

Estudio de la Influencia de Contaminantes Antropogénicos en las Características Físicoquímicas y Microbiológicas del Agua de Riego del Canal Ambato-Huachi-Pelileo

Study of the influence of anthropogenic contaminants on the physicochemical and microbiological characteristics of the irrigation water of the Ambato-Huachi-Pelileo canal

Lander Vinicio Pérez Aldás ^{1*}; Chávez Esteban Alejandro ²

ABSTRACT

The Ambato-Huachi-Pelileo irrigation canal (AHPIC) is recognized as one of the most outstanding irrigation systems in the province of Tungurahua. The objective is to study the influence of anthropogenic contaminants present in the irrigation and domestic use water of the AHPIC, by conducting a representative sampling and applying standardized laboratory analysis methods, to evaluate the impact of the contaminants on the quality of water and in both physicochemical and microbiological characteristics. Compared to the results obtained, the presence of total coliforms and *Escherichia coli* (*E. coli*) predominates from the two aqueous effluent monitoring campaigns studied; they present levels above the maximum limit according to international and Ecuadorian legislation. Through the results obtained from the physicochemical analyzes carried out on AHPIC, it presents a high contamination as indicated by the Water Quality Index (WQI) values obtained according to the National Sanitation Foundation NSF, values with which it can be said that a treatment for the reduction of these indicators is preponderant to improve water quality as use for irrigation in Tungurahua.

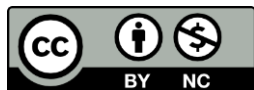
Keywords: Wastewater, Environmental Risk, Water Quality Index (WQI), Pollution.

RESUMEN

El canal de riego Ambato-Huachi-Pelileo (CRAHP) es reconocido como uno de los sistemas de riego más sobresalientes en la provincia de Tungurahua. El objetivo es estudiar la influencia de contaminantes antropogénicos presentes en el agua de riego y uso doméstico del CRAHP, mediante la realización de un muestreo representativo y la aplicación de métodos de análisis de laboratorio estandarizados, para la evaluación del impacto de los contaminantes en la calidad del agua y en las características tanto físicoquímicas como microbiológicas. Frente a los resultados obtenidos, predominan la presencia de coliformes totales y *Escherichia coli* (*E. coli*) de las dos campañas de monitoreo del efluente acuosos estudiados, los mismos presentan niveles por encima del límite máximo según las legislaciones internacionales y ecuatoriana. Mediante los resultados obtenidos de los análisis físicoquímicos realizados sobre CRAHP, presenta una alta contaminación conforme lo indican los valores de ICA que se obtenidos según la National Sanitation Foundation NSF, valores con los cuales se puede decir que un tratamiento para la reducción de estos indicadores es preponderante para mejorar la calidad del agua como uso para riego en Tungurahua.

Palabras clave: Aguas residuales, riesgo ambiental, índice de calidad del agua (ICA), contaminación.

Recibido 19 de febrero de 2024 Aceptado 29 de mayo de 2024



Copyright: © 2024 by the authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license.

¹Afiliación: Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, Universidad Técnica de Ambato, Av. los Chasquis y Río Payamino, Ambato, Ecuador;

²Afiliación: Carrera de Ingeniería en Biotecnología, Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE: eachavez6@espe.edu.ec

*Autor para correspondencia: Lander Vinicio Pérez Telf de contacto; 0992540639 email: lv.perez@uta.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la contaminación de los canales de riego se ha convertido en uno de los problemas que más repercusiones tiene a nivel ambiental como también en el bienestar de las personas que utilizan este recurso o que vive en alrededor del mismo, esta problemática se presenta con mayor frecuencia en países en vías de desarrollo como Ecuador, puesto que existe una carencia en el proceso de gestión de residuos sólidos y aguas residuales, así como también la falta de una buena planificación con respecto al crecimiento poblacional el cual incrementa la contaminación mediante el aumento de residuos, ocasionando que la calidad del agua se degrade considerablemente (Martínez, 2017).

Las actividades más importantes para los cuales se utiliza el agua que circula en los canales de riego son principalmente la agricultura y ganadería en el Ecuador y el recurso no es completamente puro, esto debido al deterioro ambiental provocado por la falta de responsabilidad de la ciudadanía quienes no toman medidas al momento de arrojar toda variedad residuos domiciliarios, animales muertos, desechos orgánicos e inorgánicos, escombros, etc. (Ilaño Laura, 2015). Esta falta de conciencia significa riesgos para la vida animal como vegetal e incluso la salud humana gracias al desconocimiento que tienen sobre estos contaminantes en la calidad del agua de riego (Cuvi Vásquez & Ruiz Hernández, 2022).

El agua del CRAHP abarca a más de 14000 usuarios, cuyo principal enfoque son las actividades agrícolas. La fuente de agua para este canal proviene del río Ambato, situado a una altitud de aproximadamente 2940 metros sobre el nivel del mar, con una extensión de 45 km, este sistema de riego atraviesa tres cantones importantes en la provincia: Ambato, Cevallos y Pelileo, lo cual permite el desarrollo de actividades agrícolas en el sector (Criollo Tisalema, 2023). Con el paso de los años el CRAHP se ha deteriorado considerablemente puesto que es uno de los canales de riego que tiene una alta actividad no únicamente de carácter agrícola, sino también otras actividades como la industrial que se encuentran cercanas al canal de riego, originando una constante contaminación por la generación de desechos liberados en el agua en forma de residuos disueltas o suspendidas (Quingaluisa Parra, 2019).

Estas contaminaciones se dan por reacciones químicas de diferente tipo, tanto físicas como biológicas inducidas por los diferentes compuestos que a menudo se descargan o arrojan al canal, produciendo un impacto directo ya sea en la coloración del agua que dichos agentes contaminantes han causado, sino también la presencia de malos olores (Becerra Moreno & Cárdenas-Gutiérrez, 2023). En este sentido, se han empleado técnicas para poder cuantificar y denotar los principales contaminantes que existen en este canal, sean estos químicos, físicos o biológicos de tal manera que se pueda ampliar el conocimiento de la problemática del canal, para poder establecer alternativas en relación con el cuidado que se debe tener con respecto al agua del CRAHP (Almachi Quinatoa, 2023).

Este trabajo de investigación es parte del Proyecto de Servicio Comunitario para Vinculación con la Sociedad denominado “Estudio de la influencia de contaminantes antropogénicos en las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de riego del canal Ambato-Huachi-Pelileo (Río Pachanlica) aprobada según resolución FCIAB-1316-CD-P-2023.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Origen de la muestra

Se realizaron dos campañas de monitoreo ejecutadas en dos etapas; la primera (campaña 1) entre octubre 2021 a febrero 2022 y una segunda (campaña 2) ejecutado en octubre 2022 a marzo 2023, se tomaron en consideración la variación en espacio y tiempo en cada campaña de muestreo para lo cual se cumplen con los procedimientos de toma de muestra NTE INEN 2169:2013 para agua: calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras (Baque-Mite et al., 2016).

Diseño experimental y muestreo.

La selección de los sitios de muestreo se realizó en base a parámetros específicos de contaminación de cuencas y microcuencas de la provincia de Tungurahua y conforme a la vigilancia de los cuerpos de agua para determinar el impacto que ocasionan las aguas residuales procedentes de las actividades económicas y poblacionales (Cedeño Santos & Romero Moreno, 2021). Se establecieron diez puntos de muestreo en donde cada uno de los sitios seleccionados se encuentra justificados en base a los requerimientos del sistema microcuencas del agua CRAHP (Garcés Alvear, 2021) que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Puntos de muestreo, código de muestras y coordenadas geográficas del CRAHP.

| Canal de Riego Ambato-Huachi-Pelileo (CRAHP) | | | | |
|---|--------------------------|--------------------|--------------|-----------------------------|
| Punto | Sitio de muestreo | Coordenadas | | Código de la muestra |
| | | Este | Norte | |
| 1 | Bocatoma Pasa-Ambato | 0764111 | 9859618 | CRAHP -P1 |
| 2 | Huachi-Solís | 0761016 | 9855762 | CRAHP -P2 |
| 3 | Manzana de Oro | 0762588 | 9854107 | CRAHP -P3 |
| 4 | Barrio Amazonas | 0763051 | 9853595 | CRAHP -P4 |
| 5 | Montalvo | 0763931 | 9852383 | CRAHP -P5 |
| 6 | Palagua El Carmen | 0763114 | 9851229 | CRAHP -P6 |
| 7 | La Florida | 0764846 | 9850873 | CRAHP -P7 |
| 8 | Vía San Pedro | 0765623 | 9849343 | CRAHP -P8 |
| 9 | Querochaca | 0765954 | 9848793 | CRAHP -P9 |
| 10 | Totoras | 0767309 | 9857607 | CRAHP -P10 |

Determinación de parámetros fisicoquímicos.

Se realizaron once parámetros tanto microbiológicos, como fisicoquímicos para cada punto de muestreo, específicamente: Coliformes totales, *Escherichia coli*, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto (OD), sólidos totales (ST), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales (SD), dureza, potencial de Hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE).

Los métodos de análisis se basan en el manual de Métodos Estándar para el Examen de Aguas Residuales (APHA) (Rice, Bridgewater, & Association, 2012) y el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). La base normativa para comparación de los resultados obtenidos corresponde a los criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias que establezcan los organismos competentes y que cumplan con los niveles de calidad establecidos en la TABLA 3 y la TABLA 4 del Registro Oficial N°387, Acuerdo ministerial 097 Anexo 1, del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA) (Zajia & Stalin, 2018). El mismo que define valores límites máximos permisibles (LMP) de distintos parámetros químicos, físicos o biológicos, los que permitirán determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA) en el CRAHP. De manera que se pueda comparar los parámetros relacionados con la calidad del agua del tipo especificado, también se incluyen normas o estándares de orden global, esto son por ejemplo las Guías EPA: U.S. y otras como guías específicas como la del estado de California de la USA.

Índice De Calidad Del Agua (ICA)

La determinación de la Calidad del Agua en un cuerpo de agua está relacionada con la identificación del grado, intensidad o nivel de contaminación que contienen. Los factores que pueden contribuir a dicha contaminación pueden ser químicos, físicos o biológicos. El ICA (Huerta Lozada, 2023) determina el grado de la contaminación presente en un cuerpo de agua. Para ello, emplea parámetros químicos, físicos o microbiológicos como indicadores. Entre los parámetros considerados se denotan: DBO5, OD, Coliformes totales, pH, SSD, SST y DQO (Garcés, 2021).

Tabla 2. Clasificación de la Calidad del Agua según el ICA.

| Valor ICA | Calidad | Color | Usos Aplicados |
|-----------|-----------|----------|--|
| 0,00-0,25 | Muy Mala | Rojo | Agua Contaminada, no aceptable para contacto humano de ningún tipo. |
| 0,26-0,50 | Mala | Naranja | Agua parcialmente contaminada no aceptable para uso humano de contacto directo. |
| 0,51-0,70 | Regular | Amarillo | Aceptable para uso de riego e industrial. |
| 0,71-0,90 | Aceptable | Verde | Aceptable para consumo humano (tratamiento simple), piscicultura y uso recreativo. |
| 0,91-1,00 | Buena | Azul | Aceptable en todo tipo de usos. |

Análisis estadístico

Los datos fueron procesados y analizados con el programa Análisis de varianza (ANOVA de un factor) en el programa estadístico Statgraphics aplicando pruebas de comparación de medias.

3. RESULTADOS

Análisis de los resultados de los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos.

Una vez analizadas las muestras tomadas en los 10 puntos de control en cada una de las campañas de muestreo en los laboratorios de la Universidad Técnica de Ambato (UTA), se obtienen los resultados de los 11 parámetros tanto microbiológicos, como fisicoquímicos los mismos que se presentan en la tabla mostrada a continuación (tabla 3).

El indicador de la calidad bacteriológica del agua es el grupo de bacterias coliforme, el mismo se define como todas las bacterias aeróbicas y anaeróbicas facultativas, Gram negativas, no formadoras de esporas y de forma redonda que fermentan la lactosa formando gas en 48 horas y a 35 °C y aunque el grupo coliforme generalmente no es patógeno (a menos que se encuentren en gran número), son habitantes normales del intestino del hombre y algunos animales (Rodríguez, Retamozo-Chávez, Aponte, & Valdivia, 2017). Esto hace que la presencia de coliformes en el agua sea indicio de contaminación fecal y por consiguiente una alta posibilidad de que estén presentes también organismos patógenos. Las bacterias del grupo coliforme se encuentran en mayor cantidad y generalmente viven más tiempo en el agua que los organismos patógenos. Esta razón hace que el análisis de laboratorio sea más rápido y que los microorganismos no escapen a la prueba, es decir, el resultado no dé negativo (Mayta Flores & Quispe Gómez, 2023).

La presencia de coliformes totales en los puntos del canal de agua estudiados se determinó mediante una análisis cualitativo para contaminación por coliformes y E.coli (Espinoza Macias & Sánchez Loaiza, 2022), por ende, la calidad del agua se considera deficiente por la presencia de estos microorganismos en todos los puntos para la campaña de monitoreo uno, mientras que para la segunda campaña de monitoreo los coliformes totales en los puntos P3, P4, P5, P7 y P8 denota la ausencia de este tipo de microorganismos en el efluente, y para E. coli en los puntos P3, P5 y P6 no se evidenció la presencia del mismo en estos puntos de muestreo.

La DBO5 se utiliza como una medida para determinar la contaminación de residuos domésticos e industriales en relación con la cantidad de oxígeno presente en la muestra de agua, como resultado de la acción de oxidación aerobia (Ramalho, 2021). Según los datos presentados en las tablas 3 para la campaña de monitoreo 1 y 2 se evaluó que el análisis de la DBO5 del CRAHP, los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de agua poco contaminada. La normativa EPA establece que el LMP de los valores de concentración deben ser menor o igual a 30 mg O₂/L para la DBO5, consecuentemente los valores no superan los 8 mgO₂/L en la mayoría de los puntos muestreados, excluyendo al punto 10 ubicado en Totoras el cual fue 125 mgO₂/L.

La DQO es un parámetro crítico empleado para la evaluación de la calidad del agua, este expresa el grado o nivel de contaminación orgánica tanto de aquellas sustancias biodegradables como las no biodegradables, en los cuerpos de agua (Calero, 2023). El límite máximo permisible (LMP) según la Norma TULSMA no debe superar los 250 mg O₂/L para descarga a cuerpos de agua dulce (MAE, 2015). Los resultados obtenidos indican que en la campaña de monitoreo uno, el punto 8 (Vía San Pedro) como punto 10 en Totoras superan significativamente este límite con valores de 330.1 y 1051.1

Tabla 3. Promedio de Resultados de los Parámetros Microbiológicos y Fisicoquímicos, correspondientes a la campaña de Muestreo uno y dos.

| PARÁMETROS | | Puntos de muestreo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | Canal de riego Ambato-Huachi-Pelileo. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Descripción | Unidades | CRAHP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | P1-F1 | P1-F2 | P2-F1 | P2-F2 | P3-F1 | P3-F2 | P4-F1 | P4-F2 | P5-F1 | P5-F2 | P6-F1 | P6-F2 | P7-F1 | P7-F2 | P8-F1 | P8-F2 | P9-F1 | P9-F2 | P10-F1 | P10-F1 |
| OD | mg/l | 9.8 | 5.6 | 4.4 | 5.0 | 3.6 | 7.2 | 5.0 | 5.3 | 5.6 | 6.9 | 3.0 | 6.9 | 4.8 | 6.9 | 5.0 | 6.0 | 5.4 | 5.0 | 5.8 | 3.8 |
| CE | μS/cm | 219.0 | 95.3 | 229.7 | 98.3 | 222.1 | 100.3 | 216.1 | 101.6 | 220.1 | 101.5 | 224.5 | 102.7 | 218.0 | 102.7 | 225.3 | 101.3 | 219.8 | 106.0 | 4910.0 | 105.7 |
| pH | | 6.7 | 7.9 | 6.5 | 7.9 | 6.6 | 7.8 | 6.6 | 7.7 | 6.7 | 7.7 | 7.0 | 7.9 | 7.0 | 7.9 | 7.2 | 7.4 | 7.1 | 7.9 | 6.5 | 7.9 |
| DQO | mgO2/l | 48.0 | 54.1 | 13.4 | 67.2 | 33.0 | 71.2 | 19.4 | 44.1 | 22.5 | 25.0 | 24.0 | 77.8 | 22.5 | 77.8 | 330.1 | 83.8 | 22.4 | 25.5 | 1051.1 | 33.5 |
| DBO5 | mgO2/l | 1.0 | 16.2 | 4.0 | 20.2 | 5.0 | 21.4 | 4.0 | 13.2 | 3.0 | 7.5 | 8.0 | 23.3 | 2.0 | 23.3 | 6.0 | 25.1 | 7.0 | 7.6 | 125.0 | 10.1 |
| Coliformes totales | | Presencia | Presencia | Presencia | Presencia | Presencia | Ausencia | Presencia | Ausencia | Presencia | Ausencia | Presencia | Ausencia | Presencia | Ausencia | Presencia | Ausencia | Presencia | Presencia | Presencia | Presencia |
| <i>Escherichia coli</i> | | Presencia | Presencia | Presencia | Presencia | Presencia | Ausencia | Presencia | Presencia | Presencia | Ausencia | Presencia | Presencia | Presencia | Presencia | Presencia | Presencia | Presencia | Presencia | Presencia | Presencia |
| Sólidos totales (ST) | mg/l | 220 | 280 | 220 | 190 | 260 | 256 | 260 | 260 | 240 | 360 | 240 | 304 | 560 | 304 | 560 | 598 | 560 | 374 | 3340 | 286 |
| Sólidos suspendidos Totales (SST) | mg/l | <5 | 12 | <5 | 24 | 40 | 66 | 20 | 16 | 40 | 36 | <5 | 16 | 10 | 16 | 66 | 16 | 50 | 44 | 20 | 64 |
| Sólidos disueltos (SDT) | mg/l | 220 | 280 | 220 | 190 | 220 | 256 | 240 | 260 | 200 | 360 | 240 | 304 | 550 | 304 | 540 | 598 | 550 | 374 | 3080 | 286 |
| Dureza Total | mg CaCO ₃ /l | 132 | 120 | 162 | 133.3 | 162 | 146.7 | 146 | 200 | 152 | 153.3 | 154 | 140 | 160 | 140 | 132 | 146.7 | 134 | 200 | 416 | 146.6 |

Nota: F1: Primera campaña de muestreo realizado el periodo octubre 2021 – febrero 2022

F2: Segunda campaña de muestreo realizado el periodo octubre 2022 – marzo 2023

mg O₂/L, respectivamente; en contraste los puntos restantes presentan valores inferiores a 48,1 mg O₂/L. Los resultados obtenidos tras la determinación de DQO para la segunda campaña indican que, ninguno supera el LMP de 250 mg O₂/L.

La medición de ST, SST y SDT en muestras de agua se emplea a menudo para evaluar el impacto de la minería en la calidad del agua (Morales-Fiallos, Narváez, Núñez-Aldás, Paredes-Cabezas, & Hechavarría, 2022). En base a los resultados de la determinación de SDT expuestos en la Tabla 3 para la campaña 1, se observa que las muestras tomadas en los primeros seis puntos no superan los 450 mg/L por lo que no existe restricción de su uso para el riego agrícola, en contraste, las muestras del punto 7 al 9 muestran un valor superior a los 450 mg/L de SDT, y un valor de 3080 mg/L para el punto 10. Para la campaña 2 de monitores los puntos del 1 al 10 se encuentran dentro de los LMP con restricción nula para el uso pecuario, de igual forma para la utilización en riego, a excepción del punto 08, el cual presenta un grado de restricción ligero-moderado, con un valor de 598 mg/L (Tabla 3).

El pH es un parámetro de vital importancia en el análisis de las aguas de riego puesto que de su variabilidad depende la solubilidad de compuestos que sirven como nutrientes para las plantas (Telenchana Vargas, 2019). Según el acuerdo ministerial 097 del MAATE, el intervalo de referencia adecuado en el agua de riego para el uso agrícola debe encontrarse entre 6 – 9 (Silva, 2013).

Se observa en la tabla 3 que los valores de pH entre de 6,5 y 6,7 para las muestras de Bocatoma Pasa-Ambato, Huachi Solís, Manzana de Oro, Barrio Amazonas, Montalvo y el punto diez del sector totoras, los cuales están dentro del LMP para las actividades de riego, también se puede observar que para la muestra de Palagua El Carmen y la Florida el pH es neutro al tener un valor 7 y para las muestras de la Vía San Pedro y Querochaca se tiene pH de 7,2 y 7,1 respectivamente demostrando que efectivamente todas las muestras cumplen con las condiciones de pH según la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes del Ecuador.

La CE es una propiedad fisicoquímica que permite medir de manera indirecta las concentraciones de sales disueltas en agua (Moran, Mora, García, & Uvidia, 2022). Los valores obtenidos para la campaña de monitoreo uno con respecto al TULSMA indica que un rango entre buena y permisible (251 a 2250 μ s/cm), lo que demuestra que prácticamente todas las muestras tomadas en los diez puntos en las 2 campañas de monitoreo no sobrepasar el intervalo moderado de conductividad establecido en la normativa (Montilla, 2014).

La dureza es una característica natural del agua y es debida a la concentración de compuestos minerales como iones de calcio (Ca⁺²) y magnesio (Mg⁺²) (Navarro García, 2023). Los resultados obtenidos en la campaña 1 muestran que la dureza del agua se clasificó como agua dura en los 9 puntos de muestreo del CRAHP, debido a que los valores están dentro de los rangos de concentración 61 ppm a 120 ppm, mientras que en el sector de Totoras correspondiente al punto diez se clasifica como muy dura debido a que su valor de concentración es superior a los 180 ppm. Es conocido que las aguas duras causan problemas de eficiencia de riego; el agua de este último sector deberá ser tratada para su posterior utilización en actividades agrícolas y afines (Ministerio del Ambiente, 2015). La Tabla 4 para la campaña dos de monitoreo muestran que la dureza del agua en la mayoría de los puntos de muestreo del CRAHP se clasifica como muy dura, debido a que los valores son mayores a 180 ppm.

El OD hace referencia a la cantidad de oxígeno disuelto en un cuerpo de agua, el cual es indispensable para la mayoría de los organismos acuáticos que habitan en ríos y lagos (Lamingo Llumiquinga & Moreno Garzón, 2014). Según el TULSMA, establece como criterio de calidad de agua aceptable destinada a uso agrícola debe ser un valor de 3 mgO₂/L, para ser empleada en la irrigación de cultivos y actividades afines. Los resultados obtenidos en las dos campañas de monitoreo inicial indican que el OD se encuentra dentro LMP en todos los puntos muestreados en el CRAHP. Por lo tanto, mientras mayor sea la concentración de OD, mejor será la calidad del agua.

Determinación del Índice de Calidad General del Agua

Los resultados obtenidos en la campaña de monitoreo inicial fueron clasificados según el ICA, los cuales tienen como propósito simplificar en una expresión numérica las características positivas o negativas de cualquier fuente de agua (Narváez Daza, 2021), con lo cual, de una forma pronta y fácil, se pueden estimar problemas de contaminación, sin tener que recurrir a la observación de cada una de las numerosas variables fisicoquímicas determinadas, en el mismo sentido resultan mayores los beneficios del uso del ICA cuando se evalúa una cantidad amplia de cursos hídricos, o incluso, si solamente se estudia uno, pero en forma periódica los cuales muestran que distintos valores de clasificación para los sectores muestreados en el CRAHP (Carabajo Merchán, 2022). Es así como, en los sectores del Barrio Amazonas, La Florida y Querochaca, el ICA del canal de riego está dentro del rango aceptable representado con un color verde. Los valores de los parámetros químicos, físicos y microbiológicos en estos sectores se encuentran dentro de los límites máximos permisibles según el TULSMA, indicando que el agua es aceptable para consumo humano, piscicultura y uso recreativo. Estos sectores tienen un ICA aceptable debido a que no se existen fuentes de contaminantes antropogénicos, ya sea por la liberación de agua residuales de origen doméstico e industrial (Guachamín Zambrano, 2021).

Con respecto a los sectores de Bocatoma Pasa-Ambato, Huachi-Solís, Manzana de Oro, Montalvo, Palagua El Carmen y Vía San Pedro, el ICA del canal de riego está dentro del rango regular representado con un color amarillo. Los valores de los parámetros químicos, físicos y microbiológicos en estos sectores indican que el agua es aceptable para uso de riego e industrial. En los primeros tres puntos muestreados se denotó un mantenimiento dentro de la desviación estándar, lo que indica que el grado de contaminación no varía de forma significativa. Estos sectores tienen un ICA regular con un grado de contaminación no están dentro del LMP según TULSMA debido al posible del uso de herbicidas, pesticidas y efluentes de curtiembres (Ministerio del Ambiente, 2015).

Finalmente, en el último punto de muestreo correspondiente al complementario del análisis ubicado en el sector de Totoras. El valor del ICA se encuentra dentro del rango considerado como malo y representado por medio de un color naranja. Los valores de los parámetros químicos, físicos y microbiológicos en este sector no están dentro de los LMP según el TULSMA, indicando que el agua es parcialmente contaminada no aceptable para uso humano de contacto directo (Ante & Pilatasig, 2020).

Los valores ICA para la campaña 2 de monitoreo de los puntos P1, P2, P3, P5 y P6, se encuentran dentro del rango aceptable representado con un color verde. Los valores de los parámetros químicos, físicos y microbiológicos en estos sectores se encuentran dentro de los límites máximos permisibles

según el TULSMA, indicando que el agua es aceptable para consumo humano, piscicultura y uso recreativo. Estos sectores tienen un ICA aceptable debido a que no se existen fuentes de contaminantes antropogénicos, ya sea por la liberación de agua residuales de origen doméstico e industrial (Guachamin, 2020).

Tabla 4. Evaluación del ICA.

| Puntos de Muestreo | ICA | Criterio General | Calidad del Agua | ICA | Criterio General | Calidad del Agua |
|------------------------|------|------------------|------------------|------|------------------|------------------|
| 1 Bocatoma Pasa-Ambato | 0,64 | Amarillo | Regular | 0,75 | Verde | Aceptable |
| 2 Huachi-Solís | 0,67 | Amarillo | Regular | 0,71 | Verde | Aceptable |
| 3 Manzana de Oro | 0,57 | Amarillo | Regular | 0,73 | Verde | Aceptable |
| 4 Barrio Amazonas | 0,71 | Verde | Aceptable | 0,60 | Amarillo | Regular |
| 5 Montalvo | 0,67 | Amarillo | Regular | 0,76 | Verde | Aceptable |
| 6 Palagua-El Carmen | 0,65 | Amarillo | Regular | 0,71 | Verde | Aceptable |
| 7 La Florida | 0,71 | Verde | Aceptable | 0,67 | Amarillo | Regular |
| 8 Vía San Pedro | 0,61 | Amarillo | Regular | 0,65 | Amarillo | Regular |
| 9 Querochaca | 0,72 | Verde | Aceptable | 0,62 | Amarillo | Regular |
| 10 Totoras | 0,35 | Naranja | Mala | 0,64 | Amarillo | Regular |

4. DISCUSIÓN

La determinación de parámetros microbiológicos refleja el grado de contaminación del canal objeto de estudio, a pesar de lo cual el recurso se puede utilizar en el sector agrícola como agua de riego tomando las precauciones necesarias incorporando algún tratamiento como el proceso en plantas de tratamiento biológico, se puede utilizar también tratamientos químicos pero no son muy recomendables para la agricultura como oxidación térmica, cloración entre otros (Fernández & Teresa, 2017).

La calidad del agua de un recurso hídrico depende del propósito al cual va a ser destinado y será definida por los diferentes parámetros que caracterizan su calidad. Así, para el caso del canal de riego en estudio, tanto la problemática, como los criterios que establecen la calidad, en el uso del agua específicamente para la agricultura están relacionados principalmente con parámetros como la CE, los metales pesados, los nutrientes, los sólidos suspendidos y los patógenos (Narváez Daza, 2021). El ICA se determina a partir de parámetros microbiológicos y fisicoquímicos, y específicamente para el objeto de estudio se definieron aquellos parámetros que reflejen la capacidad recuperadora del efluente tomando en cuenta los resultados de la DQO, DBO5, y los demás criterios de calidad del agua evaluados.

El efecto de las actividades antropogénicas en el canal de riego objeto de estudio es perjudicial para la calidad del recurso hídrico. Los resultados advierten que las aguas no tratadas y los residuos,

procedentes principalmente de actividades domésticas e industriales, son uno de los de las principales causas de riesgo de la calidad del agua en el efluente, lo cual se refleja en la mala calidad obtenida e incumplimiento de los límites máximos permitidos de parámetros fisicoquímicos establecidos por la norma con la cual fueron analizados y comparados. Por lo cual, estos datos indican una acumulación de sustancias tóxicas, sedimentos, sustancias sintéticas, materia orgánica, entre otros, y son reflejados en los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, relacionado principalmente con la descarga constante que no permite la neutralización de los efectos de estos contaminantes de forma natural por el agua del canal. Entonces, la determinación de la Calidad del Agua en un cuerpo de agua está relacionada con la identificación del grado, intensidad o nivel de contaminación que contienen. (Garcés, 2021). Los criterios de calidad aplicables al agua para utilizarla en irrigación o riego se basan tanto en los efectos directos sobre las plantas y los efectos sobre el consumidor final (hombre, animales, etc.) como en las consecuencias sobre el suelo. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que el agua para riego, en la mayoría de los casos, no recibe ningún tratamiento antes de ser aplicada a los cultivos (Rodríguez et al., 2017).

5. CONCLUSIONES

Mediante el análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, fue posible determinar la contaminación antropogénica y la calidad general del agua en diferentes sectores del CRAHP, misma que según los resultados obtenidos, el agua de este sector resulta aceptable para las 2 campañas de monitoreo, siendo estos aptos para el consumo agrícola y afines, teniendo las debidas precauciones, dado que, al presentar la liberación de efluentes provenientes de actividades industriales, domésticas y agrícolas, podría a futuro generar problemas por la contaminación del agua con las zonas cercanas.

Se identificó la presencia de coliformes fecales y *E. coli* en algunos de los puntos de monitoreo del CRAHP a partir de un análisis cualitativo donde se estimó la contaminación microbiana de este tipo. Es decir, este parámetro es un indicador de presencia de contaminación fecal, lo que denota que la calidad del agua es defectuosa, pero puede ser utilizada para la irrigación de cultivos agrícolas y actividades afines tomando las precauciones necesarias, sin embargo, técnicas más precisas para detectar coliformes deberían ser aplicados, ya sea la técnica de los tubos múltiples de fermentación o la técnica de los filtros membrana, los cuales presenten unidades de UFC, o NMP/100 ml.

Se establecieron 10 puntos de muestreo en 2 campañas de monitoreo diferentes donde se recorrió el CRAHP, encontrándose en un rango bajo o ligero para los parámetros de DBO5, DQO, OD, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, dureza alcalina, pH y conductividad, estos indicando que las muestras obtenidas estarán modificadas. Según los parámetros de la normativa ambiental vigente específicamente los Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego, la cual se entiende por agua de uso agrícola aquella empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias que establezcan los organismos competentes dadas en él. Analizados los 10 puntos se observa que alcanzaban en algunas ocasiones a superar los rangos permisibles, pero finalmente están bajo control, sin embargo, si en próximas evaluaciones se elevaba la contaminación de este efluente, tener claro que podría afectar la salud de los seres vivos.

Se evaluó el ICA donde los resultados obtenidos fueron representados a través de una clasificación de colores. Se obtuvo una clasificación de la calidad de agua verde en los cuales se encontraron en un rango aceptable mayor a 0,71. Mientras que, para otros puntos de muestreo presentaron un rango regular representado de amarillo entre un rango de 0,51 – 0,70.

Se debe tener en cuenta que, un valor de ICA bajo únicamente permite asociar la presencia de una determinada especie, a una condición general, y no a una problemática de contaminación específica. Por esta razón, se deben utilizar técnicas complementarias como el empleo de otros indicadores de calidad en sentido ecológico que permiten precisar problemas ambientales, así como profundizar en la identificación de especies con potencial indicador.

Contribuciones de los autores: “Conceptualización, Lander Pérez y Esteban Chávez; metodología, Lander Pérez y Esteban Chávez; validación, Lander Pérez y Esteban Chávez.; análisis formal, Lander Pérez y Esteban Chávez; investigación, Lander Pérez y Esteban Chávez; redacción-revisión y edición, Lander Pérez y Esteban Chávez. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito

Financiamiento: “Esta investigación no recibió financiamiento externo”

REFERENCIAS

- Almachi Quinatoa, E. R. (2023). Estudio de la influencia de contaminantes antropogénicas en las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de riego del canal Ambato-Huachi–Pelileo, en la provincia de Tungurahua. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas
- Baque-Míte, R., Simba-Ochoa, L., González-Ozorio, B., Suatunce, P., Diaz-Ocampo, E., & Cadme-Arevalo, L. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 9(20), 109-117.
- Becerra Moreno, D., & Cárdenas-Gutiérrez, J. A. (2023). Causas y consecuencias de la contaminación de aguas.
- Calero, A. (2023). Caracterización de la relación DQO (Demanda Química de Oxígeno) /DBO₅, 20 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) en los efluentes líquidos residuales de industrias localizadas en Montevideo como método de “screening” rápido para determinar la eficiencia en el tratamiento de los mismos.
- Carabajo Merchán, A. X. (2022). Determinación de coliformes fecales y *Escherichia coli* en el agua del canal de riego del recinto La Puntilla, cantón La Troncal, Ecuador. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil.
- Cedeño Santos, A. P., & Romero Moreno, B. D. (2021). Determinación de la calidad del agua por bioindicadores (macroinvertebrados) en el Río Aláquez, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, periodo 2020–2021. Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).

- Criollo Tisalema, W. A. (2023). Estudio y caracterización hidráulica del óvalo 1 al óvalo 4 del canal de riego Ambato-Huachi-Pelileo, cantón Ambato, provincia de Tungurahua. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica
- Cuvi Vásquez, M. A., & Ruiz Hernández, D. A. (2022). Evaluación de la calidad del agua para riego en las épocas seca y lluviosa de los canales Alumis, Norte, Jiménez Cevallos, Belisario Quevedo, La Martínez y el río San Juan de Patoa, ubicados en la provincia de Cotopaxi, período 2021-2022. Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).
- Espinoza Macias, J. D., & Sánchez Loaiza, D. S. (2022). Concentración de coliformes fecales, *Escherichia coli*, en agua y sedimentos en el canal del Ingenio de la Junta de Riego Manuel J Calle en el cantón La Troncal, Provincia Cañar. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil.
- Garcés Alvear, M. F. (2021). Efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas del río Ambato. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas
- Guachamín Zambrano, S. N. (2021). Estudio de la influencia de las fuentes antropogénicas sobre la calidad del agua de la cuenca media y baja del río Ambato. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos
- Huerta Lozada, J. L. (2023). Análisis de la aplicabilidad del índice de calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales (ICARHS) en la evaluación de la calidad de agua de la cuenca del río Tambo.
- Ilaño Laura, Í. M. (2015). La ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua y la contaminación del río Ambato.
- Lamingo Llumiquinga, J. P., & Moreno Garzón, V. N. (2014). Análisis del comportamiento del oxígeno disuelto y la demanda química de oxígeno en tres puntos (Lasso, Latacunga, Salcedo) del río Cutuchi, en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, periodo 2013-2014. LATACUNGA/UTC/2014.
- Mayta Flores, M. E., & Quispe Gómez, B. Y. (2023). Validación de un método para Coliformes Totales y *Escherichia coli* utilizando el medio de cultivo comercial cromogénico CCA (AGAR para Coliformes Chromocult), en quesos no madurados, 2023.
- Morales-Fiallos, F., Narváez, L. M., Núñez-Aldás, G., Paredes-Cabezas, G., & Hechavarría, R. (2022). Filtro con elementos de bagazo de caña de azúcar para el tratamiento de aguas residuales de lavadoras de autos en la ciudad de Ambato, Ecuador. *Tecnología y ciencias del agua*, 13(5), 365-395.
- Morán, E. S. H., Mora, F. C., García, E. L., & Uvidia, M. (2022). Evaluación de la calidad de agua en el sistema de riego Cedege, Babahoyo Ecuador. *Journal of Science and Research*, 7(CININGEC II), 147-160.

- Narváez Daza, E. J. (2021). Manual metodológico de monitoreo para la evaluación de la calidad del agua utilizando el Índice de calidad del agua (ICA) en los jagüeyes del municipio de sabanas de san ángel (magdalena).
- Navarro García, G. (2023). Fertilizantes. Química y acción: Ediciones Mundi-Prensa.
- Quingaluisa Parra, R. E. (2019). Cuantificación de indicadores de contaminación fecal en ríos y canales de agua de riego de cinco provincias del Ecuador. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos
- Ramalho, R. S. (2021). Tratamiento de aguas residuales: Reverté.
- Rice, E. W., Bridgewater, L., & Association, A. P. H. (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater (Vol. 10): American public health association Washington, DC.
- Rodríguez, R., Retamozo-Chavez, R., Aponte, H., & Valdivia, E. (2017). Evaluación microbiológica de un cuerpo de agua del ACR Humedales de Ventanilla (Callao, Perú) y su importancia para la salud pública local. *Ecología Aplicada*, 16(1), 15-21.
- Telenchana Vargas, J. A. (2019). Determinación del PH del Agua de Riego para Pastos Proveniente del Canal Latacunga–Salcedo–Ambato y propuesta de regulación. Ecuador, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).
- Zajia, B., & Stalin, L. (2018). Calibración del índice de calidad del agua (ICA) para la cuenca hidrográfica del Río Paute, región sur interandina del Ecuador, basado en el acuerdo ministerial 097-a/2015 DEL Ministerio del Ambiente (MAE).