación superficial de agua, para su uso en riego, en las instalaciones de la granja experimental UNESUM, cantón Jipijapa,” Universidad Estatal del Sur de Manabí, Manabí-Ecuador, 2019. Accessed: Feb. 06, 2025. [Online]. Available: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1768>
- [42] M. E. Ramón Reinoso, “Estimación de la fracción de agua de evento y pre evento que aportan al caudal, mediante el uso de isótopos estables, en la cuenca del Río Zhurucay,” Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador, 2015.
- [43] E. Ruiz Romera and M. Martínez Santos, “Hidrología aplicada Tema 5. Escorrentía.”

- [44] USGS VizLab, “El Ciclo del Agua - The Water Cycle, Spanish (PNG) | U.S. Geological Survey.” Accessed: Feb. 07, 2025. [Online]. Available: <https://www.usgs.gov/media/images/el-ciclo-del-agua-water-cycle-spanish-png>
- [45] Á. De Miguel, J. J. Lado, V. Martínez, M. Leal, and R. García Pacheco, “El ciclo hidrológico: experiencias prácticas para su comprensión,” *Enseñanza de las ciencias de la tierra: Revista de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, ISSN 1132-9157, Vol. 17, Nº. 1, 2009, págs. 78-85, vol. 17, no. 1, pp. 78–85, 2009, Accessed: Feb. 06, 2025. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3309059&info=resumen&idioma=ENG>
- [46] R. Salgado Garciglia, “Deforestación,” *Revista de divulgación de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, no. 14, pp. 31–32, 2014, Accessed: Feb. 06, 2025. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4761345>
- [47] Jairo. Escobar, *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. CEPAL, División de Recursos Naturales e Infraestructura, 2002.
- [48] USGS, “Groundwater flow showing natural conditions | U.S. Geological Survey.” Accessed: Feb. 07, 2025. [Online]. Available: <https://www.usgs.gov/media/images/groundwater-flow-showing-natural-conditions>
- [49] G. M. Moreno Mera, “Percepción de los servicios ambientales de provisión en la reserva natural Pacoche,” *Telos Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, vol. 23, no. 2, pp. 267–285, May 2021, doi: 10.36390/TELOS232.05.
- [50] E. S. Corredor Camargo, J. A. Fonseca Carreño, and E. M. Páez Barón, “Los servicios ecosistémicos de regulación: tendencias e impacto en el bienestar humano,” *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, vol. 3, no. 1, p. 77, May 2012, doi: 10.22490/21456453.936.
- [51] A. Merlotto and E. M. Verón, “Evaluación de los servicios culturales de recreación y turismo del ecosistema playa, en la ciudad de Mar del Plata, Argentina,” *Revista Universitaria de Geografía*, vol. 28, pp. 35–49, 2019, Accessed: Feb. 06, 2025. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?>
- [52] N. Sánchez-Gómez and Z. E. Rocha Gil, “La evaluación de servicios ambientales de soporte,” *I3+*, vol. 1, no. 2, p. 127, 2014, Accessed: Feb. 06, 2025. [Online]. Available:

- https://www.academia.edu/111848169/La_evaluaci%C3%B3n_de_servicios_ambientales_de_soporte
- [53] J. Bravo-Cadena and N. Pavón Hernández, “La importancia de los servicios ecosistémicos,” *Ciencia*, vol. 75, no. 4, pp. 64–69, 2024.
 - [54] Y. Wu, Y. Xu, X. Zhang, C. Li, and F. Hao, “Multi-Remote Sensing Data Analysis for Identifying the Impact of Human Activities on Water-Related Ecosystem Services in the Yangtze River Economic Belt, China,” *Water (Basel)*, vol. 15, no. 5, p. 915, Feb. 2023, doi: 10.3390/W15050915.
 - [55] R. Martínez-Rodríguez, B. Viguera, C. I. Donatti, C. A. Harvey, and F. Alpizar, *La importancia de los servicios ecosistémicos para la agricultura*. Turrialba, Costa Rica, 2017. Accessed: Feb. 06, 2025. [Online]. Available: www.conservation.org/cascade-espanol
 - [56] Ríos Rivera Anita Cecilia, Soliz Guadalupe Brian Javier, and Salau Caizaguano María Ubaldina, “Evaluación de la calidad de agua en la microcuenca del río Sicalpa Cantón Colta, mediante macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores,” 2023. Accessed: Feb. 01, 2025. [Online]. Available: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10684>
 - [57] L. P. Reinoso Aguirre, “Evaluación de la calidad de agua de la microcuenca del Río Blanco de la Provincia de Chimborazo mediante macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores,” 2016, Accessed: Feb. 01, 2025. [Online]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4948>
 - [58] J. Wu, S. Zeng, L. Yang, Y. Ren, and J. Xia, “Spatiotemporal Characteristics of the Water Quality and Its Multiscale Relationship with Land Use in the Yangtze River Basin,” *Remote Sensing* 2021, Vol. 13, Page 3309, vol. 13, no. 16, p. 3309, Aug. 2021, doi: 10.3390/RS13163309.
 - [59] R. Guadarramas-Tejas, J. Kido-Miranda, G. Rolsdn-Antunez, and M. Salas-salgado, “Contaminación del agua,” *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, vol. 2, no. 5, pp. 1–10, 2016, Accessed: Feb. 03, 2025. [Online]. Available: www.ecorfan.org/spain
 - [60] J. Béjar Suárez and B. Mendoza Trujillo, “Contaminación orgánica del Río Chambo en el área de descarga de agua residual de la ciudad de Riobamba,” *Perfiles*, vol. 2, no. 20, pp. 40–46, Dec. 2018, doi: 10.47187/PERF.V2I20.32.

- [61] A. T. Ortega Ramírez and N. Sánchez Rodríguez, “Tratamientos avanzados para la potabilización de aguas residuales,” *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 31, no. 2, pp. 121–134, Dec. 2021, doi: 10.18359/RCIN.5343.
- [62] V. Kumar, A. Sharma, R. Bhardwaj, and A. K. Thukral, “Water Quality of River Beas, India, and Its Correlation with Reflectance Data,” *Journal of Water Chemistry and Technology* 2020 42:2, vol. 42, no. 2, pp. 134–141, Jul. 2020, doi: 10.3103/S1063455X2002006X.
- [63] A. D. de J. Ramos Mancheno, “Efectos del consumo de agua contaminada en la calidad de vida de las personas,” *Polo del Conocimiento*, vol. 9, no. 1, pp. 614–632, Jan. 2024, doi: 10.23857/PC.V9I1.6396.
- [64] J. María *et al.*, “Water pollution index of high Andean micro-basin of the Chumbao River, Andahuaylas, Peru,” *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, no. 105, pp. 20–28, 2022, doi: 10.17533/UDEA.REDIN.20210533.
- [65] S. Grondona, H. Massone, M. Gonzalez, and F. Bedmar, “Evaluación del peligro de contaminación del agua subterránea en áreas agrícolas,” *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 38, pp. 111–125, Dec. 2022, doi: 10.20937/RICA.54194.
- [66] F. Drenkhan and S. Castro-Salvador, “An Approach Towards Water Security in the Tropical Andes: Challenges and Perspectives,” *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, no. 12, 2023, doi: 10.18800/kawsaypacha.202302.A006.
- [67] M. M. da Mata, A. Sanudo, and M. A. T. de Medeiros, “Insegurança alimentar e insegurança hídrica domiciliar: um estudo de base populacional em um município da bacia hidrográfica do Rio Amazonas, Brasil,” *Cad Saude Publica*, vol. 40, no. 4, p. e00125423, May 2024, doi: 10.1590/0102-311XPT125423.
- [68] T. V. Naúmenko and M. S. Kózyreva Postgraduada, “El derretimiento de los glaciares andinos como amenaza a la seguridad hídrica de Perú”, doi: 10.37656/s20768400-2023-3-02.
- [69] F. Watson-Hernández *et al.*, “Determinación del caudal ambiental mediante una metodología hidrobiológica, considerando variables de cambio climático en el río Pejibaye, Cartago, Costa Rica,” *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 34, no. 4, pp. 118–129, Sep. 2021, doi: 10.18845/TM.V34I4.5223.

- [70] E. S. Zuñiga Orellana, “Caudal ecológico del Río Shullcas - Huancayo – Junín,” Huancayo – Perú, 2021. Accessed: Feb. 08, 2025. [Online]. Available: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6925>
- [71] O. Tunc Dede, I. T. Telci, and M. M. Aral, “The Use of Water Quality Index Models for the Evaluation of Surface Water Quality: A Case Study for Kirmir Basin, Ankara, Turkey,” *Water Qual Expo Health*, vol. 5, no. 1, pp. 41–56, Feb. 2013, doi: 10.1007/S12403-013-0085-3.
- [72] A. A. Bordalo, W. Nilsumranchit, and K. Chalermwat, “Water quality and uses of the Bangpakong River (Eastern Thailand),” *Water Res*, vol. 35, no. 15, pp. 3635–3642, Oct. 2001, doi: 10.1016/S0043-1354(01)00079-3.
- [73] M. S. Gradilla-Hernández *et al.*, “Assessment of the water quality of a subtropical lake using the NSF-WQI and a newly proposed ecosystem specific water quality index,” *Environ Monit Assess*, vol. 192, no. 5, pp. 1–19, May 2020, doi: 10.1007/S10661-020-08265-7/TABLES/4.
- [74] A. B. Ramírez Silva, R. Restrepo, and G. Viña, “Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales: Formulaciones y aplicación,” *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, vol. 1, no. 3, pp. 135–153, 1997, Accessed: Feb. 06, 2025. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5587866&info=resumen&idioma=ENG>
- [75] R. Restrepo and M. Cardeñosa, “Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulaciones,” *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, vol. 1, no. 5, pp. 15–29, 1999.
- [76] P. A. Cárdenas Novillo, “Evaluación de la calidad del agua en la microcuenca hidrográfica del Río Tutanangoza mediante análisis fisicoquímicos, microbiológicos y la aplicación del ICA-NSF,” Universidad Politécnica Salesiana , Cuenca, 2020.
- [77] M. R. Martínez-Orjuela, J. Y. Mendoza-Coronado, B. E. Medrano-Solís, L. M. Gómez-Torres, and C. A. Zafra-Mejía, “Evaluation of turbidity as a parameter indicator of treatment in a drinking water treatment plant,” *Revista UIS Ingenierías*, vol. 19, no. 1, pp. 15–24, 2020, doi: 10.18273/revuin.v19n1.
- [78] M. B. Farías Chuqui and S. Guazhambo Albarracín, “Evaluación de la calidad de agua, mediante la aplicación del índice de calidad del agua NSF en la microcuenca del Guarango,

- parroquia Quingeo – Cuenca – Azuay,” Universidad de Cuenca, Cuenca, 2019. Accessed: Jun. 07, 2025. [Online]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/32559>
- [79] W. J. Pilumunga Hurtado and E. C. Toro Apolo, “Evaluación de la incidencia del oxígeno disuelto en la concentración de nutrientes en el río Pachanlica de la provincia de Tungurahua,” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2024.
- [80] R. Brown, N. McClelland, R. Deining, and R. Tozer, “A-Water-Quality-Index-Do-we-dare-BROWN-R-M,” 1970.
- [81] S. Chapa, R. Canale, and J. C. Del Valle Sotelo, *Métodos numéricos para ingenieros*, Quinta Edición. México: McGraw-Hill Interamerica, 2007.
- [82] L. A. Cantera-Cantera, C. Vargas-Jarillo, S. I. Palomino-Reséndiz, Y. Lozano-Hernández, and C. M. Montelongo-Vázquez, “A Polynomial Fitting Problem: The Orthogonal Distances Method,” *Mathematics*, vol. 10, no. 23, p. 4596, Dec. 2022, doi: 10.3390/MATH10234596.
- [83] NTE INEN 2226, “Agua. Calidad del agua. Muestreo. Diseño de los programas de muestreo.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/368881307/2226-1>
- [84] NTE INEN 2176, “Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/370535230/NTE-INEN-2176-13-pdf>
- [85] NTE INEN 2169, “Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras,” 2013. Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/NTE%20INEN%202169%20-%20AGUA.%20%20CALIDAD%20DEL%20AGUA.%20%20MUESTREO.%20%20MANEJO%20Y%20CONSERVACION%20DE%20MUESTRAS.pdf>
- [86] M. G. Uddin, S. Nash, and A. I. Olbert, “A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality,” *Ecol Indic*, vol. 122, p. 107218, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.ECOLIND.2020.107218.
- [87] L. Quiñones Huatangari *et al.*, “Red neuronal artificial para estimar un índice de calidad de agua,” *Enfoque UTE*, vol. 11, no. 2, pp. 109–120, Apr. 2020, doi: 10.29019/ENFOQUE.V11N2.633.

- [88] K. Makanda, S. Nzama, and T. Kanyerere, “Assessing the Role of Water Resources Protection Practice for Sustainable Water Resources Management: A Review,” *Water* 2022, Vol. 14, Page 3153, vol. 14, no. 19, p. 3153, Oct. 2022, doi: 10.3390/W14193153.
- [89] M. Bertule *et al.*, “Monitoring Water Resources Governance Progress Globally: Experiences from Monitoring SDG Indicator 6.5.1 on Integrated Water Resources Management Implementation,” *Water* 2018, Vol. 10, Page 1744, vol. 10, no. 12, p. 1744, Nov. 2018, doi: 10.3390/W10121744.
- [90] R. K. Adom and M. D. Simatele, “Enhancing water management in South Africa: the need for efficiency in monitoring and evaluation programmes,” *Environmental Systems Research*, vol. 14, no. 1, pp. 1–18, Dec. 2025, doi: 10.1186/S40068-025-00400-Y/FIGURES/8.
- [91] D. Kumar, R. Kumar, M. Sharma, A. Awasthi, and M. Kumar, “Global water quality indices: Development, implications, and limitations,” *Total Environment Advances*, vol. 9, p. 200095, Mar. 2024, doi: 10.1016/J.TEADVA.2023.200095.
- [92] A. P. Gaytán-Alarcón, M. S. González-Elizondo, E. Sánchez-Ortíz, and M. T. Alarcón-Herrera, “Comparative assessment of water quality indices—a case study to evaluate water quality for drinking water supply and irrigation in Northern Mexico,” *Environ Monit Assess*, vol. 194, no. 8, pp. 1–15, Aug. 2022, doi: 10.1007/S10661-022-10198-2/FIGURES/6.
- [93] EPMAPS, “Agua de Quito cuenta con tecnología de punta para controlar la distribución de agua potable en la ciudad.” Accessed: Jun. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.aguaquito.gob.ec/agua-de-quito-cuenta-con-tecnologia-de-punta-para-controlar-la-distribucion-de-agua-potable-en-la-ciudad/>
- [94] H. González Maldonado, “Monitoreo de la Integridad Ecológica de los Ríos de Cuenca de ETAPA EP,” 2019. Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.macrolatinos.net/2019/07/macrolatinos-en-accion.html>
- [95] S. Kirschke *et al.*, “Capacity challenges in water quality monitoring: understanding the role of human development,” *Environ Monit Assess*, vol. 192, no. 5, p. 298, May 2020, doi: 10.1007/S10661-020-8224-3.
- [96] P. R. Elsen, W. B. Monahan, and A. M. Merenlender, “Topography and human pressure in mountain ranges alter expected species responses to climate change,” *Nature Communications* 2020 11:1, vol. 11, no. 1, pp. 1–10, Apr. 2020, doi: 10.1038/s41467-020-15881-x.

- [97] F. Yirga, M. Marie, S. Kassa, and M. Haile, “Impact of altitude and anthropogenic disturbance on plant species composition, diversity, and structure at the Wof-Washa highlands of Ethiopia,” *Heliyon*, vol. 5, no. 8, p. e02284, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02284.
- [98] R. M. Brown, N. I. McClelland, R. A. Deininger, and M. F. O’Connor, “A Water Quality Index — Crashing the Psychological Barrier,” *Indicators of Environmental Quality*, pp. 173–182, 1972, doi: 10.1007/978-1-4684-2856-8_15.
- [99] L. Marco, R. Azario, C. Metzler, and M. del C. Garcia, “La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina),” *Higiene y Sanidad Ambiental*, vol. 4, no. 11, pp. 72–82, 2006, Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: [https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82(2004).pdf)
- [100] A. J. De Roos, P. L. Gurian, L. F. Robinson, A. Rai, I. Zakeri, and M. C. Kondo, “Review of epidemiological studies of drinking-water turbidity in relation to acute gastrointestinal illness,” *Environ Health Perspect*, vol. 125, no. 8, Aug. 2017, doi: 10.1289/EHP1090/ASSET/89C6AF41-D058-4118-A289-E136BA22AA0B/ASSETS/IMAGES/LARGE/EHP1090_F1B.JPG.
- [101] G. Barisoni, A. Ghione, A. Rigalli, and M. Lupo, “Determinación de turbidez en agua de consumo y estabilidad de una solución control de calidad en el tiempo,” Asociación Civil Científica Rosarina de Estudiantes de la Salud, 2022. Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/217821>
- [102] I. L. Soto, Y. C. Sánchez, and A. Raya, “Water quality polluted by total suspended solids classified within an artificial neural network approach,” *Water Quality Research Journal*, vol. 60, no. 1, pp. 214–228, Feb. 2025, doi: 10.2166/WQRJ.2024.061/1518735/WQRJ2024061.PDF.
- [103] E. Y. Chavarría Márquez *et al.*, “Sólidos totales disueltos en agua superficial para consumo humano en San Juan de Pillo, Perú,” *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, vol. 8, no. 24, pp. 870–881, Sep. 2024, doi: 10.33996/REVISTAALFA.V8I24.310.

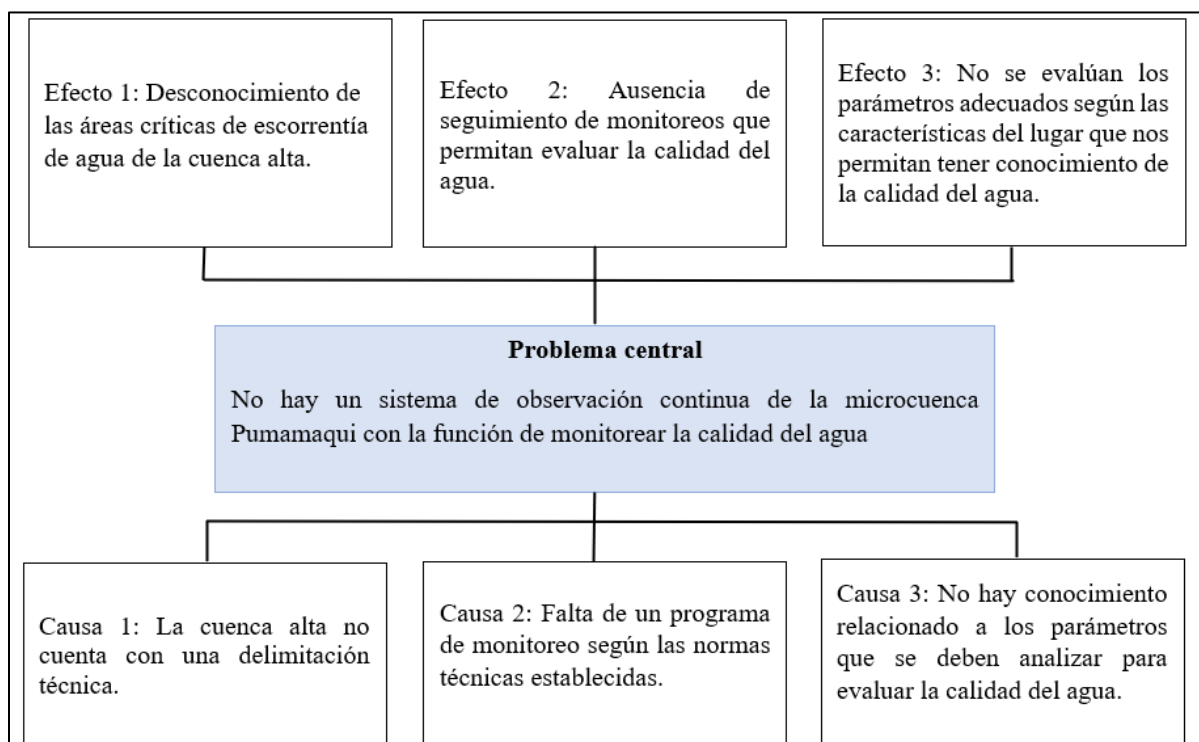
- [104] G. E. Adjovu, H. Stephen, D. James, and S. Ahmad, "Measurement of Total Dissolved Solids and Total Suspended Solids in Water Systems: A Review of the Issues, Conventional, and Remote Sensing Techniques," *Remote Sensing* 2023, Vol. 15, Page 3534, vol. 15, no. 14, p. 3534, Jul. 2023, doi: 10.3390/RS15143534.
- [105] E. Posada, D. Mojica, N. Pino, C. Bustamante, and A. Monzón Pineda, "Establecimiento de índices de calidad ambiental de ríos con bases en el comportamiento del oxígeno disuelto y de la temperatura. aplicación al caso del Río Medellín, en el valle de Aburrá en Colombia," *Dyna (Medellin)*, vol. 80, no. 181, pp. 192–200, 2013, Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532013000500021&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- [106] R. G. Zhindon-Almeida, R. A. Sánchez-Ancajima, and W. J. Castañeda-Guzmán, "Análisis estadístico de parámetros de calidad del agua del Estero El Macho en la ciudad de Machala-Ecuador," *Rev Cienc Soc*, vol. 30, no. 9, pp. 489–513, 2024, doi: 10.31876/RCS.V30I.42329.
- [107] N. T. Anh, L. D. Can, N. T. Nhan, B. Schmalz, and T. Le Luu, "Influences of key factors on river water quality in urban and rural areas: A review," *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 8, p. 100424, Dec. 2023, doi: 10.1016/J.CSCEE.2023.100424.
- [108] A. Campaña, E. Gualoto, and V. Chiluisa-Utreras, "Evaluación físico-química y microbiológica de la calidad del agua de los ríos Machángara y Monjas de la red hídrica del distrito metropolitano de Quito.," *Revista Bionatura*, vol. 2, no. 2, pp. 305–310, 2017, doi: 10.21931/RB/2017.02.02.6.
- [109] J. Amado Alvarez *et al.*, "Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y Predicción," *Phyton (Buenos Aires)*, vol. 75, pp. 71–83, 2006, Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572006000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- [110] Y. K. Juárez Chambilla, "Determinación de la calidad del agua del río Moquegua en el tramo de influencia de la Feria de la Chacra a la Olla - Moquegua, 2021," 2023. Accessed: Jun. 07, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13205>

- [111] C. D. Jurado and L. H. Yzarra, “La Calidad del agua potable y su influencia en la salud humana,” *GnosisWisdom*, vol. 1, no. 3, pp. 11–20, Dec. 2021, doi: 10.54556/GNOSISWISDOM.V1I3.19.
- [112] B. A. Melake, T. S. Alamirew, and S. M. Endalew, “Biological indicators integration with physicochemical parameters for water quality assessment of Lake Haramaya, Eastern Ethiopia,” *Sustain Water Resour Manag*, vol. 11, no. 1, pp. 1–10, Feb. 2025, doi: 10.1007/S40899-024-01181-5/TABLES/4.
- [113] A. Podlasek, E. Koda, A. Kwas, M. D. Vaverková, and A. Jakimiuk, “Anthropogenic and Natural Impacts on Surface Water Quality: The Consequences and Challenges at the Nexus of Waste Management Facilities, Industrial Zones, and Protected Areas,” *Water Resources Management*, vol. 39, no. 4, pp. 1697–1718, Nov. 2024, doi: 10.1007/S11269-024-04041-1/FIGURES/7.
- [114] J. A. Aguilar-Torrejón, P. Balderas-Hernández, G. Roa-Morales, C. E. Barrera-Díaz, I. Rodríguez-Torres, and T. Torres-Blancas, “Relationship, importance, and development of analytical techniques: COD, BOD, and, TOC in water—An overview through time,” *SN Appl Sci*, vol. 5, no. 4, pp. 1–13, Apr. 2023, doi: 10.1007/S42452-023-05318-7/TABLES/4.
- [115] O. Biedunkova, P. Kuznietsov, and V. Korbutiak, “A study of surface water quality using organic pollution indices: Comparative characteristics and educational opportunities,” *Water Quality Research Journal*, vol. 60, no. 2, pp. 333–347, May 2025, doi: 10.2166/WQRJ.2025.044/1556272/WQRJ2025044.PDF.
- [116] F. Shamim and B. Chakraborty, “Temporal analysis of the Hooghly River’s water quality: investigating pre- and post-monsoon scenarios in West Bengal, India,” *Water Science and Technology*, vol. 91, no. 3, pp. 266–279, Feb. 2025, doi: 10.2166/WST.2024.373/1535495/WST2024373.PDF.
- [117] J. Mishra and V. S. V. Botlaguduru, “Characterization of stormwater runoff in the powai region of Mumbai,” *Environ Monit Assess*, vol. 197, no. 5, pp. 1–19, May 2025, doi: 10.1007/S10661-025-14028-Z/FIGURES/9.
- [118] P. Huerta Fernández *et al.*, “Concentración de nitratos y sulfatos en el agua de escorrentía superficial,” *Idesia (Arica)*, vol. 41, no. 3, pp. 87–93, 2023, doi: 10.4067/S0718-34292023000300087.

- [119] J. Teodoro Silva *et al.*, “Calidad química del agua subterránea y superficial en la cuenca del río Duero, Michoacán,” *Tecnología y ciencias del agua*, vol. 4, no. 5, pp. 127–141, 2013, Accessed: Jun. 08, 2025. [Online]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000500009&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [120] J. C. Egbueri, J. C. Agbasi, D. A. Ayejoto, M. I. Khan, and M. Y. A. Khan, “Extent of anthropogenic influence on groundwater quality and human health-related risks: an integrated assessment based on selected physicochemical characteristics,” *Geocarto Int*, vol. 38, no. 1, p. 2210100, Dec. 2023, doi: 10.1080/10106049.2023.2210100.
- [121] V. S. Savenko and A. V. Savenko, “The Main Features of Phosphorus Transport in World Rivers,” *Water* 2022, Vol. 14, Page 16, vol. 14, no. 1, p. 16, Dec. 2021, doi: 10.3390/W14010016.
- [122] R. Kozyrev, Y. Umezawa, and M. Yoh, “Total phosphorus and phosphorus forms change in sediments along the Tone River,” *Front Earth Sci (Lausanne)*, vol. 11, p. 1060312, Mar. 2023, doi: 10.3389/FEART.2023.1060312/BIBTEX.
- [123] J. D. Bolaños-Alfaro, G. Cordero-Castro, and G. Segura-Araya, “Determination of nitrites, nitrates, sulfates and phosphates in drinking water as indicators of contamination caused by human activities, in two cantons of Alajuela, province of Costa Rica,” vol. 30, no. 4, pp. 15–27, 2017, doi: 10.18845/tm.v30i4.3408.

ANEXOS

Anexo A. Árbol de problemas



Anexo B. Cálculo del WQI-NSF

Parametro	Resultado de análisis Punto 1	Valor Q	Parametro	Resultado de análisis Punto 2	Valor Q
Temperatura	0	90,39	Temperatura	0	90,392
Turbidez	0,85	95,81	Turbidez	1,18	94,9759507
Sólidos totales	80	85,45	Sólidos totales	68	85,8181744
Oxígeno disuelto	98,2	98,19	Oxígeno disuelto	99,6	98,3889342
pH	7,29	93,09	pH	7,2	92,1381983
DBO5	2	80,14	DBO5	2	80,1415083
Nitratos	3,1	80,92	Nitratos	4,43	74,0836982
Fosfatos	1,42	31,63	Fosfatos	2,1	25,0248009
Coliformes fecales	1,8	98,50	Coliformes fecales	1,8	98,4976418

Parametro	Resultado de análisis Punto 3	Valor Q	Parametro	Resultado de análisis Punto 4	Valor Q
Temperatura	0	90,39	Temperatura	0	90,39
Turbidez	0,85	95,81	Turbidez	1,35	94,55
Sólidos totales	54	85,84	Sólidos totales	104	83,86
Oxígeno disuelto	93,6	96,75	Oxígeno disuelto	97,8	98,11
pH	7,02	88,96	pH	7,75	90,44
DBO5	2	80,14	DBO5	2	80,14
Nitratos	3,1	80,92	Nitratos	3,98	76,29
Fosfatos	0,05	94,97	Fosfatos	0,08	92,18
Coliformes fecales	1,8	98,50	Coliformes fecales	1,8	98,50

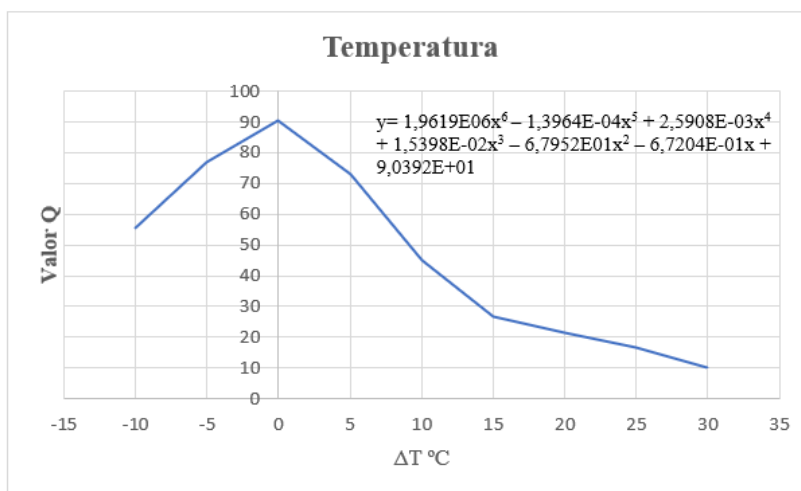
Anexo C. Resultado del calculo de WQI-NSF

Parametro	Valor Qi				Peso (Wi)	Qi *Wi			
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4		Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Temperatura	90,39	90,39	90,39	90,39	0,10	9,04	9,04	9,04	9,04
Turbidez	95,81	94,98	95,81	94,55	0,08	7,66	7,60	7,66	7,56
Sólidos totales	85,45	85,82	85,84	83,86	0,08	6,84	6,87	6,87	6,71
Oxígeno disuelto	98,19	98,39	96,75	98,11	0,17	16,69	16,73	16,45	16,68
pH	93,09	92,14	88,96	90,44	0,12	11,17	11,06	10,68	10,85
DBO5	80,14	80,14	80,14	80,14	0,10	8,01	8,01	8,01	8,01
Nitratos	80,92	74,08	80,92	76,29	0,10	8,09	7,41	8,09	7,63
Fosfatos	31,63	25,02	94,97	92,18	0,10	3,16	2,50	9,50	9,22
Coliformes fecales	98,50	98,50	98,50	98,50	0,15	14,77	14,77	14,77	14,77
QWI-NSF						85,45	83,99	91,07	90,48

Anexo D. Curva de calidad del parámetro temperatura, aplicando el ajuste polinomial

x	y
-10	55,5963
-5	76,9257297
0	90,392
5	73,1820797
10	45,0235
15	26,8550422
20	21,5688
25	16,8236172
30	9,9299

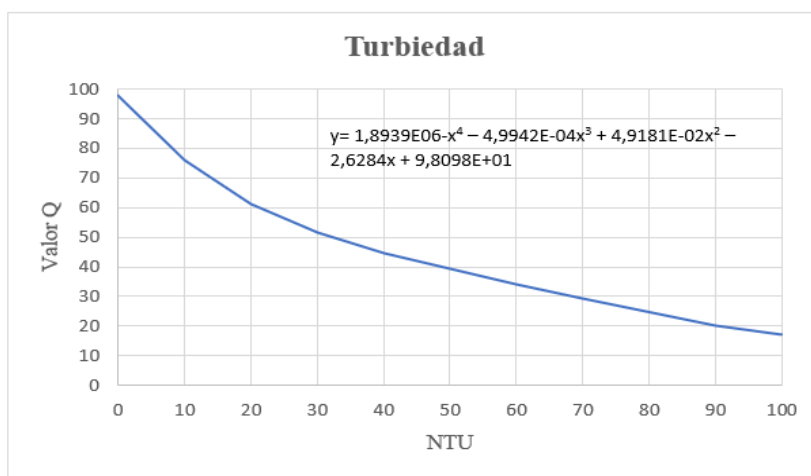
10,16	44,2160338
-------	------------



Anexo E. Curva de calidad del parámetro turbiedad, aplicando el ajuste polinomial

x	y
0	98,0098
10	76,163419
20	61,421864
30	51,470419
40	44,448904
60	34,027624
70	29,180179
90	20,001499
100	16,9498

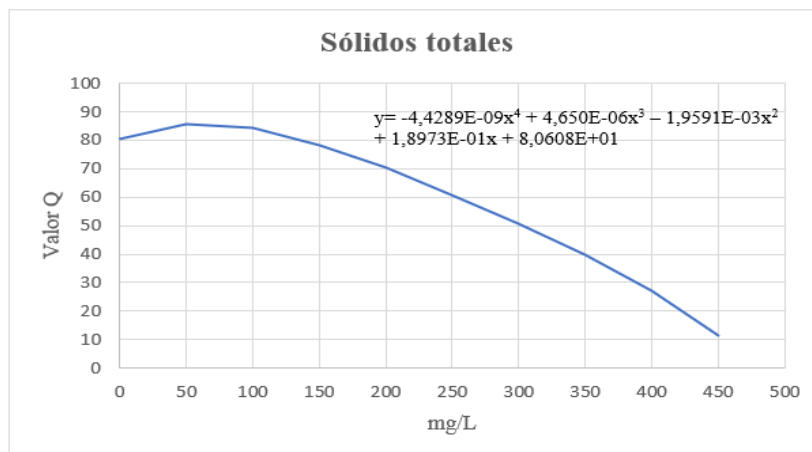
0,85	95,8108876
------	------------



Anexo F. Curva de calidad del parámetro sólidos totales, aplicando el ajuste polinomial

x	y
0	80,608
50	85,7503194
100	84,19711
150	78,4393694
200	70,30376
250	60,9526094
300	50,88391
350	39,9313194
400	27,26416
450	11,3874194

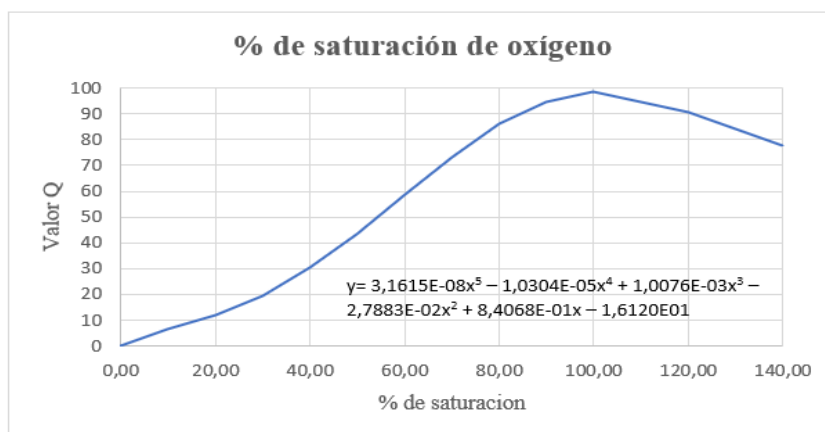
80	85,4475523
----	------------



Anexo G. Curva de calidad del parámetro oxígeno disuelto, aplicando el ajuste polinomial

X	Y
0,00	-0,1612
10,00	6,3650215
20,00	12,012528
30,00	19,5917045
40,00	30,198736
50,00	43,5949875
60,00	58,586384
70,00	73,4027905
80,00	86,077392
90,00	94,8260735
100,00	98,4268
120,00	90,382928
140,00	77,827536

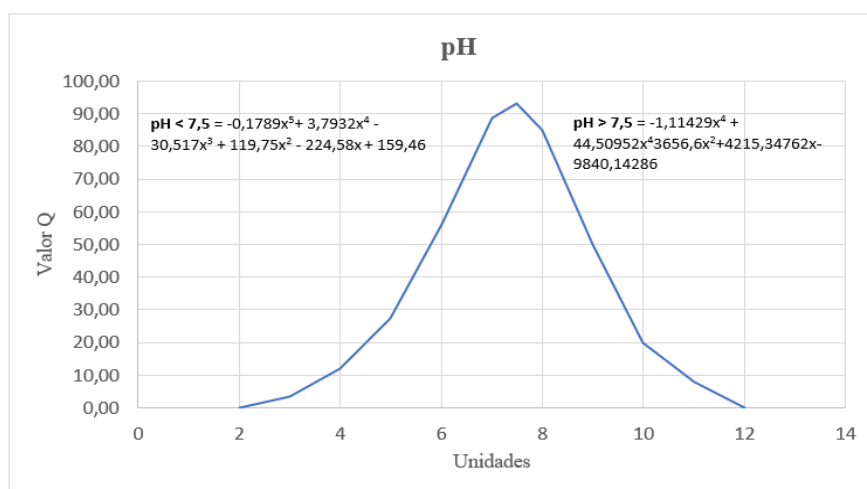
98,2	98,1864108
------	------------



Anexo H. Curva de calidad del parámetro pH, aplicando el ajuste polinomial

x	y
2	0,13
3	3,29
4	11,92
5	27,37
6	56,17
7	88,52
7,5	93,23
8	84,9805
9	49,96911
10	19,95334
11	7,93219
12	0,1617

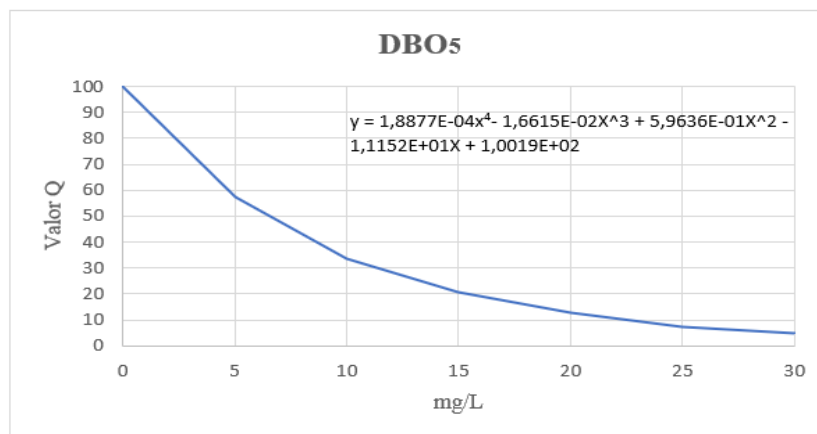
7,75	90,4442661
------	------------



Anexo I. Curva de calidad del parámetro DBO₅, aplicando el ajuste polinomial

x	y
0	100,19
5	57,3788563
10	33,5587
15	20,4706063
20	12,6572
25	7,46265625
30	5,0327

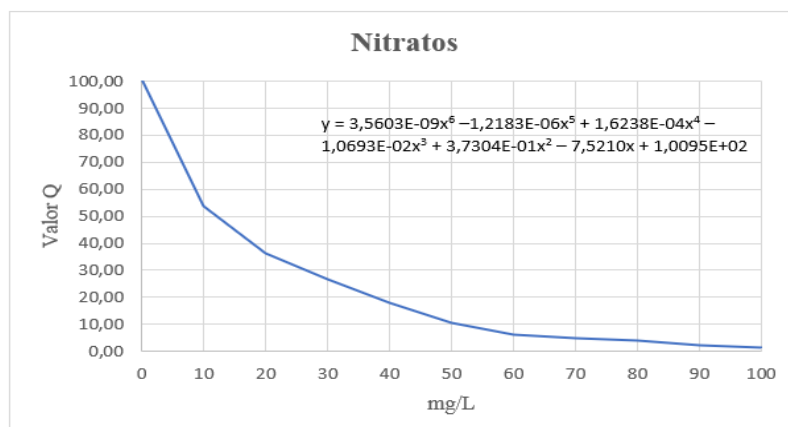
2	80,1415083
---	------------



Anexo J. Curva de calidad del parámetro nitratos, aplicando el ajuste polinomial

x	y
0	100,95
10	53,86
20	36,51
30	26,86
40	18,14
50	10,66
60	6,15
70	4,69
80	4,18
90	2,39
100	1,55

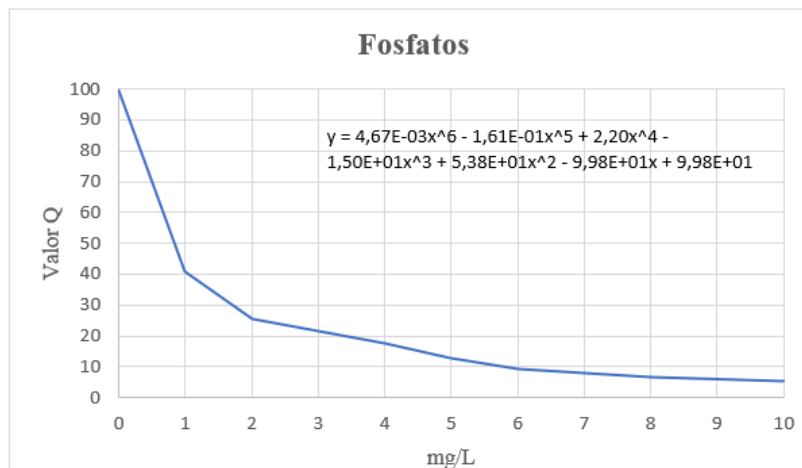
3,1	80,92
-----	-------



Anexo K. Curva de calidad del parámetro fosfatos, aplicando el ajuste polinomial

X	Y
0	99,8311
1	40,8256532
2	25,6193448
3	21,5970028
4	17,5756472
5	12,81585
6	9,3977992
7	7,9620668
8	6,8150808
10	5,1281

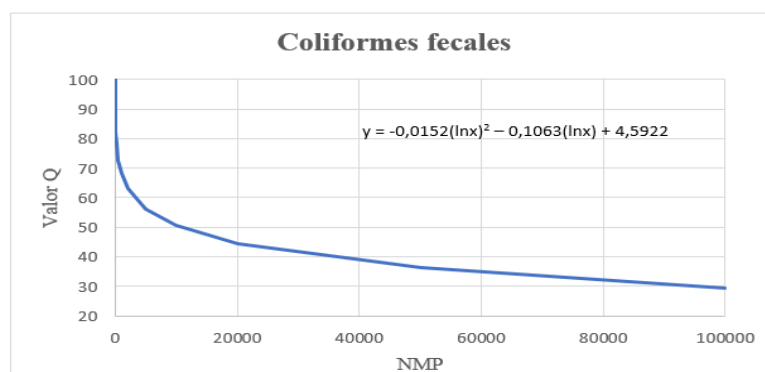
1,42	31,6253781
------	------------



Anexo K. Curva de calidad del parámetro coliformes fecales, aplicando el ajuste polinomial

x	y
1	99,972194
2	98,20916293
5	95,39057419
10	92,88924511
20	90,06994838
50	85,85505238
100	82,29745764
200	78,42189525
500	72,81069199
1000	68,19683158
2000	63,26500353
5000	56,25749301
10000	50,58736694
20000	44,59927322
50000	36,19545545
100000	29,46906371

1,8	98,49764183
-----	-------------



Anexo L. Resultados de laboratorio



INFORME DE ENSAYO
No. AG-0098-2025
ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUAS



DATOS DEL CLIENTE		DATOS DE LA MUESTRA	
Razón Social^(a):	JAPON MACAS MARIA ANTONIA	Descripción^(a):	JAPON MACAS MARIA ANTONIA
Representante Legal^(a):	JAPON MACAS MARIA ANTONIA	Tipo de Muestra^(a):	Agua Natural
Dirección^(a):	Cantón Chilla, Provincia de El Oro	Punto de Muestreo^(b):	Punto 1
Teléfono^(a):	0986970993	Código de Muestra:	AG-01142025
Persona de Contacto^(a):	Srta. María Antonia Japón Macas	Tipo de muestreo:	Simple
Orden de Trabajo:	OT-AG-0093-2025	Tomada por:	Aguibulab

FECHA DE EJECUCIÓN		CONDICIONES AMBIENTALES	
F.Toma muestra/Hora:	19/5/2025 11:30 a. m.	Temperatura:	22,3 °C
F.Ejecución de Ensayos:	19/5/2025 al 26/5/2025	Humedad Relativa:	49,8 %HR
F.Emisión del Informe:	27/5/2025	Coordenadas:	652899-9613960 UTM WGS84

Normativa de Calidad (LMP)^(a):	IE-AG-11 Instructivo de Toma de Muestras de Aguas
	No Aplica

TABLA DE RESULTADOS				
Parámetros	Unidades	Resultados	Incertidumbre (K=2)	Métodos
Potencial de Hidrogeno	Unid. de pH	7,29	± 0,04	PE-AG-04 S.M. 4500 H+ B
Solidos Totales	mg/l	80,00	± 11,20	PE-AG-06 S.M. 2540 B
1 Turbidez	NTU	0,85	---	PE-AG-09
1 Nitratos	mg/l	3,10	± 0,68	PE-AG-15 HACH 8039
Temperatura	°C	12,14	± 0,06	PE-AG-05 S.M. 2550 B
Oxígeno Disuelto	% de saturación	98,20	± 9,82	PE-AG-18 S.M. 4500 O+G/HACH 10360
4 Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	<2	---	PE-AG-37 S.M. 5210 B
1 Fosfatos	mg/l	1,42	---	PE-AG-27
5 Coliformes Fecales	NMP/100 ml	<1,8	---	PEE-GQM-MB-76

REGISTRO FOTOGRÁFICO



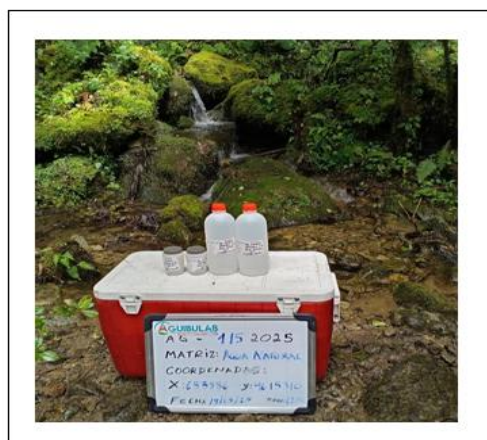
DATOS DEL CLIENTE		DATOS DE LA MUESTRA	
Razón Social ^(a) :	JAPON MACAS MARIA ANTONIA	Descripción ^(a) :	JAPON MACAS MARIA ANTONIA
Representante Legal ^(a) :	JAPON MACAS MARIA ANTONIA	Tipo de Muestra ^(a) :	Agua Natural
Dirección ^(a) :	Cantón Chilla, Provincia de El Oro	Punto de Muestreo ^(b) :	Punto 2
Teléfono ^(a) :	0986970993	Código de Muestra:	AG-01152025
Persona de Contacto ^(a) :	Srta. María Antonia Japón Macas	Tipo de muestreo:	Simple
Orden de Trabajo:	OT-AG-0093-2025	Tomada por:	Aguibulab

FECHA DE EJECUCIÓN		CONDICIONES AMBIENTALES	
F.Toma muestra/Hora:	19/5/2025 12:50 p. m.	Temperatura:	22,3 °C
F.Ejecución de Ensayos:	19/5/2025 al 26/5/2025	Humedad Relativa:	49,8 %HR
F.Emisión del Informe:	27/5/2025	Coordenadas:	653886-9615310 UTM WGS84

IE-AG-11 Instructivo de Toma de Muestras de Aguas	
Normativa de Calidad (LMP) ^(a) :	No Aplica

TABLA DE RESULTADOS				
Parámetros	Unidades	Resultados	Incertidumbre (K=2)	Métodos
Potencial de Hidrogeno	Unid. de pH	7,20	± 0,04	PE-AG-04 S.M. 4500 H+ B
Solidos Totales	mg/l	68,00	± 9,52	PE-AG-06 S.M. 2540 B
1 Turbidez	NTU	1,18	---	PE-AG-09 S.M. 2130 B
1 Nitratos	mg/l	4,43	---	PE-AG-15 HACH 8039
Temperatura	°C	11,64	± 0,06	PE-AG-05 S.M. 2550 B
Oxígeno Disuelto	% de saturación	99,60	± 9,96	PE-AG-18 S.M. 4500 O+G/HACH 10360
4 Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	<2	---	PE-AG-37 S.M. 5210 B
1 Fosfatos	mg/l	2,10	---	PE-AG-27
5 Coliformes Fecales	NMP/100 ml	<1,8	---	PEE-GQM-MB-76

REGISTRO FOTOGRÁFICO





INFORME DE ENSAYO
No. AG-0111-2025
ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUAS

Laboratorio de Ensayos
ACREDITADO por el SAE

Con acreditación
No. SAE LEN 20-010

DATOS DEL CLIENTE		DATOS DE LA MUESTRA	
Razón Social ^(a) :	JAPON MACAS MARIA ANTONIA	Descripción ^(a) :	JAPON MACAS MARIA ANTONIA
Representante Legal ^(a) :	JAPON MACAS MARIA ANTONIA	Tipo de Muestra ^(a) :	Agua Natural
Dirección ^(a) :	Cantón Chilla, Provincia de El Oro	Punto de Muestreo ^(b) :	Punto 3
Teléfono ^(a) :	0986970993	Código de Muestra:	AG-01312025
Persona de Contacto ^(a) :	Srta. María Antonia Japón Macas	Tipo de muestreo:	Simple
Orden de Trabajo:	OT-AG-0093-2025	Tomada por:	Aguibulab
FECHA DE EJECUCIÓN		CONDICIONES AMBIENTALES	
F.Toma muestra/Hora:	28/5/2025 8:30 a. m.	Temperatura:	23,6 °C
F.Ejecución de Ensayos:	28/5/2025 al 3/6/2025	Humedad Relativa:	47,8 %HR
F.Emisión del Informe:	4/6/2025	Coordenadas:	654520-9616070 UTM WGS84
Normativa de Calidad (LMP) ^(a) :		IE-AG-11 Instructivo de Toma de Muestras de Aguas	
		No Aplica	

TABLA DE RESULTADOS				
Parámetros	Unidades	Resultados	Incertidumbre (K=2)	Métodos
Potencial de Hidrogeno	Unid. de pH	7,02	± 0,04	PE-AG-04 S.M. 4500 H+ B
Solidos Totales	mg/l	54,00	± 7,56	PE-AG-06 S.M. 2540 B
1 Turbidez	mg/l	0,85	---	PE-AG-09
1 Nitratos	mg/l	3,10	---	PE-AG-15 HACH 8039
Temperatura	°C	11,64	± 0,06	PE-AG-05 S.M. 2550 B
Oxigeno Disuelto	% de saturación	93,60	± 9,36	PE-AG-18 S.M. 4500 O+G/HACH 10360
4 Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	<2	---	PE-AG-37 S.M. 5210 B
1 Fosfatos	mg/l	0,05	---	PE-AG-27
5 Coliformes Fecales	NMP/100 ml	<1,8	---	PEE-GQM-MB-76

REGISTRO FOTOGRÁFICO



DATOS DEL CLIENTE		DATOS DE LA MUESTRA	
Razón Social ^(a) :	JAPON MACAS MARIA ANTONIA	Descripción ^(a) :	JAPON MACAS MARIA ANTONIA
Representante Legal ^(a) :	JAPON MACAS MARIA ANTONIA	Tipo de Muestra ^(a) :	Agua Natural
Dirección ^(a) :	Cantón Chilla, Provincia de El Oro	Punto de Muestreo ^(b) :	Punto 4
Teléfono ^(a) :	0986970993	Código de Muestra:	AG-01322025
Persona de Contacto ^(a) :	Srta. María Antonia Japón Macas	Tipo de muestreo:	Simple
Orden de Trabajo:	OT-AG-0093-2025	Tomada por:	Aguibulab
FECHA DE EJECUCIÓN		CONDICIONES AMBIENTALES	
F.Toma muestra/Hora:	28/5/2025 12:30 p. m.	Temperatura:	23,6 °C
F.Ejecución de Ensayos:	28/5/2025 al 3/6/2025	Humedad Relativa:	47,8 %HR
F.Emisión del Informe:	4/6/2025	Coordenadas:	655058-9616690 UTM WGS84
IE-AG-11 Instructivo de Toma de Muestras de Aguas			
Normativa de Calidad (LMP) ^(a) :		No Aplica	

TABLA DE RESULTADOS				
Parámetros	Unidades	Resultados	Incertidumbre (K=2)	Métodos
Potencial de Hidrogeno	Unid. de pH	7,75	± 0,04	PE-AG-04 S.M. 4500 H+ B
Solidos Totales	mg/l	104,00	± 14,56	PE-AG-06 S.M. 2540 B
1 Turbidez	mg/l	1,35	---	PE-AG-09
1 Nitratos	mg/l	3,98	---	PE-AG-15 HACH 8039
Temperatura	°C	11,84	± 0,06	PE-AG-05 S.M. 2550 B
Oxigeno Disuelto	% de saturación	97,80	± 9,78	PE-AG-18 S.M. 4500 O+G/HACH 10360
4 Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	<2	---	PE-AG-37 S.M. 5210 B
1 Fosfatos	mg/l	0,08	---	PE-AG-27
5 Coliformes Fecales	NMP/100 ml	<1,8	---	PEE-GQM-MB-76

REGISTRO FOTOGRÁFICO

