Revista RENPYS "Recursos Naturales Producción y Sostenibilidad"
ISSN 2953-6561
https://doi.org/10.61236/renpys.v4i1.1029
Publicación Semestral. Vol. 4, No. 1, enero - junio 2025, Ecuador (p. 63-74). Edición continua

Análisis de calidad de fuentes de captación de agua en el barrio la Libertad, parroquia San Juan de Pastocalle

Consuelo del Pilar Ruiz Pomasqui[1] *, Eimer Gregorio Mena Maisincho[2], Jennifer Carolina Parra Zurita[3], Dolores Jaqueline Parra Zurita[4]

[1]Colegio de Ingenieros Forestales de Imbabura, Ingeniería Ambiental, Ibarra, Ecuador

[2]SEDEMI Infraestructuras, Ingeniería Ambiental, Quito, Ecuador

[3]Instituto Tecnológico Superior de Ibarra, Ibarra, Ecuador

[4]Ministerio de Educación, Ibarra, Ecuador

***Dirección para correspondencia:** consue_ruiz@yahoo.com

Fecha de Recepción: 05/12/2024 Fecha de Aceptación: 18/01/2025 Fecha de Publicación: 31/01/2025

Resumen

La calidad del agua, la salud y el crecimiento económico están estrechamente relacionados y son esenciales para el bienestar humano y el desarrollo sostenible. El presente estudio analiza la calidad del agua en las fuentes de captación del sector La Libertad en la parroquia San Juan de Pastocalle, con el propósito de establecer mapas de Calidad Ambiental y así determinar la distribución de contaminantes en las diferentes localidades. Se realizaron análisis fisicoquímicos en cinco puntos de muestreo, los resultados indican que el agua presenta variaciones significativas en su calidad superando ampliamente los límites recomendados por el acuerdo Ministerial N°097-A (2015), el índice de calidad del agua (ICA en base a la comisión Nacional del Agua CONAGUA - México) y los parámetros de la National Sanitation Foundation (NSF - EEUU). De este modo, en Curipugyo, el pH es ácido (5.90), en Bellavista la conductividad eléctrica (186 µs/cm), lo que afecta a la potabilidad de la misma. Además, los valores de la demanda química de oxígeno (DQO) en la zona de Eucalipto alcanzan hasta 877 mg/L, lo que evidencia una alta presencia de materia orgánica y contaminación; asimismo, los niveles de oxígeno disuelto (OD) son críticos en algunos puntos (2.88 mg/L en Chiriaco), lo que sugiere la presencia de condiciones de eutrofización. Aunque los parámetros como los sólidos disueltos (119 mg/L), la salinidad (0.11 PSU), turbiedad (70 NTU) y nitratos (2 mg/L) están dentro de rangos aceptables, la contaminación orgánica y las condiciones ácidas de la fuente de captación hacen necesario adoptar estrategias de restauración ecológica como la revegetación con especies locales para contribuir a mejorar la calidad del recurso hídrico en los sectores de La Libertad.

Palabras clave: Bienestar humano, calidad de agua, contaminación, sostenibilidad.

Water quality analysis in the la Libertad neighborhood, San Juan de Pastocalle parish

Abstract

Water quality, health and economic growth are closely related and are essential for human well-being and sustainable development. The present study analyzes water quality in the catchment sources of the La Libertad

IDs Orcid:
Consuelo del Pilar Ruiz Pomasqui: https://orcid.org/0000-0002-7389-3896
Eimer Gregorio Mena Maisincho: https://orcid.org/0009-0000-4100-4567
Jennifer Carolina Parra Zurita: https://orcid.org/0009-0004-7926-7820
Dolores Jaqueline Parra Zurita: https://orcid.org/0009-0001-5348-3427

Artículo científico: Análisis de calidad de fuentes de captación de agua en el barrio La Libertad, parroquia San Juan de Pastocalle.

sector in the San Juan de Pastocalle parish, with the purpose of establishing environmental quality maps and thus determine the distribution of contaminants in the different localities. Physicochemical analyses were carried out in five sampling points, the results indicate that the water presents significant variations in its quality far exceeding the limits recommended by the Ministerial agreement N° 097-A (2015), the water quality index (WQA based on the National Water Commission CONAGUA - Mexico) and the parameters of the National Sanitation Foundation (NSF - USA). Thus, in Curipugyo, the pH is acidic (5.90), in Bellavista the electrical conductivity (186 µs/cm), which affects its potability. In addition, chemical oxygen demand (COD) values in the Eucalyptus area reach up to 877 mg/L, which is evidence of a high presence of organic matter and contamination; likewise, dissolved oxygen (DO) levels are critical at some points (2.88 mg/L in Chiriaco), suggesting the presence of eutrophication conditions. Although parameters such as dissolved solids (119 mg/L), salinity (0.11 PSU), turbidity (70 NTU) and nitrates (2 mg/L) are within acceptable ranges, organic contamination and acidic conditions in the catchment source make it necessary to adopt ecological restoration strategies such as revegetation with local species to help improve the quality of the water resource in the sectors of La Libertad.

Keywords: Human well-being, water quality, contamination, sustainability

1. INTRODUCCIÓN

La calidad del agua en Ecuador es un tema crítico que afecta tanto la salud pública como el desarrollo sostenible (Moreno et al., 2020). Existen varias investigaciones en las que se han observado, en específico en partes rurales, que tienen problemas graves de contaminación referente a sus fuentes de captación de agua (Akhtar et al., 2021; Machiva, 2022; Slosarczyk et al., 2022). Las causas típicas en estas zonas se deben por las prácticas de agricultura intensiva y el mal manejo de fitosanitarios (Sun et al., 2024), aportando a la acumulación de elementos tóxicos y nutrientes que afectan la calidad del agua (Elliott et al., 2020), provocando eutrofización, proliferación de algas y enfermedades agudas y crónicas por metales pesados (Kumar et al., 2023).

La pureza del agua, la salud pública y el desarrollo económico están profundamente conectados y son esenciales para el bienestar humano y el desarrollo sostenible (Gleick & Cooley, 2021). El tener agua limpia es crucial para prevenir enfermedades y asegurar una vida saludable, lo que a su vez impulsa el crecimiento económico (Bailey et al., 2022). Sin embargo, la pobreza y la enfermedad a menudo van de la mano, creando un ciclo difícil de romper. Muchas veces, las políticas se enfocan solo en el crecimiento económico, lo que puede hacer que las soluciones sean insostenibles y perpetúen la pobreza y la enfermedad (Chávez, 2018; FAO, 2020).

El acceso a agua limpia es vital para la salud, y se considera que el agua es de buena calidad cuando no contiene microorganismos patógenos ni contaminantes en niveles que puedan dañar la salud humana (Mishra et al., 2021). Asimismo, en muchas áreas, las fuentes de agua han sido afectadas por la actividad humana, creando grandes desafíos para su gestión (Obaideen et al., 2022). Por ejemplo, el uso de fertilizantes en la agricultura puede llevar a una acumulación excesiva de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo en el agua superficial, reduciendo su pureza y calidad (Payen et al., 2021). Estos nutrientes en el agua, conocidos como contaminantes, alimentan a las plantas acuáticas, promoviendo el crecimiento excesivo de algas y causando el fenómeno de eutrofización (Chen et al., 2020).

La contaminación del agua y los cambios en su calidad no solo afectan la salud humana directamente; sino, que también alteran los ecosistemas acuáticos y la vegetación que los rodea (Ariho et al., 2024). El exceso de nutrientes puede causar la proliferación de algas, lo que reduce el oxígeno en el agua y afecta gravemente a la vida acuática, alterando el equilibrio ecológico (Tiwari et al., 2022). Este deterioro del agua también puede impactar negativamente la salud del paisaje y los servicios ecosistémicos que dependen de fuentes de agua limpia (Martí & Francisca, 2021). Metales pesados como el plomo, mercurio y cadmio se acumulan en los tejidos, provocando enfermedades crónicas y aumentando el riesgo de cáncer, daño neurológico y enfermedades cardiovasculares (Ortega-Moctezuma et al., 2023). Este tipo de afectaciones es especialmente preocupante en comunidades que dependen de fuentes de agua no tratadas o contaminadas y donde la población enfrenta riesgos significativos de acceso al agua de buena calidad (Cáceres & Medina, 2020).

El barrio de La Libertad es un ejemplo representativo de las dificultades que enfrentan muchas comunidades rurales en cuanto al acceso a agua potable de buena calidad (Nathan K, et al., 2022). Las condiciones actuales sugieren un nivel preocupante de exposición a contaminantes, lo que podría derivar en una crisis sanitaria si no se toman medidas urgentes (Prince Flores & Espinosa Bouchot, 2021). La evaluación del riesgo por grupo etario es una estrategia crucial para identificar los niveles de exposición a contaminantes en la población y adaptar las intervenciones tecnológicas y sanitarias necesarias para garantizar un acceso seguro al agua potable (Morales-Mora et al., 2022). Sin una intervención adecuada, la salud de la población, especialmente de grupos vulnerables como niños y ancianos, podría verse gravemente comprometida. Es

necesario evaluar regularmente la exposición de la población a parámetros fisicoquímicos de evaluación con referencia del ICA – México y NSF - EEUU para diseñar estrategias efectivas en los ámbitos social, económico y ambiental (Aguiar et al., 2022; Hernández-Álvarez et al., 2021; Castro Guerreo & Pulecio Castro, 2022). Este enfoque multidisciplinario es clave para garantizar que los recursos hídricos sean ecoeficientes y cumplan con los objetivos de crecimiento económico, equidad social y sostenibilidad ambiental (Vallejo & Rodríguez, 2023). Esta región ha mostrado una creciente preocupación por la contaminación del recurso hídrico debido a la actividad agrícola y otras prácticas humanas que pueden afectar la calidad del agua destinada al consumo humano (Palechor & Hoyos, 2023).

En tal virtud, el presente estudio tiene como objetivo analizar la calidad de las fuentes de captación del sector de La Libertad, parroquia San Juan de Pastocalle, mediante la evaluación de parámetros fisicoquímicos clave para determinar su disposición para el consumo humano. Asimismo, el estudio propone estrategias de mitigación enfocadas en la reducción del riesgo de intoxicación crónica por exposición prolongada a contaminantes y la implementación de medidas de restauración ecológica que contribuyan a la recuperación y protección de las fuentes hídricas en la zona.

2. METODOLOGÍA

2.1 Área de estudio

La parroquia Pastocalle – La Libertad (3393 msnm) está ubicada dentro de la provincia de Cotopaxi, en la República del Ecuador, sus límites son al norte con la provincia de Pichincha, al sur con la parroquia de Tanicuchi, al oeste con los nevados de los Ilinizas y al este con la parroquia de Mulaló.

Este lugar se destaca por la producción que realizan sus habitantes como cebolla blanca y maíz; además, son productores de leche y ganaderos, de igual manera, cuenta con riqueza natural de sus páramos como escenario rico en biodiversidad en flora y fauna.

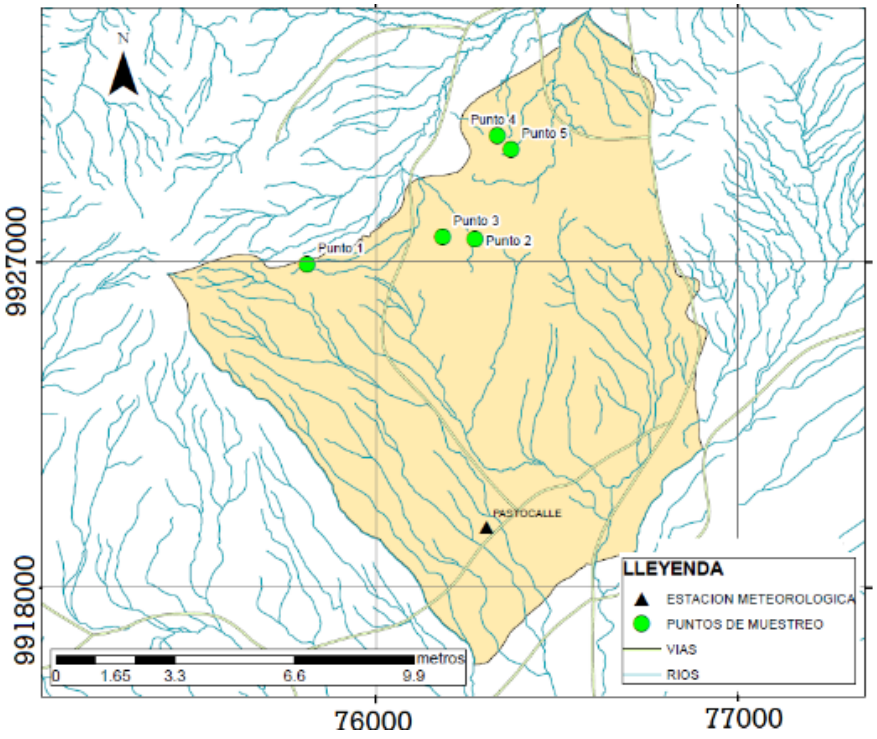

Figura 1. Ubicación geográfica de la parroquia Pastocalle - La Libertad.

2.2 Puntos de muestreo

Se analizaron cinco puntos de muestreo dentro del sector La Libertad, en la parroquia San Juan de Pastocalle. Estos puntos fueron seleccionados estratégicamente para evaluar la calidad del agua en diferentes sectores de la zona, considerando la influencia de factores ambientales y antrópicos como indica Zapata et al, (2016), la combinación de datos climáticos y de calidad de agua es clave para la

planificación territorial sostenible. La identificación de estos sitios permite establecer una caracterización representativa del recurso hídrico y su variabilidad en función de las condiciones locales utilizada por Scheibel y colaboradores en su investigación del 2024, adaptándose a las limitaciones presupuestarias del estudio.

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo para calidad hídrica.

Muestreo	Sector	Ubicación	
P 1	Chiriaco	0°39'38" S	78°40'52" W
P 2	Tomas Hermano	0°39'15" S	78°38'22" W
P 3	Curipugyo	0°39'13" S	78°38'51" W
P 4	Eucalipto	0°37'42" S	78°38'02" W
P 5	Bellavista	0°37'54" S	78°37'50" W

2.3 Recolección de datos

La recolección de datos se llevó a cabo mediante un muestreo compuesto, siguiendo los lineamientos de la NTE INEN 2169:2013 con el objetivo de garantizar la representatividad de los análisis fisicoquímicos (García López et al., 2020). Se seleccionaron cinco puntos de muestreo dentro del sector La Libertad, en la parroquia San Juan de Pastocalle, donde se recolectaron 10 muestras en cada sitio, excepto en el sector de Curipugyo, donde se obtuvieron 25 muestras debido a la variabilidad en la calidad del agua (Ruano et al., 2024). Las muestras fueron tomadas cada media hora de manera puntual utilizando recipientes de polietileno de alta densidad (PEAD) y botellas ámbar, previamente esterilizados para evitar contaminación cruzada.

Se aplicaron protocolos de preservación y almacenamiento, manteniendo las muestras refrigeradas a 4°C y protegidas de la luz hasta su análisis en laboratorio, asegurando la estabilidad de los parámetros medidos (Ortega Ramírez et al., 2021). El procesamiento de los datos se realizó a partir de la media aritmética, permitiendo una evaluación más precisa de la calidad del agua y minimizando sesgos. Se aplicaron métodos analíticos validados, conforme a lo establecido en la APHA (American Public Health Association, 2017) (Nyiramana, 2024) y la metodología utilizada por Cerro-López et al. (2021) en estudios sobre contaminación de aguas residuales.

Este enfoque permitió evaluar parámetros fisicoquímicos clave, asegurando la confiabilidad de los resultados y proporcionando información relevante para la toma de decisiones en la gestión del recurso hídrico en la zona.

2.4 Criterios para calidad por uso fuentes de captación de agua

Los criterios para calidad por uso de fuentes de captación utilizados para que el agua sea apta para consumo humano deben cumplir con los estándares establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108:2020, el Acuerdo Ministerial N° 097-A (2015) (González et al., 2019) y las Directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022) (Enriquez-del Castillo et al., 2022). Además, en el acuerdo Ministerial N° 097 de la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua (Anexo 1, Libro VI de la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente), emitidas en el 2015, para uso Nacional orientadas a sustentar las medidas que mejoren la calidad de agua.

2.5 Parámetros a fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos analizados en los cinco puntos de muestreo dentro del sector La Libertad, fueron seleccionados utilizando la metodología de ciclo de vida media para caracterizar las condiciones del agua en las fuentes de captación según el ICA del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y el Acuerdo Ministerial N°097-A. De tal modo que se detallan a continuación:

- *pH*: con el cual se determina la acidez o alcalinidad del agua en un rango de 6-9.
- *Oxígeno disuelto* (OD): Indicador clave de la salud acuática, esencial para la vida de cada organismo acuático medido en mg/L con límites máximos permisibles (LMP) > 6.5 (Excelente).
- *Turbiedad:* Indicador de la cantidad de partículas suspendidas en el agua incluyendo sedimentos, materia orgánica y microorganismos, con valores de interpretación de <100 NTU para consumo humano.
- *Demanda Química de Oxígeno* (DQO): Cuantifica el oxígeno requerido por la vida de los microorganismos que descomponen la materia orgánica su rango oscila a valores < 500 mg/L considerado como (buena).
- *Sólidos disueltos totales* (STD)*:* Determina la cantidad total de sustancias disueltas en el agua <450 mg/L considerados como (Buena).
- *Conductividad eléctrica:* Hace posible la medición de la capacidad del agua para conducir electricidad, en relación con la presencia de la concentración de sales disueltas en el agua < 1500 µS/cm.
- *Salinidad:* mide la concentración de sales disueltas en el agua, posee una interpretación que oscila entre < 0.5 PSU.

2.6 Índice de Calidad del Agua

El índice de calidad del agua (ICA) permite realizar un

análisis general de la calidad del agua en diferentes niveles y determinar la vulnerabilidad del cuerpo frente a amenazas potenciales (Soni & Thomas, 2014). Para la determinación del ICA, se empleó la ecuación de promedio aritmético ponderado, acorde con lo descrito por Scheibel et al, (2024):

$$ICA = \sum_{i=1}^{9} Sub_i . w_i$$

dónde:
Sub_i. Subíndice del parámetro i;
W_i. Factor de ponderación para el Subíndice i.

Para comparar los resultados obtenidos por medio de los métodos multivariantes con los métodos de evaluación clásica de calidad de agua, se aplicó el ICA del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, método tradicional para obtener los indicadores que determinar la calidad fisicoquímico y bacteriológica. Para realizar un análisis de calidad del agua de ríos mediante la metodología ICA, es esencial medir una combinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, pues cada uno aporta información crucial sobre el estado del cuerpo de agua.

2.7 Valores de calidad establecidos por la National Sanitation Foundation

Los valores de calidad se calcularon a partir de nueve parámetros establecidos por la National Sanitation Foundation (NSF de Estados Unidos), con factores de ponderación, dentro de la puntuación total del índice: Oxígeno Disuelto, 0.17; Conductividad Eléctrica, 0.15; pH, 0.12; temperatura, 0.10; DQO, 0.10; NO_3^-, 0.10; PO_4^{3-}, 0.10; Turbidez, 0.08; Sólidos totales, 0.08. Los resultados, se interpretaron en función de la categorización: Nivel I (calidad excelente 91-100); Nivel II (calidad buena 71-90); Nivel III (calidad media 51-70); Nivel IV (calidad mala 26-50); Nivel V (calidad muy mala 0-25), según lo aplicado en el estudio de Ramirez J. C et al. (2023).

2.8 Análisis de Isoyetas e Isotermas y su relación con la Calidad del Agua

El análisis de isoyetas e isotermas se realizaron con el objeto de comprender la influencia de las condiciones climáticas en la calidad del agua del sector La Libertad, para ello, se recopilaron datos históricos de precipitación y temperatura del periodo 2000 - 2023, obtenidos del INAMHI (Chancay J., 2024), los cuales fueron interpolados mediante herramientas de geoprocesamiento en QGIS para generar mapas de distribución mediante interpolación con polígonos de Thiessen (Voronoi).

Para la generación de isoyetas se utilizó el método de interpolación Inverse Distance Weighting (IDW), estableciendo rangos que oscilan entre 500 mm y 1500 mm, los cuales influyen directamente en la recarga de la fuente de captación y en la posible movilización de contaminantes.

En el caso de las isotermas, se aplicó un proceso similar utilizando el método de interpolación por polígonos, que segmenta el área de estudio en función de los valores de temperatura registrados en estaciones meteorológicas cercanas. Los valores térmicos fluctuaron entre 2°C y 12°C, lo que influye directamente en la solubilidad del oxígeno disuelto y la actividad biológica de los cuerpos de agua. La integración de estos análisis contribuye a la identificación de patrones estacionales que afectan la calidad del agua y a la formulación de estrategias para su gestión sostenible.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis fisicoquímicos de la fuente de captación

Los resultados evidencian que P1 y P3 presentan condiciones críticas, con baja concentración de OD, pH ácido y alta DQO, lo que sugiere contaminación orgánica y riesgo de eutrofización. La calidad del agua en P5 es la más estable, cumpliendo con la mayoría de los parámetros. Se recomienda monitoreo continuo y estrategias de remediación para mejorar la calidad del agua en los puntos más afectados. Además, esta información se complementa con el estándar bajo de calidad de agua a partir del cálculo ICA estableciendo valores bajos de ponderación. Mediante interpolación y aplicando la ley de Fick se pudo analizar la distribución de contaminantes en la zona de estudio, estos dos parámetros fueron seleccionados debido a su relación con los mecanismos de difusión en el modelamiento de transporte molecular de elementos químicos. De tal manera que, en la figura 3 se presentan los resultados del ICA en función de los puntos de captación, dando gran importancia a la salinidad presente, la demanda química de oxígeno y el pH. Los resultados obtenidos muestran las variaciones significativas en la calidad del agua en los puntos de muestro, el pH oscila entre 5.90 y 6.49 indicando acidez, lo que podría afectar la estabilidad química del agua y su potabilidad (Ruano, 2023). La conductividad eléctrica presenta valores bajos de 66-186 µS/cm, indicando una baja mineralización del agua. La turbiedad es altamente variable, con un valor crítico de 70 NTU, lo que indica una elevada presencia de sólidos suspendidos, reflejada también en el diagrama de caja con una dispersión amplia (Ortega et al., 2021).

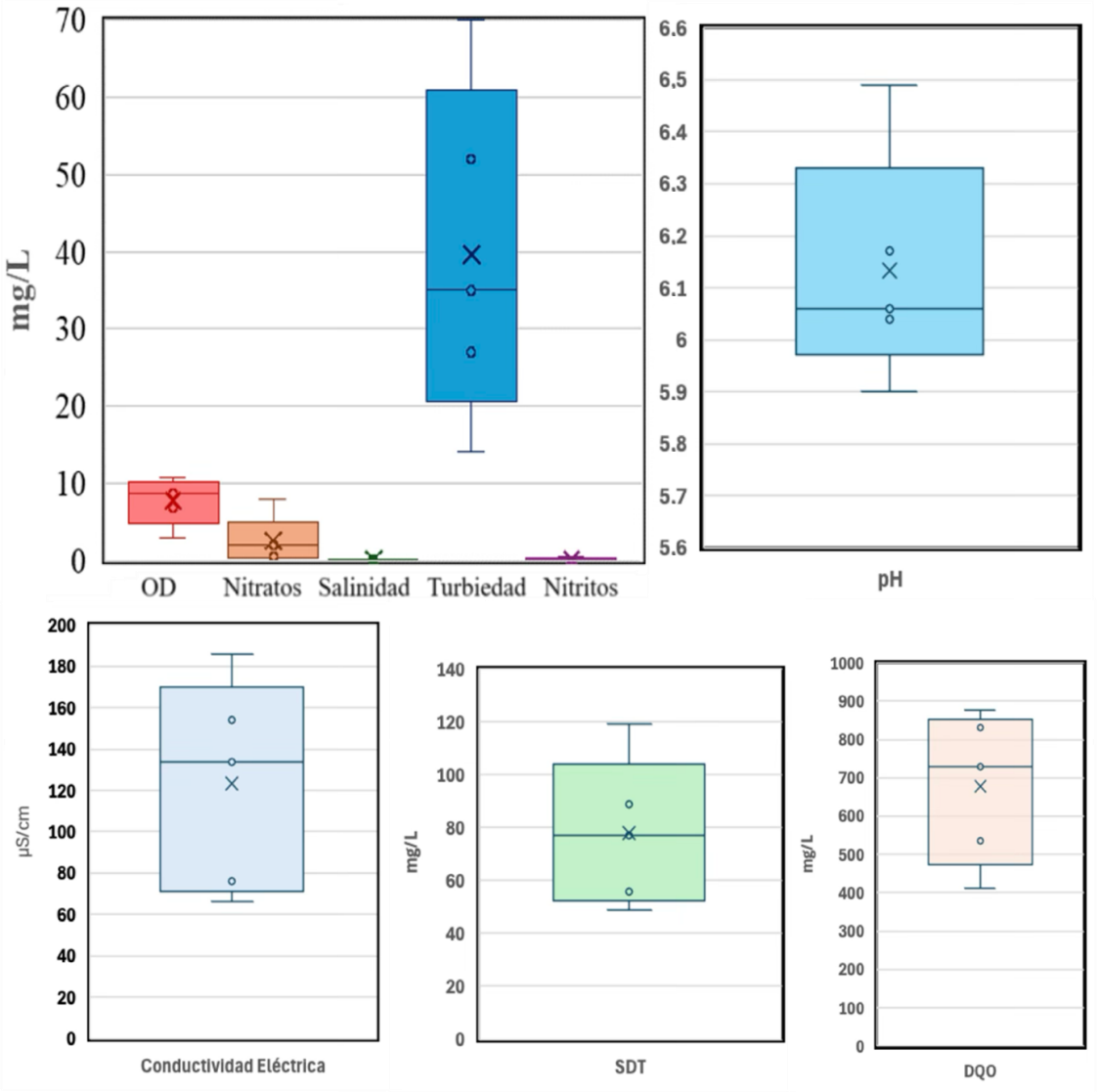

Figura 2. Resultados análisis fisicoquímicos de la fuente de captación.

El DQO supera los límites permisibles (<500 mg/L) alcanzando hasta 877 mg/L evidenciando una alta carga orgánica y posible contaminación (Morales, 2020). El OD muestra valores críticos como 2.88 mg/L muy debajo del umbral recomendado (>6.5mg/L), lo que sugiere deficiencias en la oxigenación del agua y posible hipoxia (Sánchez & Irigoín, 2021).

En cuanto a los SDT los valores varían entre 49 y 119 mg/L, indicando una baja presencia de sales y partículas en solución como lo indica Machiva en su publicación evaluación de las características fisicoquímicas en 2022. Los nitritos y nitratos se encuentran en niveles bajos y dentro de los estándares aceptables, lo que sugiere una baja influencia de contaminación por fertilizantes (Kumar et al., 2023).

3.2 Distribución espacial de la Demanda Química de Oxígeno

Los valores de DQO oscilaron entre 455.55 mg/L y 829.67 mg/L, mostrando una posible contaminación orgánica elevada. Estos resultados son consistentes con fuentes que indican que valores altos de DQO reflejan una alta presencia de materia orgánica oxidada químicamente. Este rango supera los estándares típicos para cuerpos de agua naturales no contaminados (menores a 40 mg/L, según la EPA) y sugiere posibles fuentes antropogénicas de contaminación, como descargas industriales o agrícolas. Según Enriquez et al. (2022), los altos valores de DQO encontrados en los cuerpos de agua son indicadores de contaminación por actividades antropogénicas, afectando la biodiversidad y capacidad de autodepuración.

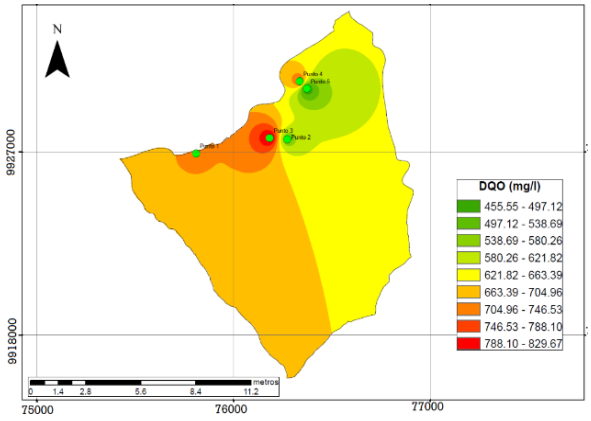

Figura 3. Demanda Química de Oxígeno.

3.3 Distribución espacial de la Oxígeno Disuelto

Los niveles de oxígeno disuelto variaron de 2.88 mg/L a 10.72 mg/L, con valores más bajos en ciertas zonas, lo que puede indicar zonas de anoxia o hipoxia en el cuerpo de agua. Estudios previos, como el de Naranjo-Tovar, D et al (2021), destacan que niveles por debajo de 5 mg/L afectan negativamente a la biodiversidad acuática y los procesos de oxidación. Este patrón sugiere posibles condiciones de eutrofización, exacerbadas por el aumento de la carga orgánica.

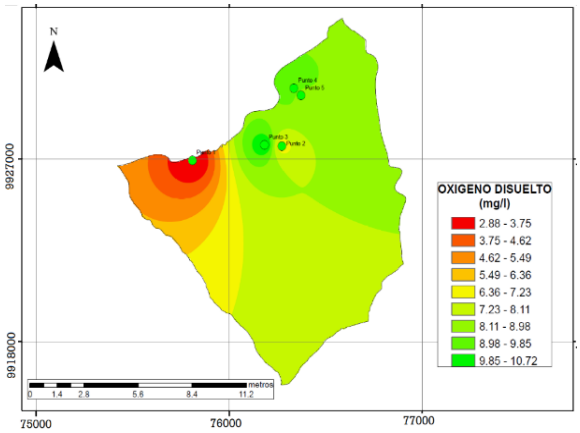

Figura 4. Oxígeno Disuelto (OD).

3.4 Distribución espacial de las Isotermas

Los datos muestran gradientes térmicos entre 2 °C y 12 °C, que afectan directamente la solubilidad del oxígeno y los procesos metabólicos en el ecosistema. Las fluctuaciones observadas podrían ser atribuidas a la estratificación térmica, fenómeno común en cuerpos de agua profundos que puede llevar a diferencias significativas en la calidad del agua entre capas.

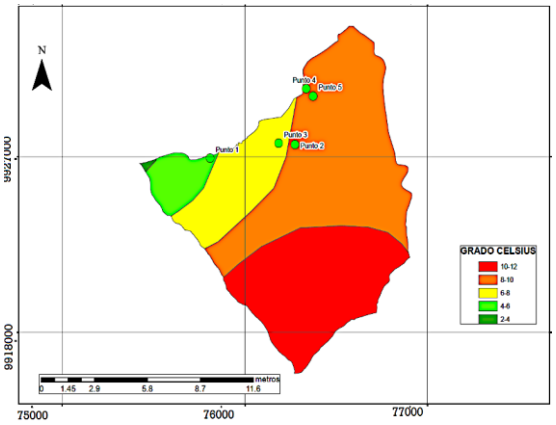

Figura 5. Isotermas.

3.5 Distribución espacial del pH

El potencial hidrógeno se ve acidificado en el punto 3 que corresponde a la zona de Chiripugyo, donde se pudo observar que se realizó un manejo de la captación a través de una obra, estas intervenciones generaron impactos negativos en la zona como es la acidez del suelo y el agua de la captación, la variación de pH se relaciona directamente al exceso de químicos y agroquímicos ocupados en la zona, siendo superiores a lo por puesto por las Naciones Unidas y al Acuerdo ministerial 097-A, además se cuenta con un estudio realizado por Sánchez A. en el 2021 donde su hallazgo relevante en relación al pH es que el suelo se ha tornado alcalino en función de la contaminación de la zona, en donde se encontró un exceso de nutrientes y minerales, a comparación de Chiripugyo se ha generado una acidez del suelo y agua debido al exceso de químicos para las actividades productivas y una ausencia de calcio y magnesio que es responsable de la dureza del agua y del índice de intercambio iónico.

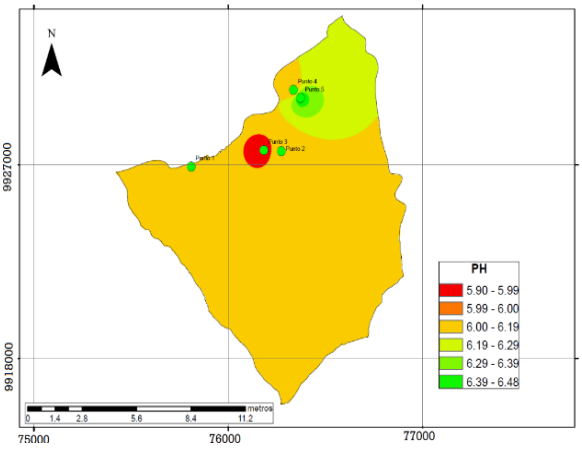

Figura 6. Potencial Hidrógeno.

3.6 Análisis de isoyetas y condiciones climáticas

El rango de precipitación anual en el área se encuentra entre 500 mm y 1500 mm, distribuyéndose de manera heterogénea entre los puntos de estudio. Este comportamiento refleja las características de la región andina, donde la topografía genera microclimas que afectan la disponibilidad hídrica. Según Pacheco & Cabrera, (1996), esta variabilidad impacta directamente los flujos hídricos y la capacidad de recarga de acuíferos, especialmente en zonas de alta pendiente.

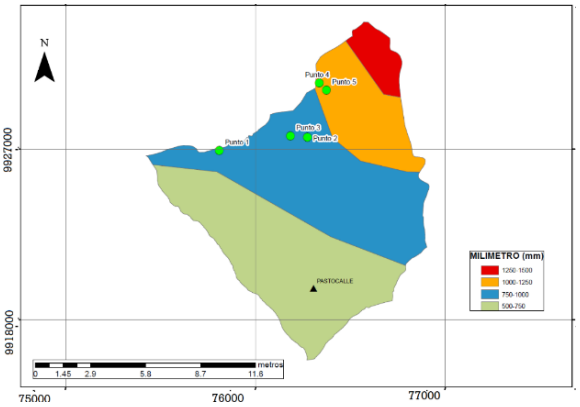

Figura 7. Análisis de isoyetas y condiciones climáticas.

El análisis se alinea con estudios como el de Torres et al. (2009), que destaca la importancia de correlacionar parámetros como el OD y DQO para evaluar el grado de eutrofización y la salud ecológica del agua. Las condiciones encontradas podrían ser mitigadas mediante estrategias de remediación específicas, como aireación para aumentar el OD y regulación de vertidos orgánicos para reducir la DQO.

La lluvia en la zona central del área de estudio, indica valores medios de precipitación, aportando al drenaje y al avance de contaminantes en la zona, González et al. (2019), habla sobre la importancia de la teoría de Volobuyev, que aporta entendimiento en el lavado de suelos, y más aún se torna una herramienta esencial para el modelado en el transporte de suelos.

3.2 Variación espacial de la calidad del agua

En la zona norte del área de estudio se determinó que la calidad del agua es buena, ya que se registraron niveles bajos de DQO, lo que indica menor carga de materia orgánica en descomposición (Ochieng et al., 2024). Para la zona media, la calidad del agua presenta condiciones moderadas, características por una baja concentración de OD, lo que limita el desarrollo normar de la biocinética acuática (Jayasekara et al., 2024). Por otro lado, los resultados muestran que en la zona sur del área de estudio se presentan las condiciones más críticas con valores expuestos anteriormente en base a la turbiedad, pH y DQO. De este modo, el análisis espacial respalda la necesidad de estrategias diferenciadas de gestión y tratamiento del recurso hídrico (Priyadarshee et al., 2024).

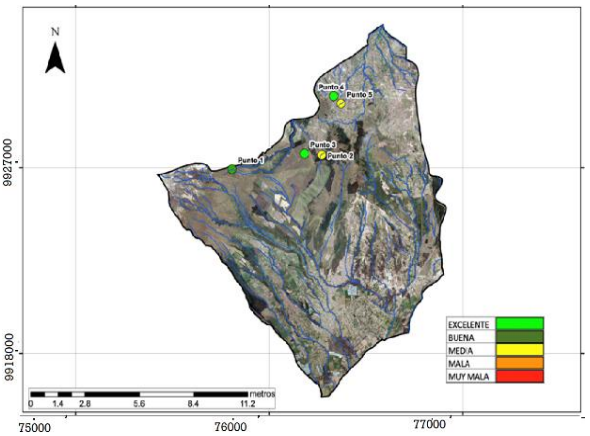

Figura 8. Índice de calidad de agua.

4. CONCLUSIONES

El análisis de la calidad del agua en las fuentes de captación del sector La Libertad, parroquia San Juan de Pastocalle, especialmente en Chiripugyo, donde presenta puntos críticos como el DQO que alcanza los 800 mg/L, muy por encima del límite permisible de 500 mg/L, evidenciando una alta carga de materia orgánica que compromete la calidad del recurso hídrico. A esto se suma un pH ácido de 5.90, lo que afecta tanto la estabilidad química del agua como el desarrollo de la vegetación circundante. De este modo, según la ley de Fick, la variabilidad espacial de la calidad del agua indica que la zona norte presenta mejores condiciones hídricas, mientras que la zona sur se ve más afectada por la contaminación, donde se registran niveles de DQO de hasta 633 mg/L, reflejando una expansión del problema.

Los mapas ambientales muestran que el área cuenta con una capacidad de filtración alta, lo que permite un eficiente lavado del terreno, favorecido por una precipitación media de 700 mm anuales. A pesar de que algunos parámetros como conductividad eléctrica (66 - 186 µS/cm), sólidos disueltos totales (49 - 119 mg/L), nitratos (2 mg/L) y salinidad (0.05 - 0.11 PSU) cumplen con los estándares de calidad, la baja concentración de oxígeno disuelto en Chiriaco (2.88 mg/L, cuando el límite es >6.5 mg/L), junto con la elevada turbidez de 70 NTU, son indicadores claros de que la calidad del agua ha sido comprometida. Dado este escenario, es fundamental implementar estrategias de restauración ecológica, como la revegetación con especies nativas para estabilizar el pH y mejorar la calidad, así como fortalecer el monitoreo continuo de los parámetros fisicoquímicos y aplicar medidas correctivas que garanticen la sostenibilidad del recurso hídrico y su disponibilidad segura para la comunidad.

Agradecimiento. - Agradecemos a las diferentes instituciones que permitieron desarrollar la presente investigación, como son: el Ministerio De Educación y el cuerpo de ingenieros Forestales de la ciudad de Ibarra Provincia de Imbabura.

Contribución de los autores. - El Ing. Eimer Mena, se encargó del diseño y elaboración de los mapas de las características fisicoquímicas de la calidad del agua. Mg. Consuelo Ruiz, estuvo a cargo del muestreo del agua y la caracterización fisicoquímica del agua. Ing. Jennifer Parra, se encargó del cálculo del índice de la calidad del agua. Ing. Jaqueline Parra realizó el análisis de la discusión de resultados y el formato de la revista. Asimismo, todos los autores contribuyeron a la concepción y diseño del estudio, la preparación del material, la recopilación y análisis de datos y la aprobaron del manuscrito final.

Financiación. - No se recibieron fondos, ayudas u otro tipo de apoyo. Sin embargo, las entidades a las que pertenecen los investigadores financiaron las horas para la investigación.

Conflicto de intereses. - Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

5. REFERENCIAS

Adeoba, MI y Fatayo, OC (2024). Una revisión de tecnologías innovadoras para sustentar las áreas de captación de agua: hacia un desarrollo sustentable. *Green Energy and Technology* , 21–31. https://doi.org/10.1007/978-3-031-47215-2_2

Aguiar, S., Estrella, M. E., & Cabadiana, H. U. (2022). Residuos agroindustriales: Su impacto, manejo y aprovechamiento. *AXIOMA, 27*, Article 27. https://doi.org/10.26621/ra.v1i27.803

Akhtar, N., Syakir Ishak, M. I., Bhawani, S. A., & Umar, K. (2021). Various Natural and Anthropogenic Factors Responsible for Water Quality Degradation: A Review. *Water, 13*(19), Art. 19. https://doi.org/10.3390/w13192660

Ariho, A., Aja, L., Muhammad, T. y Mohammad, L. (2024). Contaminación del agua: causas, impactos y esfuerzos actuales para abordar los problemas de contaminación del agua a lo largo del río Meizimera-kihihi, distrito de Kanugu, Uganda. *F1000Research , 13*, 1298. https://doi.org/10.12688/f1000research.155162.1

Bailey, K., Basu, A., & Sharma, S. (2022). The Environmental Impacts of Fast Fashion on Water Quality: A Systematic Review. *Water, 14*(7), Art. 7. https://doi.org/10.3390/w14071073

Cáceres, M., & Medina, A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados y su impacto en la salud. *Revista de Salud Ambiental, 32*(4), 210-218. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672020000100009

Castro Guerrero, A. A., & Pulecio Castro, G. A. (2022). *Análisis documental de las aguas subterráneas y su caracterización in situ, en el municipio Girardot–Cundinamarca sector sur occidente*. [Tesis de Grado, Universidad Piloto de Colombia] Handle. https://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/11661

Cerón, L. M., Sarria, J. D., Torres, J. S., Soto-Paz, J., Cerón, L. M., Sarria, J. D., Torres, J. S., & Soto-Paz, J. (2021). Agua subterránea: Tendencias y desarrollo científico. *Información tecnológica, 32*(1), 47–56. https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000100047

Cerro-López, M., Castro-Pastrana, L. I., Toledo-Wall, M. L., Gómez-Oliván, L. M., & Saldívar-Santiago, M. D. L. D. (2021). Análisis de fármacos en aguas residuales de tres hospitales de la ciudad de Puebla, México. *Ingeniería del agua, 25*(1), 59-73. https://doi.org/10.4995/ia.2021.13660

Chancay, J. (2024). *jusethCS/inamhi-geoglows* [Python]. https://github.com/jusethCS/inamhi-geoglows (Obra original publicada en 2024)

Chávez, J. A. V. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, 35*, 304-308. https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719

Chen, Y., Song, L., Liu, Y., Yang, L., & Li, D. (2020). A Review of the Artificial Neural Network Models for Water Quality Prediction. *Applied Sciences, 10*(17), Art. 17. https://doi.org/10.3390/app10175776

Cooper, RJ y Hiscock, KM (2019). Recursos hídricos de cuencas hidrográficas (pp. 153–178). *Springer, Dordrecht*.

https://doi.org/10.1007/978-94-024-1681-7_11

Elliott, AH, Snelder, TH, Muirhead, RW, Monaghan, RM, Whitehead, AL, Bermeo-Alvear, SA y Howarth, CJ (2020). Un método heurístico para determinar los cambios en las cargas de origen para cumplir con los límites de calidad del agua en las cuencas. *Gestión ambiental , 65* (2), 272–285. https://doi.org/10.1007/S00267-019-01235-X

Enriquez-del Castillo, L. A., González-Bustos, J. B., Flores, L. A., Domínguez Esparza, S., Cervantes Hernández, N., Viera Ponce, A. J., Enriquez-del Castillo, L. A., González-Bustos, J. B., Flores, L. A., Domínguez Esparza, S., Cervantes Hernández, N., & Viera Ponce, A. J. (2022). Estilo de vida activo según nuevas directrices de la OMS: ¿una influencia sobre la aptitud física, composición corporal y calidad de vida en mujeres mayores?. *Ciencias de la actividad física (Talca), 23*(ESPECIAL). https://doi.org/10.29035/rcaf.23.especial_ihmn.2

EPA (2021). Eutrophication: Causes, consequences, and solutions. Environmental Protection Agency. https://nysba.org/app/uploads/2023/05/EnvLawyer-2023_Vol-43-No-1_WEB.pdf#page=9

Escandón Guachichullca, C. G., & Cáceres Vintimilla, M. E. (2022). *Análisis de la calidad del agua mediante parámetros físicos químicos y macroinvertebrados bentónicos, presentes en la microcuenca del río San Francisco-Gualaceo* [Tesis de grado. Universidad Politécnica Salesiana] Handle. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21649

FAO (2020). *Water quality and agricultural sustainability. Food and Agriculture Organization*. https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/131888/water_quality_in_agriculture-risks_and_risk_mitigation.pdf?sequence=3

García López, B. C., López Bastida, E. J., Castro Perdomo, N. A., García López, B. C., López Bastida, E. J., & Castro Perdomo, N. A. (2020). Procedimiento para el análisis químico de la contaminación por nitritos y nitratos en aguas de consumo. *Revista Universidad y Sociedad, 12*(5), 190-195. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2218-36202020000500190&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Gleick, P. H., & Cooley, H. (2021). Freshwater Scarcity. *Annual Review of Environment and Resources*, *46*(Volume 46, 2021), 319–348. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-101319

González, J. G., Heredia, D. P., Rodríguez, R., González, J. G., Heredia, D. P., & Rodríguez, R. (2019). Bioremediación de hidrocarburos en aguas residuales con cultivo mixto de microorganismos: Caso Lubricadora Puyango. *Enfoque UTE, 10*(1), 185-196. https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v10n1.312

Hernández-Álvarez, U., Pinedo-Hernández, J., Paternina-Uribe, R., Marrugo-Negrete, J. L., Hernández-Álvarez, U., Pinedo-Hernández, J., Paternina-Uribe, R., & Marrugo-Negrete, J. L. (2021). Evaluación de calidad del agua en la Quebrada Jui, afluente del río Sinú, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 24*(1). https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1678

Jayasekara, JMAU, Mowjood, MIM y Dayawansa, NDK (2024). Análisis de la variación espacial y temporal de la calidad del agua: un estudio de caso del humedal de Kotagala, Nuwara Eliya, Sri Lanka. *Investigación agrícola tropical , 35* (4), 343–354. https://doi.org/10.4038/tar.v35i4.8847

Kumar, A., Mishra, S., Bakshi, S., Upadhyay, P., & Thakur, T. K. (2023). Response of eutrophication and water quality drivers on greenhouse gas emissions in lakes of China: A critical analysis. *Ecohydrology, 16*(1), e2483. https://doi.org/10.1002/eco.2483

Machiva, P. (2022). Una evaluación de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua en las fuentes de agua de la cuenca de Insukamini y la idoneidad del agua para uso doméstico. *Gujarat Journal of Extension Education , 33* (1), 12–15. https://doi.org/10.56572/gjoee.2022.33.1.0003

Martí, Z., & Francisca, M. (2021). El agua como clave del ecodesarrollo urbano: Paisaje, patrimonio, territorio y sociedad. *Revista Castellano-Manchega de Ciencias Sociales 28*(1), pp. 67-76. https://doi.org/10.20932/barataria.v0i28.573

Mishra, B. K., Kumar, P., Saraswat, C., Chakraborty, S., & Gautam, A. (2021). Water Security in a Changing Environment: Concept, *Challenges*

and Solutions. *Water, 13*(4), Art. 4. https://doi.org/10.3390/w13040490

Morales-Mora, E., Barrantes-Jiménez, K., Beita-Sandí, W., Chacón-Jiménez, L., Morales-Mora, E., Barrantes-Jiménez, K., Beita-Sandí, W., & Chacón-Jiménez, L. (2022). Evaluación de riesgo por arsénico, en bajas concentraciones, para trabajadores agrícolas de Cartago, Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*, 14(2), 194–210. https://doi.org/10.22458/urj.v14i2.4070

Morales Pilataxi, M. L. (2022). *Rediseño del sistema de tratamiento de la planta de agua potable El Tambo del cantón Pelileo, para mejorar la remoción de fluoruros.* [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo] Dspace. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/18019

Moreno, L., Pozo, M., Vancraeynest, K., Bain, R., Palacios, J. C., & Jácome, F. (2020). Integrating water-quality analysis in national household surveys: Water and sanitation sector learnings of Ecuador. *Npj Clean Water, 3*(1), 1–11. https://doi.org/10.1038/s41545-020-0070-x

Naranjo-Tovar, D., Morillo-Semanate, L., Pérez, J., Villacis-Oñate, W., Vargas-Jentzsch, P., & Muñoz-Bisesti, F. (2021). Procesos Fenton como tratamiento complementario para la remoción de tensoactivos y coliformes de aguas residuales domésticas. Ingeniare. *Revista chilena de ingeniería, 29*(2), 364-377. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052021000200364

Nathan K., Shiteng K., Allison., John K. Pattison-W., Yuta J. Masuda, How effective is community-based management of freshwater resources? A review. (2022). *Journal of Environmental Management*, *323*, 116161. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116161

Nyiramana, MP (2024). El impacto de la salud pública en la prevención de enfermedades. *Revista de Investigación e Invención de Ciencias Científicas y Experimentales 4*(1):1-4.https://doi.org/10.59298/rijses/2024/4114

Obaideen, K., Shehata, N., Sayed, E. T., Abdelkareem, M. A., Mahmoud, M. S., & Olabi, A. G. (2022). The role of wastewater treatment in achieving sustainable development goals (SDGs) and sustainability guideline. *Energy Nexus, 7*, 100112. https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100112

Ochieng, OC, Morara, OG y Samir, DN (2024). Variación espacial de los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua asociados con el cultivo de arroz en el canal de la rama Dakalt, gobernación de Kafrelsheikh, Egipto. *Política mundial del agua* . https://doi.org/10.1002/wwp2.12232

Oñate Barraza, H. C., Cortéz Henao, G. Y., Oñate Barraza, H. C., & Cortéz Henao, G. Y. (2020). Estado del agua del río Cesar por vertimientos residuales de la ciudad de Valledupar. Bioindicación por índice BMWP/Col. *Tecnura, 24*(65), 39–48. https://doi.org/10.14483/22487638.15766

Ortega Ramírez, A. T., Sánchez Rodríguez, N., Ortega Ramírez, A. T., & Sánchez Rodríguez, N. (2021). Tratamientos avanzados para la potabilización de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 31*(2), 121-134. https://doi.org/10.18359/rcin.5343

Ortega-Moctezuma, O., Zárate-Pérez, J., Alba-Alba, C. M., Jiménez-Hernández, M., Ramírez-Girón, N., Ortega-Moctezuma, O., Zárate-Pérez, J., Alba-Alba, C. M., Jiménez-Hernández, M., & Ramírez-Girón, N. (2023). Enfermedad renal crónica asociada a la exposición a metales pesados y productos agroquímicos en Latinoamérica. *Enfermería Nefrológica, 26*(2), 120–131. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2254-28842023000200003

Pacheco, J., & Cabrera, A. (1996). Efecto del uso de fertilizantes en la calidad del agua subterránea en el estado de Yucatán. *Tecnología y ciencias del agua, 11*(1), Article 1. https://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/767

Palechor, F. F., & Hoyos, M. Y. (2023). Una propuesta pedagógica de mitigación contaminante de la quebrada Venecia municipio San Sebastián – Cauca. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *7*(1), Article 1. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4678

Panduro, G., Rengifo, G. C., Barreto, J. L., Arbaiza-Peña, K., Iannacone, J., Alvariño, L., & Crnobrna, B. (2020). Bioacumulación por mercurio en peces y riesgo por ingesta en una comunidad nativa en la amazonia peruana.

Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, *31*(3), e18177. https://cris.unfv.edu.pe/es/publications/bioacumulaci%C3%B3n-por-mercurio-en-peces-y-riesgo-por-ingesta-en-una-/fingerprints/

Payen, S., Cosme, N., & Elliott, A. H. (2021). Freshwater eutrophication: Spatially explicit fate factors for nitrogen and phosphorus emissions at the global scale. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *26*(2), 388–401. https://doi.org/10.1007/s11367-020-01847-0

Priyadarshee, A., Rahul, AK, Kumar, V., Kumar, A. y Kumar, N. (2024). Variación espacial en la calidad del agua del río Burhi Gandak: una evaluación en múltiples ubicaciones. *Frontiers in Environmental Science , 12*. https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1487469

Prince Flores, J. E., & Espinosa Bouchot, M. (2021). Una mirada a la calidad del agua. *Perspectivas IMTA*, no. 3. http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/2256

Ramírez, J. C. (2023). Tratamiento de aguas residuales y problemáticas ambientales del sector textil en Colombia: una revisión. *Informador técnico,* *87*(1), 82-106. https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1678

Ruano, M., Cantos Salavarría, J. C., & Jiménez Delgado, R. R. (2024). Evaluación de calidad y cumplimiento del rotulado en bebidas energizantes, deportivas y sueros orales de acuerdo a la normativa ecuatoriana. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS, 6*(6), 39–58. https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v6i6.1251

Sánchez, J. de D. A., & Irigoín, N. C. (2021). Contaminación de suelos por el uso de aguas residuales. *Revista Alfa, 5*(14), Article 14. https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.104

Scheibel, CH, Nascimento, AB do, Araújo Júnior, G. do N., Almeida, AC dos S., Silva, TGF da, Silva, JLP da, Silva, FB da, Farias, JA de, Santos, JPA de S ., Oliveira-Júnior, JF de, Silva, JLB da, João, FM, Deus, AS de, Teodoro, I., Oliveira, HFE de, & Silva, MV da. (2024). Caracterización de cuerpos de agua mediante índices hidrofísicos y efectos antropogénicos en el nordeste oriental de Brasil. *Clima , 12* (9), 150. https://doi.org/10.3390/cli12090150

Slosarczyk, K., Jakobczyk-Karpierz, S. y Witkowski, A. (2022). Identificación de fuentes de contaminación del agua mediante estudios hidroquímicos e isotópicos: zona de captación del embalse de Kozłowa Góra (sur de Polonia). *Agua , 14* (6), 846. https://doi.org/10.3390/w14060846

Soni, H. B., & Thomas, S. (2014). Assessment of surface water quality in relation to water quality index of tropical lentic environment, Central Gujarat, India. *International Journal of Environment,* *3*(1), Article 1. https://doi.org/10.3126/ije.v3i1.9952

Sun, Z., Cui, J., Cheng, J. y Tang, X. (2024). Una nueva herramienta para rastrear las fuentes de agua del caudal de los ríos en una cuenca de uso mixto del suelo. *Science of The Total Environment , 912* , 168800. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168800

Tiwari, A. K., & Pal, D. B. (2022). Nutrients contamination and eutrophication in the river ecosystem. In *Ecological Significance of River Ecosystems* (pp. 203-216). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00001-7

Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín,* *8*(15), 79-94. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75017199010

Vallejo, M., & Rodríguez, H. (2023). Tecnologías ecoeficientes para la gestión del agua. *Revista de Innovación Ambiental*, 8(1), 89-101. https://www.aguanet.com.mx/archivos/Tecnologias_para_la_gestion_sostenible_del_agua.pdf