

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS SUBCUENCAS ACHAMAYO Y SHULLCAS (JUNÍN-PERÚ) UTILIZANDO EL ÍNDICE DE CALIDAD CCME

WATER QUALITY EVALUATION OF THE ACHAMAYO AND SHULLCAS SUB-BASINS (JUNÍN-PERÚ) USING THE CCME QUALITY INDEX

Milagros Gutiérrez Vilela¹ y Wilfredo Celestino Baldeón Quispe²

Resumen

Los ríos y quebradas, en la mayoría de casos, son utilizados como cuerpo receptor de los vertimientos municipales, que, sin el debido tratamiento, genera problemas de contaminación del agua. En las áreas de estudio de esta investigación, se tiene información de los monitoreos de calidad del agua publicadas por la Autoridad Nacional del Agua, donde los resultados no son muy comprensibles para una población que no conoce del tema. Los Índices de Calidad del Agua (ICA) son una de las herramientas más utilizadas para evaluar la calidad del agua, ya que resumen los datos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de una manera sencilla y de fácil comprensión. El objetivo de esta investigación fue realizar la evaluación de los ICA en las subcuencas Achamayo y Shullcas a través de la metodología canadiense CCME-WQI (The Canadian Council of Ministers of the Environment - Water Quality Index). Para ello, se utilizaron los datos de los reportes de monitoreo de la calidad del agua de los años 2015 al 2020, los vertimientos municipales e información geoespacial de los ríos y cuencas. La subcuenca Shullcas obtuvo un resultado del ICA de 46.2 que corresponde a una calidad de agua “marginal”, este resultado es consecuencia de las altas concentraciones de coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*, mientras que la subcuenca Achamayo obtuvo un ICA-CCME de 67.8, que corresponde a una calidad “regular”, llegando a la conclusión que la subcuenca Shullcas es la más impactada por los vertimientos municipales, por lo que se recomienda construir plantas de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados o biorreactores de lecho móvil MBBR.

Palabras clave: vertimientos municipales, contaminación de ríos, índice de calidad de agua CCME, subcuenca Achamayo Junín y Shullcas Junín.

Abstract

Rivers and streams, in most cases, are used as a receiving body for municipal waste, which, without proper treatment, generates water pollution problems. In the study areas of this research, there is information from water quality monitoring published by the National Water Authority, where the results are not very understandable for a population that does not know about the subject. Water Quality Indices (WQI) are one of the most used tools to evaluate water quality, since they summarize the data on the physicochemical and microbiological parameters in a simple and easy-to-understand way. The objective of this research was to carry out the evaluation of the ICA in the Achamayo and Shullcas sub-basins through the canadian methodology CCME-WQI (The Canadian Council of Ministers of the Environment - Water Quality Index). For this, data from water quality monitoring reports from 2015 to 2020, municipal discharges and geospatial information from rivers and basins were used. The Shullcas sub-basin obtained an AQI result of 46.2, which corresponds to a “marginal” water quality; this result is a consequence of the high concentrations of thermotolerant coliforms and *Escherichia coli*, while the Achamayo sub-basin obtained an AQI-CCME of 67.8, which corresponds to a “regular” quality, reaching the conclusion that the Shullcas subbasin is the most impacted by municipal discharges, which is why it is recommended to build wastewater treatment plants with activated sludge technology or MBBR moving bed bioreactors.

Key words: municipal discharges, contamination of rivers, CCME water quality index, Achamayo Junín and Shullcas Junín sub-basin.

Introducción

El crecimiento económico y demográfico está generando una presión ambiental sobre los recursos naturales (González-Val & Pueyo, 2019); entre ellos, el agua superficial donde proviene el agua dulce que consume la población, el cual es una matriz que corre riesgo de contaminación (Van Winckel *et al.*, 2021). La inadecuada gestión de los residuos sólidos, y los

vertimientos directos de las aguas residuales, se han convertido en la principal fuente de contaminación de los ríos (Wan & Wang, 2021).

El diagnóstico del plan de gestión de recursos hídricos de la cuenca del río Mantaro (Perú) reporta que, uno de los principales problemas que afectan la calidad del agua es la inadecuada gestión y disposición de las aguas residuales de origen poblacional (ANA,

2020); a su vez, generan una alteración de los parámetros físicos, químicos y biológicos que los alejan de los valores máximos permitidos de contaminantes en el agua de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua del Perú (MINAM, 2017). Otro de los problemas que acontece es la escasa sensibilización y divulgación de la información del estado de las fuentes de agua (ANA, 2020).

Los Índices de Calidad de Agua (ICA) se perfilan como una herramienta para evaluar la calidad del agua y reducir las brechas de divulgación de la información y sensibilización, ya que resume los datos de los reportes de monitoreo, facilitando la interpretación para una audiencia no especializada (Valcarcel *et al.*, 2008). El Índice de Calidad del Agua del Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente, conocido por sus siglas en inglés como CCME-WQI, es uno de los más empleados para la evaluación de la calidad del agua superficial; desde el año 2006 ha sido recomendado para su aplicación por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (Yotova *et al.*, 2021) por ser una herramienta flexible y adaptable que puede ser utilizada en diversas regiones del mundo.

En la cuenca del río Ganges (India) se evaluó la calidad del agua utilizando el ICA. Los resultados indicaron que la calidad del agua de la parte alta hasta la parte baja fluctúa entre “excelente” a “buena”; sin embargo, la descarga continua de contaminantes podría disminuir la capacidad de auto purificación del río (Dimri *et al.*, 2021).

En el río Joanes (Brasil) se aplicó el CCME-WQI en tres secciones del río, la evaluación de la calidad fue entre “muy mal” y “regular”; la principal fuente de contaminación fueron los vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales y la presencia de residuos sólidos (Almeida de & Oliveira de, 2018).

Gikas *et al.* (2020) realizaron una evaluación comparativa del estado químico del río Nestos (Grecia), basada en los métodos WFD-MEEG y CCME-WQI; los resultados basados en la metodología WFD-MEEG determinaron que la calidad del agua del río principal era “buena” mientras que con la evaluación del CCME-WQI variaba entre “marginal” a “buena”. En el río Dulce (Guatemala), Robledo (2022) determinó la calidad del agua utilizando el CCME-WQI, concluyendo de forma general que las aguas de este río están calificadas como “regular”. En el Perú, Choque-Quispe *et al.* (2021) aplicó el ICA-Dinius (Índice de Calidad del Agua) en la microcuenca altoandina del río Chumbao en Andahuaylas, los resultados fueron que los puntos ubicados en la cabecera de cuenca se encontraban en una calidad “excelente” y en su recorrido varía de una calidad “aceptable” a “excesivamente contaminado”. En esta investigación se realizó el cálculo del ICA de las subcuencas Achamayo y Shullcas a través del método CCME-WQI con información de los reportes de monitoreo de calidad del

agua registrados durante los años 2015 al 2020. Los objetivos específicos fueron: (1) Analizar la información del monitoreo de la calidad de agua del período 2015-2020 de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), (2) Determinar el ICA de las subcuencas Shullcas y Achamayo por influencia de los vertimientos de las aguas residuales municipales en época de estiaje y avenida en el período 2015-2020, y (3) Plantear propuestas de mejora para la gestión de la calidad del agua de las subcuencas Achamayo y Shullcas.

Este trabajo permitirá conocer el nivel de contaminación de los ríos y reducir las brechas de acceso a la información de manera entendible (Damania *et al.*, 2019). Asimismo, generará antecedentes para diferentes estudios que se puedan desarrollar en el sector agua y saneamiento; también permitirá que diferentes actores y tomadores de decisiones puedan orientar políticas de manejo para la conservación de los recursos hídricos (Gil-Marín *et al.*, 2018).

Materiales y métodos

Las subcuencas Achamayo y Shullcas (también denominados como unidades hidrográficas menores) se encuentran ubicadas en el departamento de Junín – Perú, abarcando las provincias de Jauja, Concepción, Huancayo y Chupaca. Pertenecen a la cuenca del río Mantaro y la codificación de acuerdo al método Pfasstetter es de 499691 (nivel 6) y 49967 (nivel 5) respectivamente (ANA, 2015). Los nombres de estas subcuencas provienen de la denominación de sus ríos principales. En las Figuras 1 y 2 se presentan los mapas de ubicación de las subcuencas estudiadas.

Adquisición de datos

Los datos del monitoreo de calidad del agua y de las fuentes contaminantes fueron obtenidos del Observatorio Nacional de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua, los cuales son de libre acceso (ANA, s.f.).

Puntos de muestreo

Los puntos de muestreo se obtuvieron de la red de monitoreo establecida por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en la cuenca del río Mantaro, los cuáles se encuentran en el Observatorio Nacional de Recursos Hídricos (Tabla 1).

Las subcuencas Huari y Pachacayo están limitando con la subcuenca Achamayo, por lo que fue necesario considerar los puntos de muestreo que están ubicados a la salida de las subcuencas vecinas y que a la vez ingresan a nuestra subcuenca de estudio. Esto permitirá conocer la calidad con la que están ingresando sus aguas, del mismo modo, sucede con el punto de muestreo ubicado a la salida de la subcuenca del Cunus, donde sus aguas ingresan a la subcuenca Shullcas.

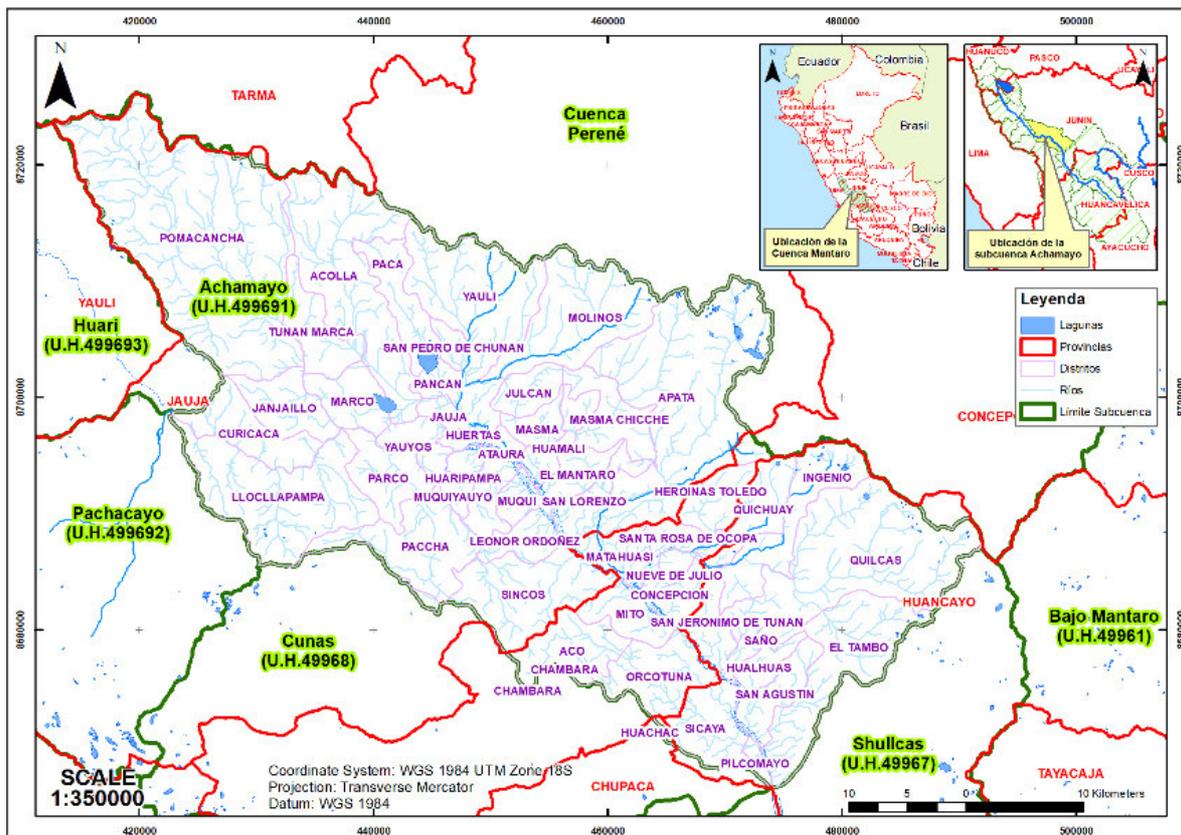


Figura 1. Mapa de ubicación de la subcuenca Achamayo.

Categoría de ríos

De acuerdo a la Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA y a la tercera disposición complementaria transitoria del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, los ríos de las subcuencas de estudios se clasifican en la Categoría 3-D1, Categoría 4-E2 y Categoría 1-A2 (ANA, 2018; MINAM, 2017).

Según el MINAM (2017), la Categoría 3 subcategoría D1 (Categoría 3-D1) correspondería a las aguas utilizadas para el riego de cultivos vegetales; la Categoría 4 subcategoría E2 (Categoría 4-E2) correspondería a ríos y sus afluentes que se encuentren por encima de los 600 msnm; mientras que la Categoría 1 subcategoría A2 (Categoría 1-A2) son aquellas aguas que pueden ser potabilizadas para el consumo humano.

En la Tabla 2 se presentan las categorías de los ríos de las subcuencas Achamayo y Shullcas.

Parámetros de evaluación

A continuación, en la Tabla 3 se presentan los parámetros de evaluación a considerar.

Número de orden de ríos

El número de orden de ríos se realizó mediante el método de Strahler que menciona lo siguiente: Los ríos que no reciben tributarios tienen asignado el orden 1; cuando confluyen dos ríos de orden 1, forman un río de orden 2; cuando lo hacen dos ríos de orden 2 forman otro de orden 3, y así sucesivamente. De manera

general, cuando dos corrientes de orden w se unen, resulta una corriente de orden $w+1$. La confluencia de dos ríos de diferente orden genera un curso que mantiene el orden del mayor de los confluentes (Mesa, 2018). El número de orden de ríos nos ayudará a tener una noción de la dimensión de los cuerpos de agua para que, de esta manera, podamos obtener una idea de la capacidad asimiladora de los ríos que podría influir en la evaluación de la calidad del agua.

Se descargó gratuitamente el ASTER Global Digital Elevation Map proporcionado por el geoservidor del MINAM para establecer la dirección de flujo. Por medio del “Spatial Analyst Tools” se hizo el uso de la herramienta “Hydrology” y lo contenido dentro de ella como Fill, Hillshade, Flow Direction, Flow Accumulation, Stream Order y Stream to Feature, para determinar la jerarquía de orden de ríos.

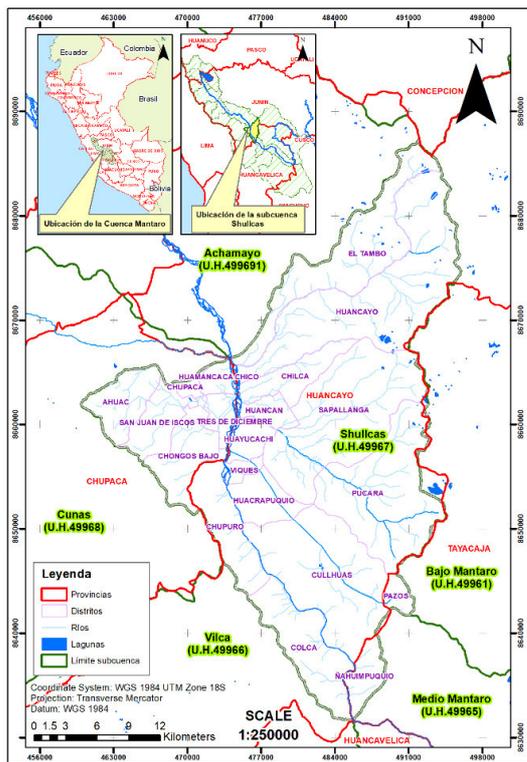


Figura 2. Mapa de ubicación de la subcuenca Shullcas.

Tabla 1. Puntos de muestreo de las subcuencas Achamayo y Shullcas

Sub-cuenca	Puntos de muestreo	UTM WGS 84 Zona 18 L	
		Este (m)	Norte (m)
Achamayo	RMant11	422831	8698467
	RMant12	446138	8694663
	RMant13	464563	8680918
	RMant14	473270	8668692
	RMant15	473529	8668081
	RMant16	473874	8667464
Huari	RChia1	474340	8687246
	RChia2	471466	8686244
Pachacayo	RAcha1	464943	8681069
	RMant10	422743	8699253
Shullcas	RPach1	422221	8698584
	RMant17	474284	8665745
	RMant18	474537	8664958
	RMant19	473680	8654812
	RShul2	474843	8665712
	RChan1	475597	8660727
Cunas	RShul1	484115	8673070
	RCuna2	473413	8666502

Nota: Adaptado del Observatorio Nacional de Recursos Hídricos (ANA, s.f.).

Tabla 2. Categoría de ríos de la subcuenca Achamayo y Shullcas.

Subcuenca	Cuerpo de agua	Punto	Categoría
Achamayo	Río Mantaro	RMant11	Categoría 3-D1
Achamayo	Río Mantaro	RMant12	Categoría 3-D1
Achamayo	Río Mantaro	RMant13	Categoría 3-D1
Achamayo	Río Mantaro	RMant14	Categoría 3-D1
Achamayo	Río Mantaro	RMant15	Categoría 3-D1
Achamayo	Río Mantaro	RMant16	Categoría 3-D1
Achamayo	Río Chia	RChia1	Categoría 3-D1
Achamayo	Río Chia	RChia2	Categoría 3-D1
Achamayo	Río Achamayo	RAcha1	Categoría 3-D1
Huari	Río Mantaro	RMant10	Categoría 3-D1
Pachacayo	Río Pachacayo	RPach1	Categoría 4-E2
Shullcas	Río Mantaro	RMant17	Categoría 3-D1
Shullcas	Río Mantaro	RMant18	Categoría 3-D1
Shullcas	Río Mantaro	RMant19	Categoría 3-D1
Shullcas	Río Shullcas	RShul2	Categoría 3-D1
Shullcas	Río Chanchas	RChan1	Categoría 3-D1
Shullcas	Río Shullcas	RShul1	Categoría 1-A2
Cunas	Río Cunas	RCuna2	Categoría 3-D1

Nota: Adaptado del Observatorio Nacional de Recursos Hídricos (ANA, s.f.).

Tabla 3. Parámetros de evaluación a considerar.

Categoría	Parámetros a evaluar
Categoría 3-D1 (Riego de vegetales)	Aceites y grasas, conductividad eléctrica, DBO5, DQO, detergentes SAAM, nitritos-N, oxígeno disuelto, pH, coliformes termotolerantes y <i>Escherichia coli</i> .
Categoría 1-A2 (Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional)	pH, aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO5, DQO y fósforo.
Categoría 4-E2 (Ríos de la costa y sierra)	DBO5, oxígeno disuelto, coliformes termotolerantes, conductividad eléctrica, pH, aceites y grasas, DBO5, fósforo y nitrógeno total.

DBO5: Demanda Bioquímica de Oxígeno; DQO: Demanda Química de Oxígeno; SAAM: Sustancias Activas al Azul de Metileno.

CCME-WQI (CCME Water Quality Index)

Según el CCME (2017), el índice se calculó mediante la aplicación de la Fórmula 1.

$$\text{CCME - WQI} = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \right)$$

Fórmula 1

Donde:

F1 (Alcance): Porcentaje de parámetros que no cumplen los valores establecidos por la normatividad (Fórmula 2).

$$F_1 = \left(\frac{\text{Número de variables fallidas}}{\text{Número total de variables}} \right) \times 100$$

Fórmula 2

F2 (Frecuencia): Porcentaje de datos que no cumplen la normatividad (Fórmula 3).

$$F_2 = \left(\frac{\text{Número de pruebas fallidas}}{\text{Número total de pruebas}} \right) \times 100$$

Fórmula 3

F3 (Amplitud): Es el cálculo del exceso de todos los datos respecto al número total de datos (Fórmula 4).

$$F_3 = \left(\frac{\text{nse}}{0.01\text{nse} + 0.01} \right)$$

Fórmula 4

El cálculo de la amplitud se realiza de acuerdo a la suma normalizada de excedentes (nse), tal cual se muestra en la Fórmula 5.

$$\text{nse} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{excedentes}_i}{\# \text{ de test}}$$

Fórmula 5

Caso 1: Cuando el valor de concentración del parámetro supera lo establecido en la normatividad (Fórmula 6).

$$\text{excedentes}_i = \left(\frac{\text{Valor de la prueba fallida}_i}{\text{Objetivo}_j} \right) - 1$$

Fórmula 6

Caso 2: Cuando el valor de la concentración del parámetro es menor al valor establecido en el estándar de calidad del agua. Como ejemplo se tiene el oxígeno disuelto con un resultado de 3.59 mg·l⁻¹ en el punto A, el ECA-Agua indica que los valores deseables deben ser mayores a 4 (> 4) por lo que nuestro resultado de 3.59 mg·l⁻¹ en dicho punto, estaría incumpliendo lo

señalado en el ECA, el cálculo del excedente se realiza mediante la aplicación de la Fórmula 7.

$$\text{excedentes}_i = \left(\frac{\text{Objetivo}_j}{\text{Valor de la prueba fallida}} \right) - 1$$

Fórmula 7

Al obtener el resultado cuantitativo del CCME-WQI, este se califica de acuerdo al rango que aparece en la Tabla 4, asimismo, se describe la interpretación de cada calificación que se obtiene por estación o punto de muestreo.

Tabla 4. Interpretación y descripción del Índice de Calidad del Agua CCME.

Calificación	Interpretación
Excelente (E) (95-100)	La ausencia de amenazas o daños permite que la calidad del agua esté protegida . Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.
Buena (B) (80-94)	La calidad del agua está protegida con un grado menor de amenaza o daños de menor magnitud; las condiciones rara vez se apartan de los niveles naturales o deseables.
Regular (R) (65-79)	La calidad del agua suele estar protegida , pero en ocasiones se ve amenazada o dañada; las condiciones a veces se apartan de los niveles deseables del estándar de calidad.
Marginal (M) (45-64)	La calidad del agua a menudo no cumple con los objetivos deseables , frecuentemente se ve amenazada o dañada.
Pobre (P) (0-44)	La calidad del agua no cumple con los objetivos deseables , siempre está amenazada o dañada.

Nota: Información obtenida de las directrices para la protección de la vida acuática (CCME, 2017).

Resultados y discusiónEvaluación de resultados del monitoreo de calidad de agua en el periodo 2015-2020

SUBCUENCA ACHAMAYO

Los puntos de muestreo: RAcha1, RChia2, RMant12, RMant14, RMant15 y RMant16 presentan resultados elevados de *E. coli* y coliformes termotolerantes respecto al valor deseable indicado en el ECA-Agua 2017 (MINAM, 2017) de 1 000 NMP·10⁻²·ml⁻¹ para ambos parámetros (Tabla 5 al final del artículo). El punto RMant10 (ubicado a la salida de la subcuenca del río Huari) contiene concentraciones elevadas de *E. coli* y coliformes termotolerantes, las cuales ingresan a la subcuenca de estudio (Tabla 6 al final del artículo). El punto RPach1, ubicada dentro de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas, también desemboca en la subcuenca de estudio sin algún indicio

de contaminación según los resultados (Tabla 7 al final del artículo).

SUBCUENCA SHULLCAS

Los puntos de muestreo: RMant17, RMant18, RChan1 y RMant19 tienen resultados elevados de *E. coli* y coliformes termotolerantes respecto a los valores deseables del ECA Agua Categoría 3-D1 (Tabla 8 al final del artículo). El punto de muestreo RShul2 es el más crítico porque, aparte de tener resultados elevado en los parámetros microbiológicos, también se le suma la DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno) y SAAM que exceden los valores deseables del ECA-Agua Categoría 3, caso contrario sucede con el punto de muestreo RShul1, ubicado en la parte alta de la subcuenca, donde los resultados no exceden el ECA-Agua Categoría 1 (poblacional y recreacional), a excepción del Fósforo Total en el año 2019, que tiene una ligera excedencia (Tabla 9 al final del artículo). El punto de muestreo RCuna2 (ubicado a la salida de la subcuenca del río Cunas) contiene valores de pH que exceden la normativa y aporta concentraciones de *E. coli* y

coliformes termotolerantes, debido a que existen poblaciones extensas en la parte media y baja de la subcuenca del río Cunas. Esto guarda relación con el estudio realizado por Carneiro *et al.* (2021) donde determinó que el río Caeté (Brasil) tiene altas concentraciones de bacterias patógenas como coliformes termotolerantes y *E. coli*, provocadas por la falta de un sistema de saneamiento público.

Resultados de la IFC (Identificación de Fuentes Contaminantes)

De acuerdo a las fuentes contaminantes identificadas por la Autoridad Nacional del Agua entre los años 2018-2020, en la subcuenca Achamayo, se tiene un registro de 39 vertimientos de aguas residuales municipales, los cuales están representados en la Figura 3 por medio de la distribución espacial de puntos en el entorno de la subcuenca. En la subcuenca Shullcas se tiene un registro de 49 vertimientos de aguas residuales municipales, los cuales se pueden visualizar en la Figura 4 a través de la distribución espacial en el ámbito de la subcuenca de estudio.

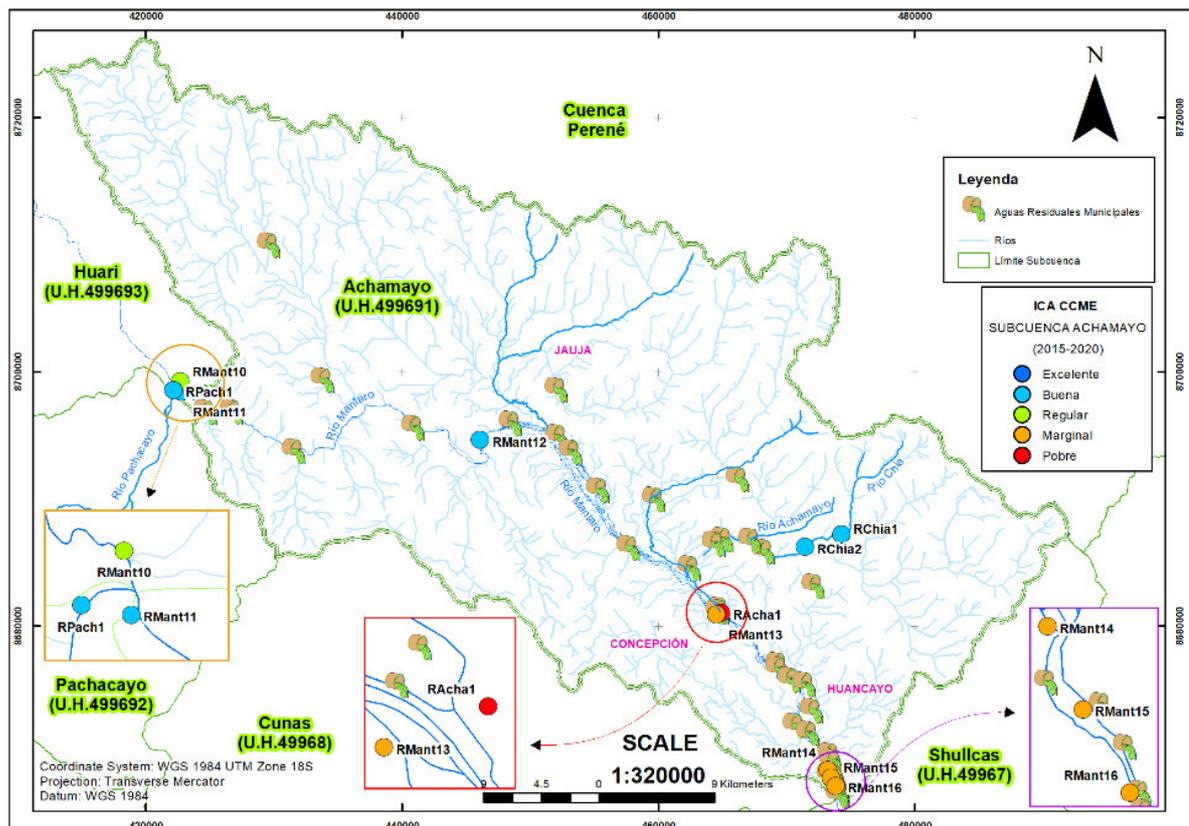


Figura 3. Distribución espacial de los resultados de los índices de calidad del agua en la subcuenca Achamayo.

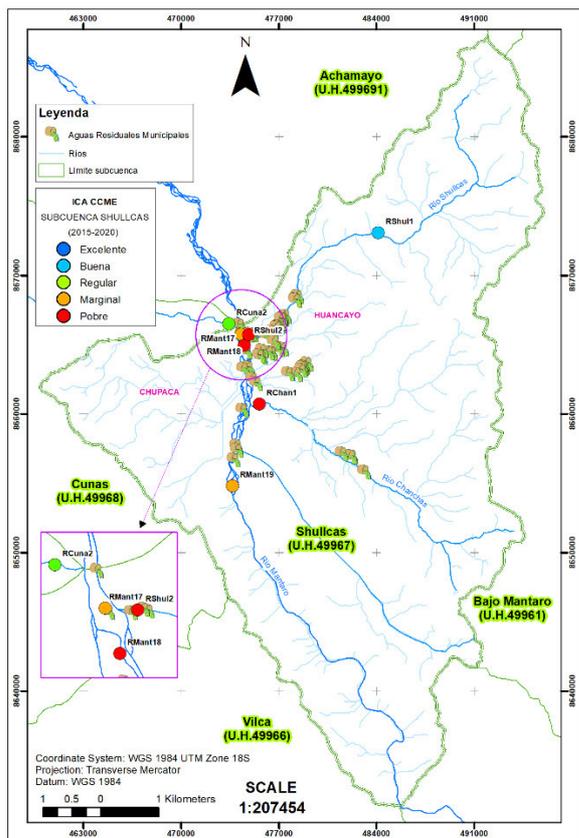


Figura 4. Distribución espacial de los resultados de los índices de calidad del agua en la subcuenca Shullcas.

Número de orden de ríos

En la Tabla 10 se muestra el número de orden de ríos obtenidos mediante el método de Strahler.

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 10, el río Mantaro es el que tiene un orden de 6, siendo el de mayor orden y el cuerpo de agua que recibe toda la carga de los ríos de ordenes menores. El río Chia es el de menor orden y que se relaciona a un caudal más bajo con respecto al río Mantaro.

Evaluación del cálculo del ICA- CCME

A continuación, se presentan los resultados del cálculo del ICA utilizando el método del CCME en las subcuencas Achamayo (Tabla 11) y Shullcas (Tabla 12). La distribución espacial de los resultados se ICA se muestran en la Figura 3 y Figura 4.

En la subcuenca Achamayo, según los resultados de la Tabla 11, el punto RAcha1 obtuvo una calificación de “pobre” y el mismo comportamiento se tiene en las temporadas de estiaje y avenida. Este resultado se debe a que los parámetros de *E. coli* y coliformes termotolerantes excedieron los ECA-Agua Categoría 3-D1 en los 6 años de evaluación y los parámetros de aceites y grasas, detergentes y pH en 1 año de evaluación; aguas arriba de este punto se encuentran 2 vertimientos de aguas residuales municipales a menos de 500 metros de acuerdo a lo presentado en la

Figura 3; el número de orden Strahler para el río Achamayo corresponde a 3, lo cual nos indica que es un cuerpo de agua con las dimensiones de un caudal bajo. Cabe señalar que Tejeda (2021) halló el caudal medio anual del río Achamayo obteniendo un valor de $2.49 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, que puede permitir una mayor concentración de la carga contaminante. El punto evaluado se encuentra ubicado en el distrito de Concepción con una población de 15 428 ha. En la parte alta de esta subcuenca están los puntos RChia1 y RChia2 donde ambos tienen una calificación de “bueno”. Esta evaluación tiene similitud con la investigación realizada por Dimri *et al.* (2021) que realizó el cálculo del ICA en el río Ganges (India), donde los resultados de la parte alta y baja disminuyen de “excelente” a “bueno” debido a la contaminación con coliformes totales en la parte baja de la cuenca provenientes de las actividades antropogénicas. Este resultado también es coincidente con el trabajo de Choque-Quispe *et al.* (2021) que aplicó el ICA-Dinius en la microcuenca altoandina del río Chumbao en Andahuaylas, los resultados fueron que los puntos ubicados en la cabecera de cuenca se encontraban con una calidad “excelente” y en su recorrido varía de “aceptable” a “excesivamente contaminado”.

Tabla 10. Número de orden de ríos de las subcuencas de estudio.

Subcuenca	Punto de muestreo	Orden	Cuerpo de agua
Huari	RMant10	6	Río Mantaro
	RPach1	4	Río Pachacayo
Pachacayo	RMant11	6	Río Mantaro
	RMant12	6	Río Mantaro
	RMant13	6	Río Mantaro
	RChia1	2	Río Chia
	RChia2	2	Río Chia
	RAcha1	3	Río Achamayo
	RMant14	6	Río Mantaro
Achamayo	RMant15	6	Río Mantaro
	RMant16	6	Río Mantaro
	RMant19	6	Río Mantaro
Cunas	RCuna2	5	Río Cunas
	RMant17	6	Río Mantaro
Shullcas	RShul1	3	Río Shullcas
	RShul2	3	Río Shullcas
	RMant18	6	Río Mantaro
	RChan1	3	Río Chanchas
	RMant19	6	Río Mantaro

En la subcuenca Shullcas, según los resultados de la Tabla 12, los puntos que obtuvieron calificación de "pobre" fueron: RShul2, RMant18 y RChan1, los cuales se encuentran ubicados en la zona urbana de los distritos de El Tambo, Huancayo y Huancán, con una población de: 166 359 ha 119 993 ha y 24 830 hab. respectivamente. El punto RShul2 es el más crítico de todos con una calificación de “pobre”, debido a que aguas arriba recibe las descargas de 17 vertimientos de

aguas residuales municipales (Figura 4), ocasionando que los parámetros microbiológicos excedan los ECA Agua Categoría 3-D1 (riego de vegetales) en todas las campañas de monitoreo; estos resultados son coincidentes con Nhantumbo *et al.* (2023), donde los resultados de su investigación mostraron elevadas concentraciones de coliformes totales y *E. coli* en las zonas ubicadas a la salida de las aguas residuales de la cervecera, los sistemas de drenajes y asentamientos informales con un sistema de saneamiento muy limitado. La misma situación ocurre en el río Joanes (Brasil), donde Almeida de & Oliveira de (2018) aplicaron el CCME-WQI en tres secciones del río, durante el periodo 2008 al 2011, los resultados variaron entre “muy mal”, “regular” y “malo”; la principal fuente de contaminación fueron los vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales y la presencia de residuos sólidos. El número de orden del río Shullcas corresponde al orden 3, por lo que tiene características de un cuerpo de agua con bajo caudal, lo cual favorece a que haya una menor dilución de la carga contaminante especialmente en temporada de estiaje.

Tabla 11. Cálculo del ICA CCME de la subcuenca Achamayo.

Subcuenca	Punto	Orden	Estiaje	Avenida	Todas las épocas
			Valor/ CCME-WQI	Valor/ CCME-WQI	Valor/ CCME-WQI
Huari	RMant10	6	80 / B	83 / B	79 / R
Pacha-cayo	RPach1	4	100 / E	81 / B	86 / B
Achamayo	RMant11	6	93 / B	87 / B	87 / B
	RMant12	6	86 / B	84 / B	85 / B
	RMant13	6	46 / M	81 / B	55 / M
	RChia1	2	94 / B	94 / B	94 / B
	RChia2	2	93 / B	81 / B	81 / B
	RAcha1	3	39 / P	39 / P	37 / P
	RMant14	6	45 / M	54 / M	49 / M
	RMant15	6	47 / M	56 / M	52 / M
RMant16	6	67 / R	49 / M	52 / M	
Promedio subcuenca Achamayo			67.78 / R	69.44 / R	65.8 / R
Calificación (CCME, 2017)	Excelente (95-100)	Buena (80-94)	Regular (65-79)	Marginal (45-64)	Pobre (0-44)

El punto RMant18 (ubicado en el río Mantaro) tiene una calificación de “pobre” porque aguas arriba recibe toda la carga contaminante del río Shullcas y la de 1

vertimiento de agua residual municipal. En el punto RChan1 no se encontraron vertimientos municipales aguas arriba, sin embargo, se obtuvo una calificación de “pobre”. Asimismo, Aylas-Quispe *et al.* (2021) evidenciaron que el río Chanchas es el que tiene una mayor concentración de contaminantes, debido a que los valores de las mediciones de pH salieron más elevados que los otros puntos de medición en los ríos Chilca, Shullcas y Mantaro; además, los autores del estudio argumentan que, en los mencionados ríos, la mayor actividad antrópica proviene del vertido de residuos sólidos y de aguas residuales domésticas (incluyendo las del lavado de ropa), manteniéndolos con una mala calidad. Muchos de estos aspectos ambientales contienen compuestos como carbonatos, bicarbonato, sulfatos, cloruros, entre otros. El comportamiento conjunto de alcalinidad, sulfatos y cloruros afecta significativamente el valor de pH en el agua de río (García *et al.*, 2019).

Tabla 12. Cálculo del ICA CCME de la subcuenca Shullcas.

Subcuenca	Punto	Orden	Estiaje	Avenida	Todas las épocas
			Valor/ CCME WQI	Valor/ CCME WQI	Valor/ CCME WQI
Cunas	RCuna2	5	75 / R	78 / R	77 / R
Shullcas	RMant17	6	44 / P	46 / M	45 / M
	RShul1	3	84 / B	100 / E	92 / B
	RShul2	3	18 / P	23 / P	19 / P
	RMant18	6	34 / P	35 / P	32 / P
	RChan1	3	41 / P	51 / M	44 / P
	RMant19	6	56 / M	45 / M	45 / M
Promedio Subcuenca Shullcas			46.17 / M	50 / M	46.2 / M
Calificación (CCME, 2017)	Excelente (95-100)	Buena (80-94)	Regular (65-79)	Marginal (45-64)	Pobre (0-44)

Propuestas de mejora

De acuerdo a la evaluación de resultados de los monitoreos de calidad del agua en las subcuencas Achamayo y Shullcas, sus ríos se caracterizan por tener altas concentraciones de coliformes, por lo que se recomienda construir plantas de tratamiento de aguas residuales en los distritos de El Tambo, Huancayo, Chilca y Huancán, que cuentan con poblaciones extensas. Algunas tecnologías de plantas de tratamiento recomendadas son los biorreactores de lecho móvil MBBR y los lodos activados de aireación extendida. El sistema MBBR es eficiente en los procesos de degradación de materia orgánica, acelerando el proceso de tratamiento, obteniendo un efluente de buena

calidad. Este tipo de sistemas son compactos y se pueden adaptar a cualquier tamaño de planta (Reyes, 2020). Los procesos de lodos activados de aireación extendida es uno de los más utilizados para el tratamiento de las aguas residuales municipales (Noyola *et al.*, 2013). Estos tratamientos tienen altos costos operativos y de inversión (Tilley *et al.*, 2018), sin embargo, es lo más recomendable para las zonas urbanas ya que no requiere extensas áreas de terreno para su construcción a diferencia de las lagunas de estabilización.

Conclusiones

En las subcuencas de Achamayo y Shullcas, para el periodo 2015-2020 con respecto a los valores ECA-Agua para la Categoría 3-D1 (riego de vegetales), los parámetros de *Escherichia coli* y coliformes termotolerantes exceden de uno a tres escalas logarítmicas, mientras que los parámetros físico-químicos no sobrepasan en ambas subcuencas, a excepción del punto de muestreo RShul2 que presenta valores mayores que la norma para DBO5, DQO, aceites y grasas.

De acuerdo con los resultados del cálculo ICA, se determinó que la subcuenca Achamayo obtuvo una calificación de “regular” en las épocas de estiaje y avenida; mientras que en la subcuenca Shullcas se obtuvo la calificación de “marginal” para ambas épocas, siendo la más impactada.

Debido a que las aguas superficiales de los ríos Achamayo y Shullcas presentan contaminación microbiológica, se propone que, tanto la ANA como la OEFA deben sensibilizar a los alcaldes de los distritos de Concepción, Huancayo, El Tambo, Chilca y Huancán para que se construyan plantas de tratamiento de aguas residuales con sistema de lodos activados de aireación extendida, biorreactores de lecho móvil MBBR, entre otros sistemas de tratamiento.

Literatura citada

Almeida de G.S. & Oliveira de I.B. 2018. Application of the index WQI-CCME with data aggregation per monitoring campaign and per section of the river: case study-Joanes River, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190: Art. 195. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6542-5>.

ANA. (s.f.). Observatorio Nacional de Recursos Hídricos. Recuperado en setiembre de 2022. <https://snirh.ana.gob.pe/observatoriosnirh/>.

ANA. 2015. Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca del Mantaro. Autoridad Nacional del Agua (ANA). <https://hdl.handle.net/20.500.12543/36>.

ANA. 2018. Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA: Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales. ANA (Autoridad Nacional del Agua). Perú. bit.ly/rEA-UNALM-19.

ANA. 2020. Plan de Gestión de Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Mantaro. Etapa 1. Consultado en setiembre de 2022 de: <https://crhc.ana.gob.pe/mantaro/sites/default/files/Mantaro/HY5971-MA-Vol2-RP-HY-DiagGIRHC-D01V02.pdf>.

Aylas-Quispe A., Campos-Llantoy A., Perez-Cordova M., Alvarez-Montalván C.E. & Camargo-Hinostroza S. 2021. Evaluation of the Quality of Drinking Water and Rivers in the Mantaro Valley, Central Peru. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 943(012002): 1-9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/943/1/012002>.

Carneiro L.C., da Silva N., dos Santos L.M., Cunha M., Santos S.R., Gomes A.R., Brito A.B. & Marinho R. 2021. Effects of the lack of basic public sanitation on the water quality of the Caeté River estuary in northern Brazil. *Ecology & Hydrobiology*, 21(2): 299-314. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2020.12.003>.

CCME. 2017. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index, User's Manual 2017 update. <https://ccme.ca/en/res/wqimanualen.pdf>.

Choque-Quispe D., Ligarda-Samanez C.A., Solano-Reynoso A.M., Ramos-Pacheco B.S., Quispe-Quispe Y., Choque-Quispe Y. & Kari-Ferro A. 2021. Water quality index in the High-Andean micro-basin of the Chumbao River, Andahuaylas, Apurímac, Peru. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 12(1): 37-73. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-01-02>.

Damania R., Desbureaux S., Rodella A., Russ J. & Zaveri E. 2019. Unknown Quality. World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/32245>.

Dimri D., Daverey A., Kumar A. & Sharma A. 2021. Monitoring water quality of River Ganga using multivariate techniques and WQI (Water Quality Index) in Western Himalayan region of Uttarakhand. India. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 15: 100375. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100375>.

García S.L., Arguello A., Parra R. & Pincay M. 2019. Factores que influyen en el pH del agua mediante la aplicación de modelos de regresión lineal. *INNOVA Research Journal*, 4(2): 59-71. <https://doi.org/10.33890/innova.v4.n2.2019.909>.

Gikas G.D., Sylaios G.K., Tsihrintzis V.A., Konstantinou I.K., Albanis T. & Boskidis I. 2020. Comparative evaluation of river chemical status based on WFD methodology and CCME water quality index. *Science of the Total Environment*, 745: 140849. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140849>.

Gil-Marín J.A., Vizacino C. & Montaña-Mata N.J. 2018. Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del río Guarapiche, Monagas, Venezuela. *Anales Científicos*, 79(1): 111-119. <https://doi.org/10.21704/ac.v79i1.1146>.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6480001>.

González-Val R. & Pueyo F. 2019. Natural resources, economic growth and geography. *Economic Modelling*, 83: 150-159. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2019.02.007>.

- Mesa O.J. 2018. Cuatro modelos de redes de drenaje. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 42(165): 379-391. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.641>.
- MINAM. 2017. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen Disposiciones Complementarias. *Diario (Oficial) El Peruano (Normas Legales)*, 34(14101): 10-19. Miércoles 7 de junio de 2017. <https://busquedas.elperuano.pe/cuadernillo/NL/20170607>.
- Nhantumbo C., Cangi N., Rodrigues M., Manuel C., Rapulua S., Langa J., Nhantumbo H., Joaquim D., Dosse M., Sumbana J., Santos R., Montero S. & Juizo D. 2023. Assessment of Microbial Contamination in the Infulene River Basin, Mozambique. *Water*, 15(2): 219. <https://doi.org/10.3390/w15020219>.
- Noyola A., Morgan-Sagastume J.M. & Guereca L.P. 2013. Selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://proyectos2.iingen.unam.mx/LACClimateChange/docs/Guia.pdf>.
- Reyes W. 2020. Optimización del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la implementación del Sistema MBBR - Caylloma - Aquafil. *Rev. del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM*, 23(45): 43-49. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v23i45.18047>.
- Robledo J.A. 2022. Índice Canadiense de Calidad del Agua CCME-WQI, en la zona de incidencia hidrográfica del río Dulce, Izabal, Guatemala. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(3): 2789-2798. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n3-014>.
- Tejeda J.M. 2021. Caudal ecológico del río Achamayo de acuerdo a parámetros hidráulicos, Concepción - Junín. Tesis para optar el grado académico de Maestra en Gestión Sostenible de Cuencas Hidrográficas. Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/7543>.
- Tilley E., Ulrich L., Lüthi C., Reymond P., Schertenleib R. & Zurbrügg C. 2018. Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Segunda edición revisada. Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y Hábitat para la Humanidad para esta versión castellana. https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/sesp/CLUES/Compendium_Spanish_pdfs/compendio_sp.pdf.
- Valcarcel L., Alberro N. & Frías D. 2008. El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. *Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo*. 10(18): 1-5. <https://cmad.ama.cu/index.php/cmada/article/view/141>.
- Van Winckel T., Cools J., Vlaeminck S.E., Joos P., Van Meenen E., Borregán-Ochando E., Van Den Steen K., Geerts R., Vandermoere F. & Blust R. 2021. Towards harmonization of water quality management: A comparison of chemical drinking water and surface water quality standards around the globe. *Journal of Environmental Management*, 298: 113447. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113447>.
- Wan L. & Wang H. 2021. Control of urban river water pollution is studied based on SMS. *Environmental Technology & Innovation*, 22: 101468. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101468>.
- Yotova G., Varbanov M., Tcherkezova E. & Tsakovski S. 2021. Water quality assessment of a river catchment by the composite water quality index and self-organizing maps. *Ecological Indicators*, 120: 106872. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106872>.

Tabla 5. Resultados de la calidad del agua – Categoría 3-D1 de la subcuenca Achamayo.

Parámetros	A&G ^a	Conductividad	DBO ₅ ^b	DOO ^c	Detergentes (SAAM) ^d	Nitritos-N	O.D. ^e	pH	E. coli ^f	C. termotolerantes ^g	
Unid.	mg·l ⁻¹	µS·cm ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	Unid.	NMP·10 ⁻² ·ml ⁻¹	NMP·10 ⁻² ·ml ⁻¹	
Punto	Año	5	15	40	0.2	10	>=4	6.5-8.5	1 000	1 000	
ECA-Agua 2017 (Valores máximos permitidos) ^h											
RAchal	2015	1	634.7	3	6	0.06	0.105	7.06	7.91	230 000	230 000
	2016	1	688.55	3	8	0.06	0.35505	7.17	8.155	189 500	189 500
	2017	5.1	650.1	3	7	0.15	0.014	4.1	8.2	46 000	110 000
	2018	1	373.23	3.500	13.667	0.295	0.004	6.257	8.893	10 010	7 263.333
	2019	1	506.75	6.33	13.5	0.05	0.004	6.48	7.77	4 950	26 700
	2020	0.1	713.7	8	15	0.002	0.0406	5.22	8.01	170 000	460 000
RChial	2015	1	317	3	6	0.06	0.005	5.12	7.69	1.8	1.8
	2016	1	322.3	3	6	0.06	0.005	7.255	8.48	31	33
	2017	1	326.2	2	2	0.01	0.004	----	8.61	4.5	11
	2018	1	322.067	2	2	0.01	0.004	6.603	8.387	5.533	12.267
	2019	0.775	323.75	2	2	0.006	0.004	6.6125	7.98	1.85	3.6
	2020	0.1	336.9	3	5	0.002	0.002	6.52	8.5	1.8	1.8
RChia2	2015	1	318.6	3	36	0.06	0.031	8.27	8.31	33	1 100
	2016	1	378.55	4.5	9	0.06	0.07475	6.82	8.52	1 765	1 815
	2017	1	373	2	2	0.01	0.017	----	8.61	240	1 300
	2018	1	362.3	2	5.333	0.01	0.004	6.447	8.637	210	436.667
	2019	0.775	339.5	2	4	0.006	0.004	6.7775	7.98	458.25	837.25
	2020	0.1	361.3	4	7	0.002	0.0025	7.1	8.38	240	330
RMant11	2015	1	562.6	3	32	0.06	0.02	6.75	8.21	230	330
	2016	1	735	3	6	0.06	0.021	7.04	8.46	410	595
	2017	1	650.9	2	2	0.01	0.004	----	8.5	33	490
	2018	1	700.3	2	7.333	0.01	0.004	6.2	8.637	93	223.333
	2019	0.775	470.5	2.5	5.25	0.006	0.004	6.86	8.045	365	875
	2020	0.1	595.6	3	2	0.002	0.0052	6.4	8.43	79	170
RMant12	2015	1	592.4	3	16	0.06	0.018	6.88	7.96	460	700
	2016	1	701.5	3	7	0.06	0.03	6.945	8.18	889.5	2 339.5
	2017	1	595.1	2	2	0.01	0.016	----	8.2	130	330
	2018	1	718.567	2	10	0.01	0.004	6.407	8.17	923	4 113.333
	2019	0.775	578.5	4	9	0.006	0.004	7.0875	7.9	459.75	1 260
	2020	0.1	679.4	4	7	0.002	0.0111	7.27	8.23	1 300	2 400
RMant13	2015	1	588.8	3	8	0.06	0.025	7.41	8.18	23	490

CCME DE CALIDAD DEL AGUA DE LAS SUBCUENCAS ACHAMAYO Y SHULLCAS (JUNÍN-PERÚ)

Enero - Julio 2024

Parámetros	A&G ^a	Conductividad	DBO ₅ ^b	DQO ^c	Detergentes (SAAM) ^d	Nitritos-N	O.D. ^e	pH	<i>E. coli</i> ^f	C. termotolerantes ^g
Unid.	mg·l ⁻¹	µS·cm ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	Unid.	NMP·10 ⁻² ·ml ⁻¹	NMP·10 ⁻² ·ml ⁻¹
Punto	Año	5	15	40	0.2	10	>= 4	6.5-8.5	1 000	1 000
ECA-Agua 2017 (Valores máximos permitidos) ^h										
	2016	1	3	8	0.06	0.02485	7.06	8.27	59.5	269.5
	2017	1	2	5	0.01	0.013	----	8.41	110	490
	2018	1	2	3	0.01	0.004	6.213	8.753	231	450
	2019	0.775	2.25	9.75	0.006	0.004	6.44	7.9325	18 625	57 525
	2020	0.1	2	8	0.002	0.004	6.73	8.42	490	790
	2015	1	3	28	0.06	0.026	8.34	8.34	79	4 600
	2016	1	3	8	0.06	0.0465	6.425	8.055	38 500	38 500
	2017	1.5	2	4	0.01	0.004	----	8.48	240	700
RMant14	2018	1	2	7	0.017	0.004	5.947	8.477	24 010	24 433.333
	2019	0.775	2.75	12.75	0.016	0.004	6.695	7.7725	12 575	36 475
	2020	0.1	2	2	0.002	0.004	6.76	8.4	1 300	2 400
	2015	1	3	24	0.06	0.055	6.11	8.44	700	23 000
	2016	1	3	7.1	0.06	0.1061	7.15	8.225	2 520	4 345
	2017	1	2	9	0.01	0.004	----	8.4	4 600	11 000
RMant15	2018	1	2.667	5	0.013	0.004	5.913	8.33	6 800	53 266.667
	2019	0.775	2.5	13.25	0.006	0.004	6.9125	7.86	6 800	17 225
	2020	0.1	2	29	0.002	0.004	6.93	8.41	17 000	46 000
	2015	1	3	12	0.06	0.082	5.66	8.33	330	7 900
	2016	1	3.5	6	0.06	0.050	6.685	8.135	2 045	2 800
	2017	1	2	6	0.01	0.011	----	8.42	46 000	46 000
RMant16	2018	1	2	7.667	0.017	0.004	5.81	8.417	2 566.667	7 800
	2019	0.775	3	11	0.006	0.004	6.87	7.8675	18 150	35 750
	2020	0.1	2	8	0.002	0.004	6.58	8.32	7 000	11 000

Nota: ^a Aceites & Grasas, ^b Demanda Bioquímica de Oxígeno, ^c Demanda Química de Oxígeno, ^d Detergentes determinados como Sustancias Activas al Azul de Metileno, ^e Oxígeno Disuelto, ^f *Escherichia coli* y ^g Coliformes termotolerantes.

*: Valores y celdas sombreadas en rojo (■) exceden los ECA-Agua 2017 (MINAM, 2017).

Tabla 6. Resultados de la calidad del agua de los puntos de muestreo de las subcuencas limitantes – Categoría 3-D1.

Punto	A&G ^a		Conductividad		DBO ₅ ^b		DQO ^c		Detergentes (SAAM) ^d		Nitrógeno-N		O.D. ^e		pH		E. coli ^f		C. termotolerantes ^g	
	Unid.	mg·l ⁻¹	μS·cm ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	Unid.	NMP·10 ⁻² ·ml ⁻¹	Unid.	NMP·10 ⁻² ·ml ⁻¹	Unid.	NMP·10 ⁻² ·ml ⁻¹
	Año	5	2 500	40	0.2	10	>= 4	6.5-8.5	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
RCuna2	2015	1	454	3	24	0.06	0.665	6.9	8.96	790	790	790	790	790	790	790	790	790	790	790
	2016	1	652.5	4.5	8	0.06	0.744	7.2	8.575	2 350	2 350	2 350	2 350	2 350	2 350	2 350	2 350	2 350	2 350	2 350
	2017	1	463	7	19	0.06	0.118	7.71	8.81	460	460	460	460	460	460	460	460	460	460	460
	2018	1	460.133	2	11	0.023	0.021	5.767	8.023	1 004	1 004	1 004	1 004	1 004	1 004	1 004	1 004	1 004	1 004	1 004
	2019	0.775	511.95	4.25	16.25	0.031	0.011	8.30	8.228	914.75	914.75	914.75	914.75	914.75	914.75	914.75	914.75	914.75	914.75	914.75
2020	0.1	480.4	4	33	0.002	0.081	8.92	8.83	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	
RMant10	2015	1	529.2	3	20	0.06	0.026	7.78	8.1	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
	2016	1	740	2.5	10	0.035	0.041	7.19	7.875	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512
	2017	1	559.3	2	2	0.01	0.019	6.82	8.4	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330
	2018	1	667.733	2	7.333	0.010	0.004	6.177	8.447	573	573	573	573	573	573	573	573	573	573	573
	2019	0.775	593.000	3.250	11.500	0.006	0.009	6.930	7.910	1 073	1 073	1 073	1 073	1 073	1 073	1 073	1 073	1 073	1 073	1 073
2020	0.100	686.800	2.000	2.000	0.002	0.0002	6.760	8.320	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500

Nota: ^a Aceites y Grasas, ^b Demanda Bioquímica de Oxígeno, ^c Demanda Química de Oxígeno, ^d Detergentes determinados como Sustancias Activas al Azul de Metileno, ^e Oxígeno Disuelto, ^f *Escherichia coli* y ^g Coliformes termotolerantes.

*: Valores y celdas rojas (■) exceden los ECA-Agua 2017 (MINAM, 2017).

Tabla 7. Resultados de la calidad del agua del punto de muestreo de la subcuenca Pachacayo (limitante a la subcuenca Achamayo) – Categoría 4-E2.

Punto	O.D. ^a		DBOS ^b		Nitratos (NO ₃ -)		Fósforo Total		A&G ^c		Conductividad		pH		C. Termotolerantes ^d	
	Unid.	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	μS·cm ⁻¹	Unid.	NMP·10 ⁻² ·ml ⁻¹	Unid.	NMP·10 ⁻² ·ml ⁻¹	
	Año	>= 5	10	13	0.05	5	1 000	6.5-9	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	
RPach1	2015	7.3	3	0.2215	0.02	1	681.6	8.31	490	490	490	490	490	490	490	
	2016	6.935	3	0.467	0.01	1	813	8.25	155	155	155	155	155	155	155	
	2017	6.77	2	0.113	0.01	1	675.9	8.41	330	330	330	330	330	330	330	
	2018	6.32	2	0.096	0.011	1	695.2	8.677	147	147	147	147	147	147	147	
	2019	6.67	3.75	0.097	0.028	0.775	426.25	8.013	205	205	205	205	205	205	205	
2020	6.5	2	0.022	0.01	0.1	529.6	8.41	490	490	490	490	490	490	490		

Nota: ^a Oxígeno Disuelto, ^b Demanda Bioquímica de Oxígeno, ^c Aceites & Grasas y ^d Coliformes termotolerantes.

*: Valores y celdas rojas (■) exceden los ECA-Agua 2017 (MINAM, 2017).

CCME DE CALIDAD DEL AGUA DE LAS SUBCUENCAS ACHAMAYO Y SHULLCAS (JUNÍN-PERÚ)

Enero - Julio 2024

Tabla 8. Resultados de los monitoreos de la calidad del agua – Categoría 3-D1 de la subcuenca Shullcas.

Punto	Año	A&G ^a mg·l ⁻¹	Conductividad µS·cm ⁻¹	DBO ₅ ^b mg·l ⁻¹	DQO ^c mg·l ⁻¹	Nitritos-N mg·l ⁻¹	O.D. ^e mg·l ⁻¹	pH Unid.	E. coli ^f NMP·10 ⁻² ·ml ⁻¹	C. termotolerantes ^g NMP·10 ⁻² ·ml ⁻¹
ECA-Agua 2017 (Valores máximos permitidos)*										
	2015	1.00	592.00	4.00	8.00	0.06	6.3	8.52	330	3 300
	2016	1.00	811.55	3.50	10.00	0.06	6.685	8.23	70 500	70 500
	2017	1.00	592.00	2.00	19.00	0.03	6.35	8.4	1 300	1 700
RMant17	2018	1.00	672.47	2.00	18.00	0.05	6.097	8.427	7 597	22 167
	2019	0.78	591.75	3.00	15.50	0.01	6.5825	7.9625	32 775	73 725
	2020	0.10	682.60	2.00	6.00	0.00	6.448	8.52	46 000	70 000
	2015	1.00	232.00	90.00	174.00	0.06	6.07	7.88	2 300 000	2 300 000
	2016	29.50	578.45	98.00	188.50	0.06	4.7	8.025	256 500 000	256 500 000
	2017	20.80	857.00	241.00	466.00	0.67	3.55	8.07	2 200 000	7 000 000
RShul2	2018	31.17	356.47	113.33	236.00	0.20	4.343	8.27	1 333 333	6 566 667
	2019	19.95	713.25	161.50	322.50	3.16	4.115	7.8025	31 423 500	49 570 000
	2020	37.40	734.80	138.00	315.00	0.95	4	8	7 000 000	17 000 000
	2015	1.00	559.20	6.00	20.00	0.06	6.35	8.04	330 000	330 000
	2016	1.00	808.40	4.00	8.00	0.06	6.33	8.2	480 000	480 000
	2017	1.00	592.70	3.00	12.00	0.10	6.01	8.4	46 000	220 000
RMant18	2018	1.00	636.37	8.00	28.67	0.25	6.01	8.377	36 333	120 000
	2019	2.50	607.75	5.50	21.00	0.21	6.75	7.9775	185 000	527 500
	2020	0.10	656.40	15.00	70.00	0.00	5.44	8.16	1 100 000	1 400 000
	2015	1.00	195.00	3.00	12.00	0.06	5.5	7.5	23 000	23 000
	2016	1.00	431.05	3.00	7.00	0.06	5.85	8.425	51 000	51 000
	2017	1.00	464.00	5.00	18.00	0.13	5.17	8.4	2 800	2 800
RChan1	2018	1.00	296.50	4.00	13.00	0.16	5.53	8.33	41 597	68 900
	2019	0.78	349.25	4.00	18.25	0.01	5.61	7.875	6 575	29 650
	2020	0.10	507.10	5.00	25.00	0.00	6.228	8.28	7 000	11 000
RMant19	2015	1.00	523.00	5.00	16.00	0.06	5.7	7.9	230 000	230 000

Punto	A&G ^a		Conductividad		DBO ₅ ^b		DQO ^c		Detergentes (SAAM) ^d		Nitritos-N		O.D. ^e		pH		E. coli ^f		C. termotolerantes ^g		
	Unid.	mg.l ⁻¹	μS.cm ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	Unid.	NMP.10 ⁻² .ml ⁻¹	Unid.	NMP.10 ⁻² .ml ⁻¹	Unid.	NMP.10 ⁻² .ml ⁻¹	
	ECA-Agua 2017 (Valores máximos permitidos)*																				
	Año	5	2 500	15	40	0.2	10	>=4	6.5-8.5	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	
	2016	1.00	732.30	3.00	6.00	0.06	0.24915	6.46	8.275	26 150	26 950	26 950	26 950	26 950	26 950	26 950	26 950	26 950	26 950	26 950	
	2017	1.00	652.00	2.00	3.00	0.02	0.048	5.69	8.3	7 000	11 000	11 000	11 000	11 000	11 000	11 000	11 000	11 000	11 000	11 000	
	2018	1.00	661.60	3.00	7.67	0.04	0.004	5.753	8.29	9 600	21 000	21 000	21 000	21 000	21 000	21 000	21 000	21 000	21 000	21 000	
	2019	0.78	522.67	3.25	15.75	0.01	0.00575	6.15	7.953	10 778	39 305	39 305	39 305	39 305	39 305	39 305	39 305	39 305	39 305	39 305	
	2020	0.10	686.00	3.00	6.00	0.00	0.004	5.777	8.24	46 000	70 000	70 000	70 000	70 000	70 000	70 000	70 000	70 000	70 000	70 000	

Nota: ^a Aceites & Grasas, ^b Demanda Bioquímica de Oxígeno, ^c Demanda Química de Oxígeno, ^d Detergentes determinados como Sustancias Activas al Azul de Metileno, ^e Oxígeno Disuelto, ^f *Escherichia coli* y ^g Coliformes termotolerantes.

*: Valores y celdas rojas (■) exceden los ECA-Agua 2017 (MINAM, 2017).

Tabla 9. Resultados de los monitores de la calidad del agua – Categoría 1-A2 de la subcuenca Shullcas.

Punto	O.D. ^a		DBO ₅ ^b		Fósforo Total		DQO ^c		A&G ^d		Cloruros		Conductividad		Nitratos (NO ₃ -)		Nitritos (NO ₂ -)		pH		C. termotolerantes ^e		
	Unid.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	Unid.	NMP.10 ⁻² .ml ⁻¹	
	ECA-Agua 2017 (Valores máximos permitidos)*																						
	Año	>=5	5	0.15	20	1.7	250	1 600	50	3	5.5-9	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
	2015	6.9	3	0.05	20	1	1.7	142.8	0.7531	0.9348	7.86	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	2016	7.15	3	0.045	7	1	4.795	240.8	0.7088	0.08528	8.44	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
	2017	6.85	2	0.02	3	1.2	4.366	242.4	0.065	0.015	9	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	2018	6.733	2.667	0.016	4.333	1	3.831	316.4	0.171	0.015	8.537	8.433	8.433	8.433	8.433	8.433	8.433	8.433	8.433	8.433	8.433	8.433	8.433
	2019	6.793	2	0.623	3.75	0.775	3.376	206.7	0.191	0.015	7.963	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5
	2020	6.83	2	0.01	2	0.1	4.945	249.7	0.143	0.015	8.6	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23

Nota: ^a Oxígeno Disuelto, ^b Demanda Bioquímica de Oxígeno, ^c Demanda Química de Oxígeno, ^d Aceites & Grasas y ^e Coliformes termotolerantes.
*: Valores y celdas rojas (■) exceden los ECA-Agua 2017 (MINAM, 2017).

¹ Universidad Científica del Sur \ Carrera de Ingeniería Ambiental. Lima, Perú. ORDIC: 0000-0003-3915-2602. 4201010562@cientifica.edu.pe

² Universidad Nacional Agraria La Molina \ Departamento de Ingeniería Ambiental. Lima, Perú. ORCID: 0000-0003-1937-534X.