

Artículo original

Análisis comparativo espacio temporal de indicadores de la calidad de agua superficial de la microcuenca Chihua – Ayacucho, 2023-2025

Comparative spatial-temporal analysis of surface water quality indicators of the Chihua micro-basin – Ayacucho, 2023-2025

Gilmer Huaman-Quispe * 

Universidad Nacional Autónoma de Huanta, Huanta, Perú.

***Autor de correspondencia:**
Gilmer Huaman Quispe, email:
2112810112@unah.edu.pe**Historial del artículo**

Recibido: 10 de diciembre del 2025

Aceptado: 04 de marzo del 2026

Publicado: 09 marzo del 2026

RESUMEN

Este estudio realizó un análisis comparativo espacio temporal de Indicadores de la Calidad de Agua Superficial en la microcuenca Chihua, Ayacucho, durante 2023-2025, utilizando el Índice de Calidad de Agua peruano (ICA-PE) para comparar las zonas alta, media y baja. La microcuenca es vital para el consumo humano y la agricultura, enfrenta presiones antrópicas, especialmente en la zona baja. Los resultados del ICA-PE demostraron que las zonas alta y media mantuvieron una calidad constante "Excelente" (ICA-PE = 100) durante los tres años, lo que indica condiciones hidrológicas favorables y mínima alteración. En contraste, la zona baja fluctuó, clasificándose como "Bueno" (con valores entre 81.2 y 93.72), revelando una vulnerabilidad temporal en la calidad del agua, especialmente en la temporada lluviosa, debido a la escorrentía agrícola y la carga orgánica. Se concluye que el río Chihua se mantiene como una fuente apta para potabilización convencional (Categoría 1-2A), pero se requiere una gestión local fortalecida y medidas de control en la zona baja para asegurar la sostenibilidad del recurso a largo plazo.

Palabras clave: ECA, Índice calidad de agua, Microcuenca Chihua, parámetros fisicoquímicos.**ABSTRACT**

This study conducted a comparative spatiotemporal analysis of Surface Water Quality Indicators in the Chihua micro-basin, Ayacucho, during 2023–2025, using the Peruvian Water Quality Index (ICA-PE) to compare the upper, middle, and lower zones. The micro-basin, vital for human consumption and agriculture, faces anthropogenic pressures, especially in the lower zone. The ICA-PE results showed that the upper and middle zones maintained a consistently "Excellent" quality (ICA-PE = 100) throughout the three years, indicating favorable hydrological conditions and minimal disturbance. In contrast, the lower zone fluctuated, being classified as "Good" (with values between 81.2 and 93.72), revealing a temporary vulnerability in water quality, especially during the rainy season, due to agricultural runoff and organic load. It is concluded that the Chihua River remains a suitable source for conventional drinking water treatment (Category 1-2A), but strengthened local management and control measures in the lower zone are required to ensure the long-term sustainability of the resource.

Keywords: Chihua Microbasin, physicochemical parameters, Water Quality Index (WQI).

INTRODUCCIÓN

Las fuentes de agua superficial son ejes de desarrollo de los seres humanos que permiten el abastecimiento para las diferentes actividades socioeconómicas (Torres et al., 2022). La calidad del agua, la salud y el crecimiento económico se refuerzan mutuamente y son fundamentales para lograr el bienestar humano y el desarrollo sostenible (Chávez, 2021). Los países de América Latina no han podido llegar a una cobertura total en abastecimiento y saneamiento de agua (Miranda et al.,

2021), a pesar que el ciclo natural tiene una gran capacidad de purificación. Pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que arrojamamos los residuos producidos (Vela, 2023), el crecimiento demográfico y las actividades económicas asentadas en las cuencas hidrográficas vienen afectando los recursos hídricos en el Perú (Cerna-Cueva et al., 2022). La microcuenca del río Chihua, es una fuente vital de agua para el consumo humano, la agricultura y otras actividades

económicas locales (Germannerio, 2020). El ser humano requiere un mínimo de tres litros de agua potable por día para consumo y un total de veinte litros de agua potable, para las actividades antropogénicas (Baquero Mite et al., 2021). Sin embargo, enfrenta presiones crecientes debido a la expansión agrícola, la minería informal y la descarga de aguas residuales domésticas e industriales (Chavesta, 2020), sino también genera un grave impacto ambiental sobre los ecosistemas de pastizales húmedos andinos tropicales, los cuales cumplen funciones ambientales de suma importancia como la regularización del caudal de los ríos (Garcés Alvear, 2021).

En este contexto, la presente investigación se propone evaluar el índice de calidad del agua en la microcuenca del río Chihua durante el periodo 2025. El agua potable es toda aquella agua que empleada para la ingesta humana no causa daño a la salud y cumple con las disposiciones de valores recomendables o máximos admisibles estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos y microbiológicos (Castillo et al., 2021; Ortega, 2021). Un índice de calidad de agua, consiste básicamente en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros que caracterizan la calidad del agua (Rojas et al., 2021), la evaluación del ICA permitirá determinar el estado actual de la calidad del agua en la microcuenca, identificar las principales fuentes de contaminación y establecer una línea base para el monitoreo y la gestión futura (Serma Mosquera, 2021).

Este estudio se justifica por la necesidad de contar con información precisa y actualizada sobre la calidad del agua en la microcuenca del río Chihua, que sirva de base para la formulación de políticas públicas y la implementación de medidas de gestión que garanticen la sostenibilidad de los recursos hídricos y la salud de las poblaciones locales. Además, los resultados de esta investigación podrán ser replicados en otras cuencas del país que enfrentan desafíos similares, contribuyendo así a la mejora de la gestión del agua a nivel nacional.

En el Perú, el monitoreo de la calidad de agua se realiza con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, Límites Máximos Permisibles (LMP) y Protocolos de monitoreo de la calidad del agua para determinar el estado en el que se encuentran las fuentes de agua (Paredes, 2023). El ICA utiliza la documentación de calidad del agua y se soporta en la variación de las políticas, que están enmarcadas por varias agencias de monitoreo ambiental (Kung et al., 2020). El procedimiento individual de la variable calidad del agua no es fácil de entender para el público. Por esa razón, el ICA sintetiza la mayor información en un solo valor para expresar los datos en una forma simple y lógica (Rodríguez Miranda et al., 2023).

La recolección de datos, de varias fuentes, permite desarrollar un estado completo del cuerpo de agua. Esto aumenta la capacidad de comprensión de los problemas de calidad del agua tanto por parte de los responsables políticos, como del público y demás usuarios de los recursos hídricos (Huertos & Baena, 2008). Un índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color (Calvo-Brenes, 2021). Los ICA proporcionan información importante

sobre el estado del recurso hídrico para la toma de decisiones de la autoridad ambiental (Rodríguez Miranda et al., 2023).

Con estos antecedentes, el objetivo de este trabajo es comparar la calidad del agua en las microcuencas de Chihua de la región Ayacucho con el indicador de calidad de agua (ICA-PE) en las tres zonas alta, media y baja durante el periodo 2023-2025.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Este estudio se realizó en la microcuenca Chihua, ubicado en la provincia Huanta, se desarrollará durante el periodo de 3 años comprendido entre febrero y junio de 2023-2025. Abarca una superficie aproximada de 107.4 km², con una altitud de 4020 msnm. Esta microcuenca forma parte de la cuenca río Cachi, la cual abastece de agua a diversas comunidades rurales para consumo humano, riego agrícola y otras actividades (Mendoza & Pardo, 2024). El estudio abarcará tres zonas principales de muestreo: cabecera, zona media y zona baja de la microcuenca, permitiendo evaluar la variabilidad espacial de la calidad del agua en función de la altitud, el uso del suelo y la presencia de actividades antrópicas como la agricultura, la ganadería y los asentamientos poblacionales (Arango et al., 2021).

Toma de muestras

La toma de muestras se efectuó en tres estaciones representativas del río Chihua, ubicadas en las zonas alta, media y baja de la microcuenca. La selección de los puntos respondió a criterios hidrológicos, variabilidad espacial y accesibilidad, tal como recomienda la Autoridad Nacional del Agua para programas de monitoreo sistemático (ANA, 2021).

Las muestras superficiales se recolectaron a una profundidad de 20 - 30 cm utilizando frascos esterilizados de polietileno previamente rotulados. Antes de la toma, cada frasco fue enjuagado con el agua del sitio para evitar contaminación cruzada, siguiendo los lineamientos del protocolo nacional de monitoreo (ANA, 2021). Durante el muestreo se evitó remover sedimentos o zonas de remanso a fin de garantizar la representatividad de las condiciones naturales.

En campo se midieron parámetros in situ pH y conductividad eléctrica mediante equipos multiparámetro previamente calibrados conforme a los procedimientos establecidos por la Inacal (INACAL, 2021). Las muestras destinadas al laboratorio fueron conservadas a 4 °C y transportadas en un lapso no mayor a 24 horas, cumpliendo las recomendaciones para análisis fisicoquímicos y microbiológicos (ISO, 2021).

En el laboratorio se analizaron parámetros esenciales para el cálculo del Índice de Calidad de Agua peruano (ICA-PE), tales como fósforo, arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, plomo, zinc y Coliformes termo tolerantes, de acuerdo con la metodología oficial del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017).

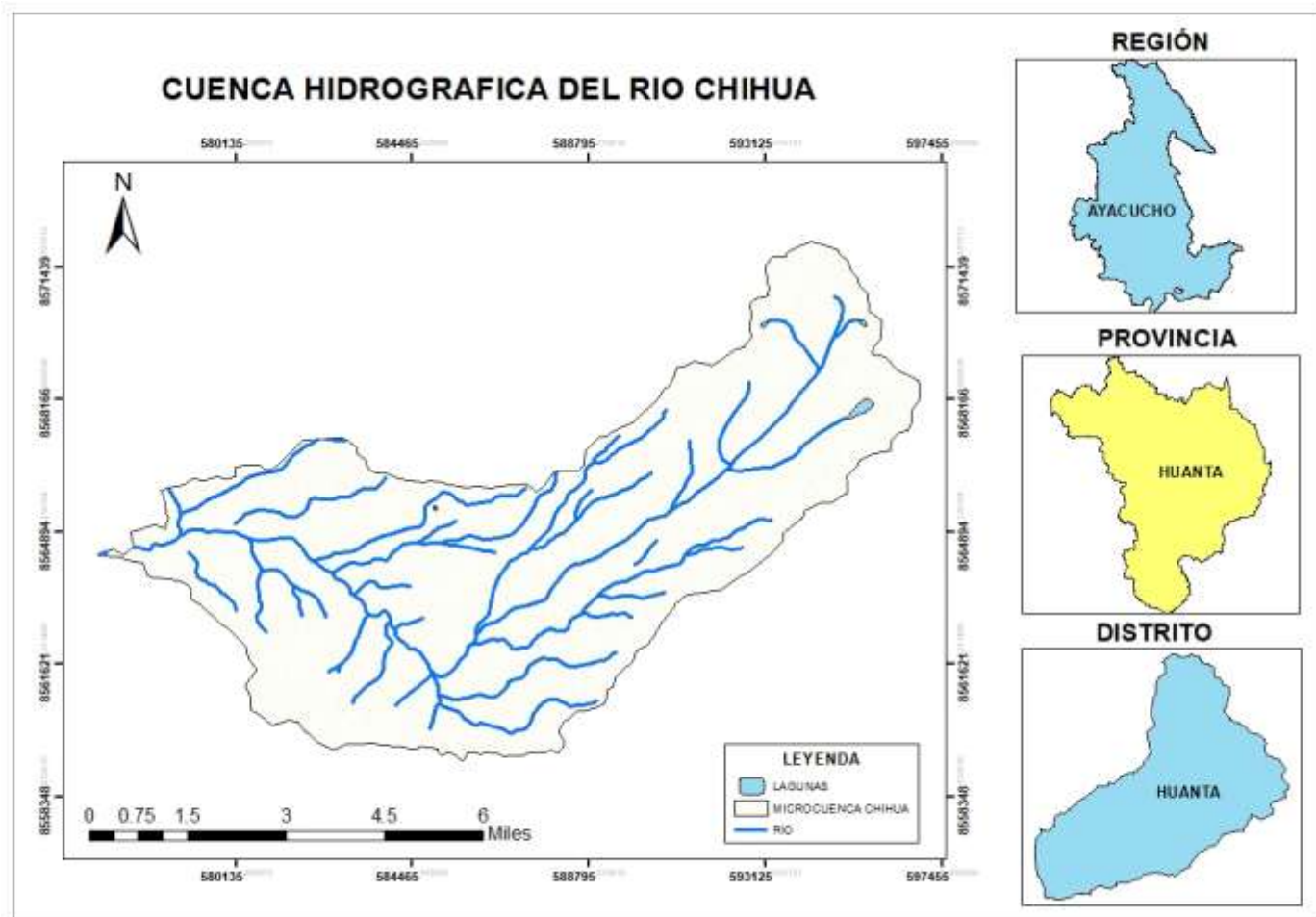


Figura 01. Mapa de ubicación

Procedimiento de análisis del agua

Los parámetros del agua, como el pH, la conductividad eléctrica (CE), se midieron in situ con un medidor multiparamétrico portátil Hanna HI98494 (Hanna Instruments, Woonsocket, RI, EE. UU.). El instrumento se calibró antes de cada campaña según las especificaciones del fabricante para garantizar la precisión y la consistencia de las mediciones (Hanna Instruments, 2022). Este protocolo se utiliza ampliamente en ecosistemas acuáticos, en particular en el monitoreo de humedales (Zhang et al., 2023). Se tomaron dos mediciones cada año tanto en época lluviosa y seca, por lo tanto, se obtuvieron un total de seis mediciones en los tres años.

Para determinar las concentraciones de elementos potencialmente tóxicos (EPT), las muestras de agua se filtraron mediante un sistema de filtración al vacío equipado con filtros de membrana de nitrato de celulosa de 0,45 µm para eliminar los sólidos suspendidos. Posteriormente, los filtrados se acidificaron a pH aproximadamente 2 con ácido nítrico ultrapuro

(HNO₃, Sigma-Aldrich) para estabilizar los metales disueltos durante el almacenamiento y el transporte (Vera-Herrera et al., 2022). Las muestras acidificadas se almacenaron en contenedores de polipropileno a 4 °C y se enviaron a un laboratorio certificado (Laboratorio SGS, Lima, Perú) para su análisis mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). El procedimiento analítico siguió los protocolos establecidos por las Normas Peruanas de Calidad Ambiental (ECA-Agua), Categoría 1-2A: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, según lo estipulado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (Ministerio del Ambiente del Perú, (MINAM, 2017). El método ICP-MS permite la cuantificación de alta resolución de metales traza y metaloides, incluyendo fósforo (P), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), hierro (Fe), manganeso (Mg), mercurio (Hg), plomo (Pb), zinc (Zn) y coliformes termotolerantes, entre otros, asegurando capacidades de detección robustas para evaluaciones hidroquímicas en ecosistemas de gran altitud.

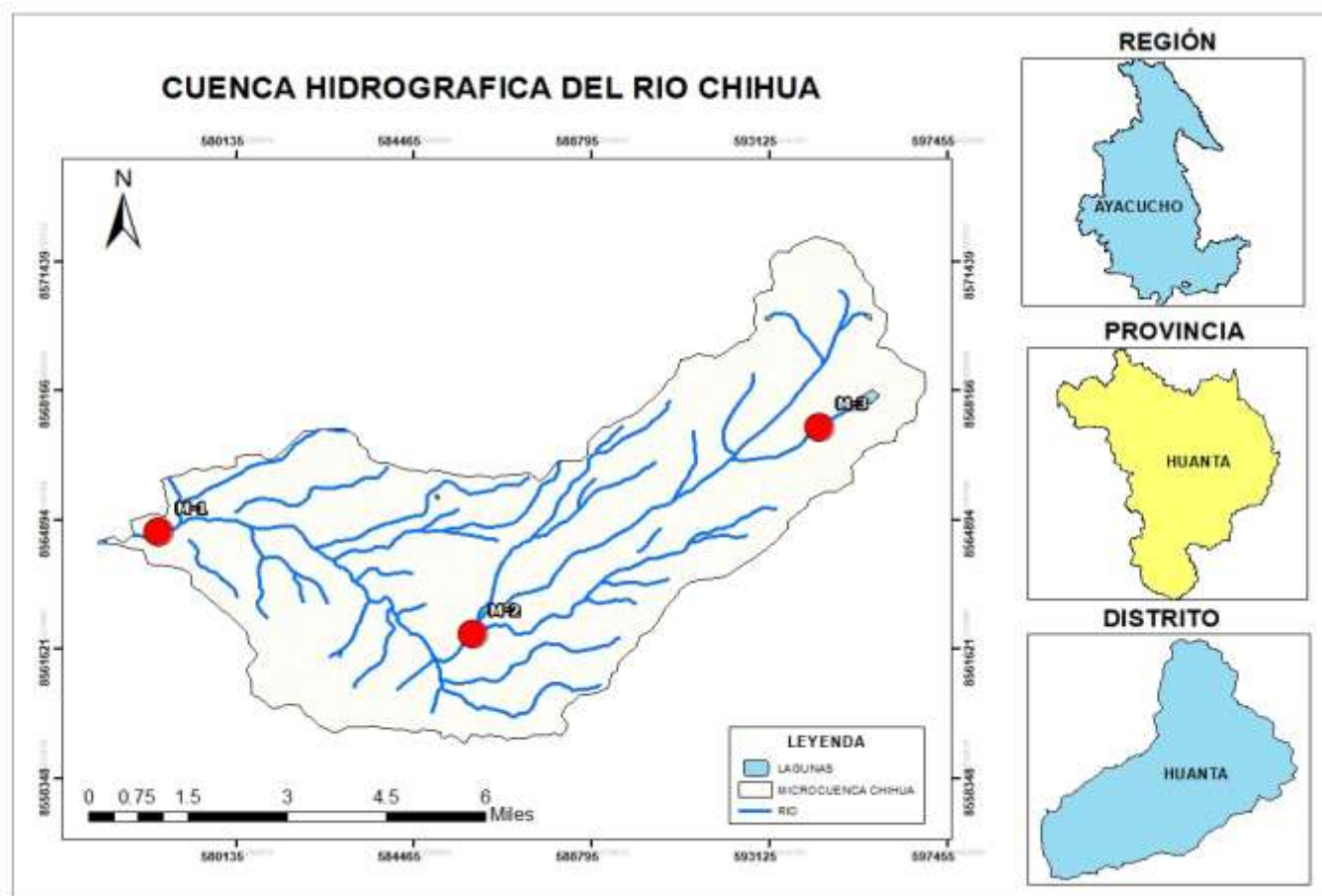


Figura 2. Ubicación geográfica y puntos de muestreo del río Chihua, Huanta, Perú. Los puntos rojos o M, son lugares de muestreo tanto de zona alta, media y baja.

Tabla 1. Descripción de las muestras, coordenadas geográficas de los sitios de recolección y fecha de recolección.

Tipo	Muestra	Latitud	Longitud	Fecha de muestreo	Estación
Agua	BAJO CHIHUA	12°58'59.27"S	74°16'41.85"O	20 de marzo de 2023	Verano austral
Agua	CHIHUA MEDIO	13° 0'23.32"S	74°12'28.25"O	22 de marzo de 2023	Verano austral
Agua	ALTO CHIHUA	12°57'31.68"S	74° 7'48.00"O	23 de marzo de 2023	Verano austral
Agua	BAJO CHIHUA	12°58'59.27"S	74°16'41.85"O	20 de junio de 2023	Invierno austral
Agua	CHIHUA MEDIO	13° 0'23.32"S	74°12'28.25"O	22 de junio de 2023	Invierno austral
Agua	ALTO CHIHUA	12°57'31.68"S	74° 7'48.00"O	23 de junio de 2023	Invierno austral
Agua	BAJO CHIHUA	12°58'59.27"S	74°16'41.85"O	20 de marzo de 2024	Verano austral
Agua	CHIHUA MEDIO	13° 0'23.32"S	74°12'28.25"O	21 de marzo de 2024	Verano austral

Tipo	Muestra	Latitud	Longitud	Fecha de muestreo	Estación
Agua	ALTO CHIHUA	12°57'31.68"S	74° 7'48.00"O	21 de marzo de 2024	Verano austral
Agua	BAJO CHIHUA	12°58'59.27"S	74°16'41.85"O	23 de junio de 2024	Verano austral
Agua	CHIHUA MEDIO	13° 0'23.32"S	74°12'28.25"O	25 de junio de 2024	Verano austral
Agua	ALTO CHIHUA	12°57'31.68"S	74° 7'48.00"O	28 de junio de 2024	Verano austral
Agua	BAJO CHIHUA	12°58'59.27"S	74°16'41.85"O	21 de febrero de 2025	Invierno austral
Agua	CHIHUA MEDIO	13° 0'23.32"S	74°12'28.25"O	23 de febrero de 2025	Invierno austral
Agua	ALTO CHIHUA	12°57'31.68"S	74° 7'48.00"O	24 de febrero de 2025	Invierno austral
Agua	BAJO CHIHUA	12°58'59.27"S	74°16'41.85"O	27 de junio de 2025	Verano austral
Agua	CHIHUA MEDIO	13° 0'23.32"S	74°12'28.25"O	29 de junio de 2025	Verano austral
Agua	ALTO CHIHUA	12°57'31.68"S	74° 7'48.00"O	29 de junio de 2025	Verano austral

Cálculo de índice de calidad de agua (ICA-PE)

Para evaluar el Índice de Calidad del Agua (ICA-PE) de río Chihua, se aplicaron los estándares establecidos por la oficina de Normas Ambientales de Calidad del Agua del Perú (ECA-agua) (Método 004-2017-MINAM) (MINAM, 2017). Los parámetros seleccionados incluyeron conductividad eléctrica, pH y concentraciones de elementos potencialmente tóxicos como fósforo, arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, plomo, zinc y microbiológico como coliformes termotolerantes. Estos parámetros son esenciales para evaluar la calidad del agua debido a su importancia ecológica y su papel como indicadores de estresores ambientales en aguas superficiales altoandinos, particularmente en relación con las actividades antropogénicas ((MINAM, 2017); (Zhang et al., 2023)).

El cálculo del ICA-PE se realizó mediante un método de agregación ponderada, donde a cada parámetro se le asignó un peso específico según su relevancia ambiental y los límites permisibles establecidos por la normativa peruana. El índice final se clasificó en categorías cualitativas para facilitar la interpretación del estado general de la calidad del agua del río

Chicha. El cálculo del ICA-PE para el río Chihua siguió los pasos de la metodología establecida por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2020).

Para la determinación del índice de calidad de agua se aplica la fórmula canadiense, que comprende tres factores (alcance, frecuencia y amplitud), lo que resulta del cálculo matemático un valor único (entre 0 y 100), que va representar y describir el estado de la calidad del agua de un punto de monitoreo, un curso de agua, un río o cuenca (Khan et al., 2021).

La definición y determinación de estos tres factores se describen a continuación:

F1 - Alcance:

representa la cantidad de parámetros de calidad que no cumplen los valores establecidos en la normativa, Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA- Agua) vigente, respecto al total de parámetros a evaluar, definidas en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (MINAM, 2017).

$$F1 = \left(\frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Número total de parámetros a evaluar}} \right) * 100$$

F2 - Frecuencia:

Representa la cantidad de datos que no cumplen la normativa ambiental (ECA- Agua) respecto al total de datos de los parámetros a evaluar (datos que corresponden a los resultados de un mínimo de 4 monitoreos).

$$F2 = \left(\frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Número total de parámetros a evaluar}} \right) * 100$$

F3 - Amplitud:

Es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la suma normalizada de excedentes, es decir los excesos de todos los datos respecto al número total de datos.

$$F3 = \left(\frac{\text{Suma Normalizada de Excedentes}}{\text{Suma Normalizada de Excedente}+1} \right) * 100$$

Suma Normalizada de Excedentes (SNE)

$$SNE = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedentes}_i}{\text{Total de datos}}$$

EXCEDENTE: se da para cada parámetro, siendo el valor que representa la diferencia del ECA y el valor del dato respecto al valor del ECA – Agua.

Caso 1: Cuando el valor de concentración del parámetro supera al valor establecido en el ECA – Agua, el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$E_i = \left(\frac{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA Agua}}{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA Agua}} \right) - 1$$

E=excedente

Caso 2: Cuando el valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en el ECA – Agua, incumpliendo la condición señalada en el mismo, como ejemplo: pH (>6,5, <8.5), el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera.

$$E_i = \left(\frac{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA Agua}}{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA Agua}} \right) - 1$$

E=excedente

Obtención del valor del ICA-PE

Una vez obtenido el valor de los factores (F1, F2, y F3) se procede a realizar el Cálculo del Índice de Calidad de Agua, siendo este la diferencia de 100 y la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los tres (03) factores, F1, F2 y F3; valor que se presenta en un rango de 100, como un ICA de excelente calidad a 0, como valor que representa un ICA de pésima calidad. Se expresa en la siguiente ecuación.

$$ICA-PE = 100 - \sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}}$$

el valor del índice de calidad de agua, ICA - PE, es calculado y como resultado, el valor del índice se presenta como un número adimensional comprendido entre un rango, el cual permite establecer escalas en cinco rangos, que son niveles de sensibilidad que expresan y califican el estado de la calidad del agua, como **Pésimo, Malo, Regular, Bueno y Excelente** (Khan et al., 2021).

Tabla 2. Clasificación cualitativa ICA-PE CCME.

ICA	Color	Calidad de agua
95 - 100		Excelente
80 - 94		Bueno
65 - 79		Regular
45 - 64		Malo
0 - 44		Pésimo

RESULTADOS

A continuación, se presenta los resultados obtenidos por cada punto.

Los parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológico estacionales y los valores del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) obtenidos en las tres zonas del río Chihua durante el año 2023 evidencian una calidad Buena en ambos periodos evaluados (época lluviosa y seca). En la zona baja se registraron valores de 93.72 (marzo) y 87.4 (junio); en la zona media, 93.72 (marzo) y 87.4 (junio); y en la zona alta, 93.20 tanto en marzo como en junio. En general, los valores más altos se presentaron durante marzo, mientras que en junio se observó un descenso moderado, especialmente en las zonas media y baja. Los umbrales comparativos se basan en las normas peruanas ECA-Agua (MINAM, 2017), Categoría 1-2A: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, con las directrices de agua potable de la OMS (OMS, 2021).

Los componentes del ICA (F1, F2 y F3) reflejan que el alcance y frecuencia de incumplimientos (F1 y F2) se incrementan moderadamente durante junio, lo cual coincide con la mayor carga de sedimentos y aportes difusos típicos de la temporada de lluvias. Sin embargo, la amplitud de las desviaciones (F3) se mantuvo baja en todas las estaciones, indicando que los parámetros que exceden los ECA-Agua lo hacen por márgenes pequeños.

Durante el año 2024, la calidad del agua del río Chihua mostró variaciones marcadas entre zonas y entre temporadas (lluviosa y seca). En la zona baja, los valores del ICA-PE fueron

93.72 en marzo y 81.2 en junio, ambos clasificados como “Bueno”, aunque con una disminución significativa en la temporada seca. En cambio, las zonas media y alta obtuvieron un valor constante de 100 en ambas temporadas, lo que corresponde a una clasificación “Excelente”.

Los parámetros F1, F2 y F3 fueron igual a cero en las zonas media y alta, indicando que ningún parámetro analizado excedió los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). En la zona baja, en cambio, sí se observaron excedencias, especialmente

en junio, donde los valores de F1 y F2 aumentaron a 23.077 y F3 a 0.06669, reduciendo el ICA-PE.

Durante el año 2025, la calidad del agua del río Chihua mostró una clara estabilidad en la mayoría de sus zonas de monitoreo. Tanto en la zona media como en la zona alta, los valores del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) se mantuvieron constantes en 100 durante todas las fechas evaluadas (febrero, marzo y junio), clasificándose como “Excelente”.

Tabla 03. Resultados obtenidos por cada punto del año 2023. Los valores fueron tomados en campaña lluviosa y seca.

Parámetro	Unidad	Marzo de 2023 – Chihua baja	Junio de 2023 – Chihua baja	Marzo de 2023 – medio Chihua	Junio de 2023 – medio Chihua	Marzo de 2023 – alto Chihua	Junio de 2023 – alto Chihua	Referencia (ECA - Agua)
Estación		Verano austral	Invierno austral	Verano austral	Invierno austral	Verano austral	Invierno austral	
pH	-	7.98	8.07	8.07	8.55	7.46	7.44	≥ 6,5–8,5
Conductividad	μS/cm	171	795	38	190	38	45	≥ 1500
Fosforo	mg/L	0.058	1.089	0.047	0.047	0.047	0.047	≥ 0.1
Arsénico	mg/L	0.0106	0.02215	0.0021	0.01204	0.0001	0.00036	0,01
Cadmio	mg/L	0.00003	0.00003	0.00007	0.00003	0.00003	0.00003	0,003
Cobre	mg/L	0.00342	0.00145	0.00009	0.00032	0.00009	0.00077	2
Cromo	mg/L	0.0003	0.0003	0.0004	0.0006	0.0008	0.0007	0.05
Hierro	mg/L	0.1153	0.0332	0.0888	0.0088	0.3195	0.706	0.3
Manganeso	mg/L	0.0182	0.13195	0.0028	0.00066	0.0341	0.02505	0.4
Mercurio	mg/L	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.001
Plomo	mg/L	0.0006	0.0006	0.0013	0.0006	0.0006	0.0006	0.01
Zinc	mg/L	0.0026	0.0026	0.0026	0.0026	0.0026	0.0026	3
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	17	23	49	1.8	0	0	20

Clasificación

Estación	F1 (Alcance)	F2 (Frecuencia)	F3 (Amplitud)	ICA-PE	Clasificación
Marzo de 2023 – Chihua baja	7.692	7.692	0.00036	93.72	Bueno
Junio de 2023 – Chihua baja	15.385	15.385	0.00808	87.4	Bueno
Marzo de 2023 – medio Chihua	7.692	7.692	0.00858	93.72	Bueno

Junio de 2023 - medio Chihua	15.385	15.385	0.00124	87.4	Bueno
Marzo de 2023 - alto Chihua	8.333	8.333	0.00045	93.20	Bueno
Junio de 2023 - alto Chihua	8.333	8.333	0.00868	93.2	Bueno

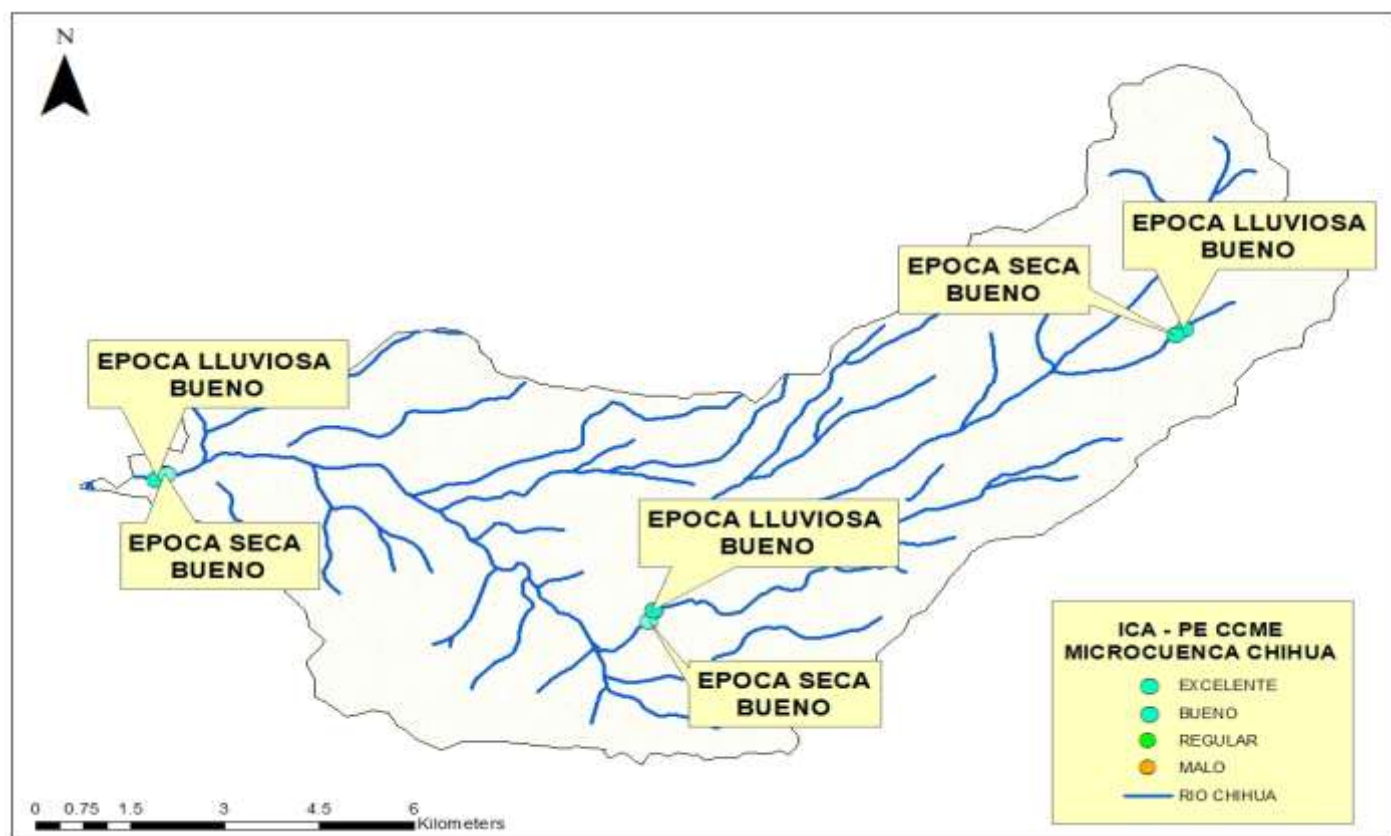


Figura 03. Representación Gráfica del ICA-PE CMME de 2023 (Escala de colores)

Tabla 04. Resultados obtenidos por cada punto en el año 2024. Los valores fueron tomados únicamente en campaña lluviosa y seca.

Parámetro	Unidad	Marzo de 2024 - Chihua baja	Junio de 2024 - Chihua baja	Marzo de 2024 - medio Chihua	Junio de 2024 - medio Chihua	Marzo de 2024 - alto Chihua	Junio de 2024 - alto Chihua	Referencia (ECA - Agua)
Estación		Verano austral	Invierno austral	Verano austral	Invierno austral	Verano austral	Invierno austral	
pH	-	8.16	8.13	7.89	8.36	7.72	7.17	≥ 6,5-8,5

Conductividad	μS/cm	174	754	41	123	30	40	≥ 1500
Fosforo	mg/L	0.095	0.617	0.047	0.055	0.047	0.047	≥ 0.1
Arsénico	mg/L	0.00553	0.01769	0.00096	0.00687	0.00019	0.00028	0,01
Cadmio	mg/L	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0,003
Cobre	mg/L	0.00185	0.00347	0.00067	0.0006	0.00047	0.00049	2
Cromo	mg/L	0.0007	0.0014	0.0003	0.0008	0.0003	0.0003	0.05
Hierro	mg/L	0.3169	0.0724	0.0647	0.0535	0.0483	0.0233	0.3
Manganeso	mg/L	0.01327	0.07664	0.00355	0.00178	0.00331	0.00140	0.4
Mercurio	mg/L	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.001
Plomo	mg/L	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.01
Zinc	mg/L	0.0026	0.0029	0.0026	0.0026	0.0026	0.0026	3
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	6.8	230	1.8	1.8	0	0	20

Clasificación

Estación	F1 (Alcance)	F2 (Frecuencia)	F3 (Amplitud)	ICA-PE	Clasificación
Marzo de 2024 – Chihuahua baja	7.692	7.692	0.00033	93.72	Bueno
Junio de 2024 – Chihuahua baja	23.077	23.077	0.06669	81.2	Bueno
Marzo de 2024 – medio Chihuahua	0	0	0	100	Excelente
Junio de 2024 - medio Chihuahua	0	0	0	100	Excelente
Marzo de 2024 – alto Chihuahua	0	0	0	100	Excelente
Junio de 2024 - alto Chihuahua	0	0	0	100	Excelente

Tabla 05. Los resultados obtenidos por cada punto del año 2025, los valores son tomados únicamente tanto campaña lluviosa y seca.

Parámetro	Unidad	Marzo de 2025 – Chihuahua baja	Junio de 2025 – Chihuahua baja	Marzo de 2025 – medio Chihuahua	Junio de 2025 – medio Chihuahua	Febrero 2025 – Chihuahua	de alto	Junio de 2025 – alto Chihuahua	Referencia (ECA - Agua)
Estación		Verano austral	Invierno austral	Verano austral	Invierno austral	Verano austral		Invierno austral	
pH	-	7.3	8.3	7.01	7.51	7.31		7.62	≥ 6,5–8,5
Conductividad	μS/cm	188	1697	52	231	34		95	≥ 1500
Fosforo	mg/L	0.058	0.694	0.047	0.057	0.047		0.047	≥ 0.1
Arsénico	mg/L	0.0038	0.01919	0.00135	0.00695	0.00014		0.00133	0,01
Cadmio	mg/L	0.00003	0.00003	0.00003	0.00004	0.00003		0.00003	0,003
Cobre	mg/L	0.00105	0.00235	0.00121	0.00166	0.00039		0.00009	2
Cromo	mg/L	0.0003	0.0003	0.0004	0.0015	0.0007		0.0003	0.05
Hierro	mg/L	0.3079	0.0234	0.9697	0.1150	0.0539		0.0013	0.3
Manganeso	mg/L	0.00888	0.11406	0.01545	0.00712	0.00370		0.0003	0.4
Mercurio	mg/L	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009		0.00009	0.001
Plomo	mg/L	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006		0.0006	0.01
Zinc	mg/L	0.0026	0.0026	0.003	0.0026	0.0026		0.0026	3
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	1.8	1.8	1.8	1.8	0		0	20

Clasificación

Estación	F1 (Alcance)	F2 (Frecuencia)	F3 (Amplitud)	ICA-PE	Clasificación
Febrero de 2025 – Chihuahua baja	0	0	0	100	Excelente
Junio de 2025 – Chihuahua baja	15.385	15.385	0.00621	87.4	Bueno
Marzo de 2025 – medio Chihuahua	0	0	0	100	Excelente

Junio de 2025 - medio Chihua	0	0	0	100	Excelente
Febrero de 2025 - alto Chihua	0	0	0	100	Excelente
Junio de 2025 - alto Chihua	0	0	0	100	Excelente

En estas zonas, los valores de F1, F2 y F3 se mantuvieron en cero, indicando ausencia total de parámetros que excedan los estándares de calidad ambiental.

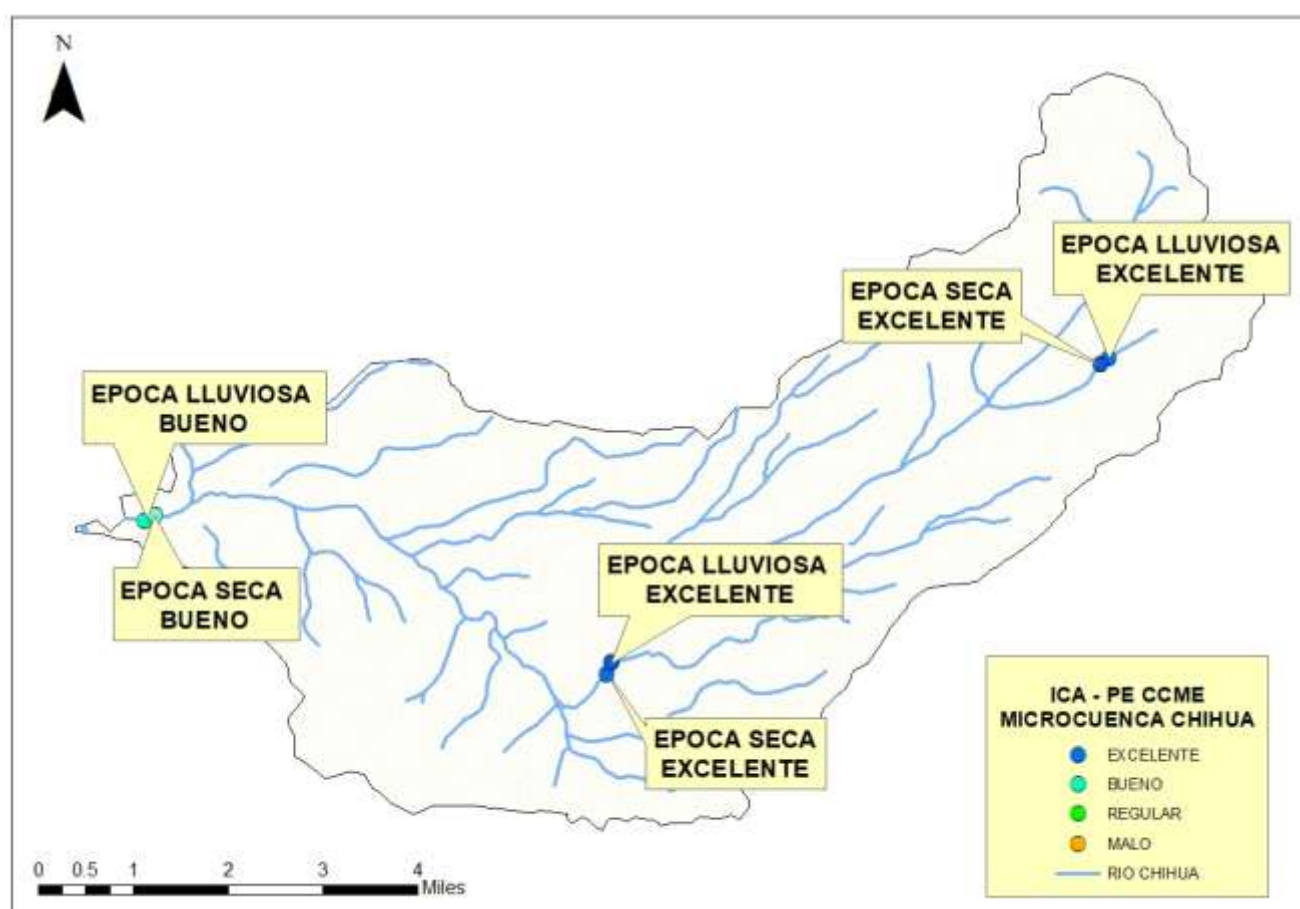


Figura 04. Representación Gráfica del ICA-PE CMME de 2024 (Escala de colores)

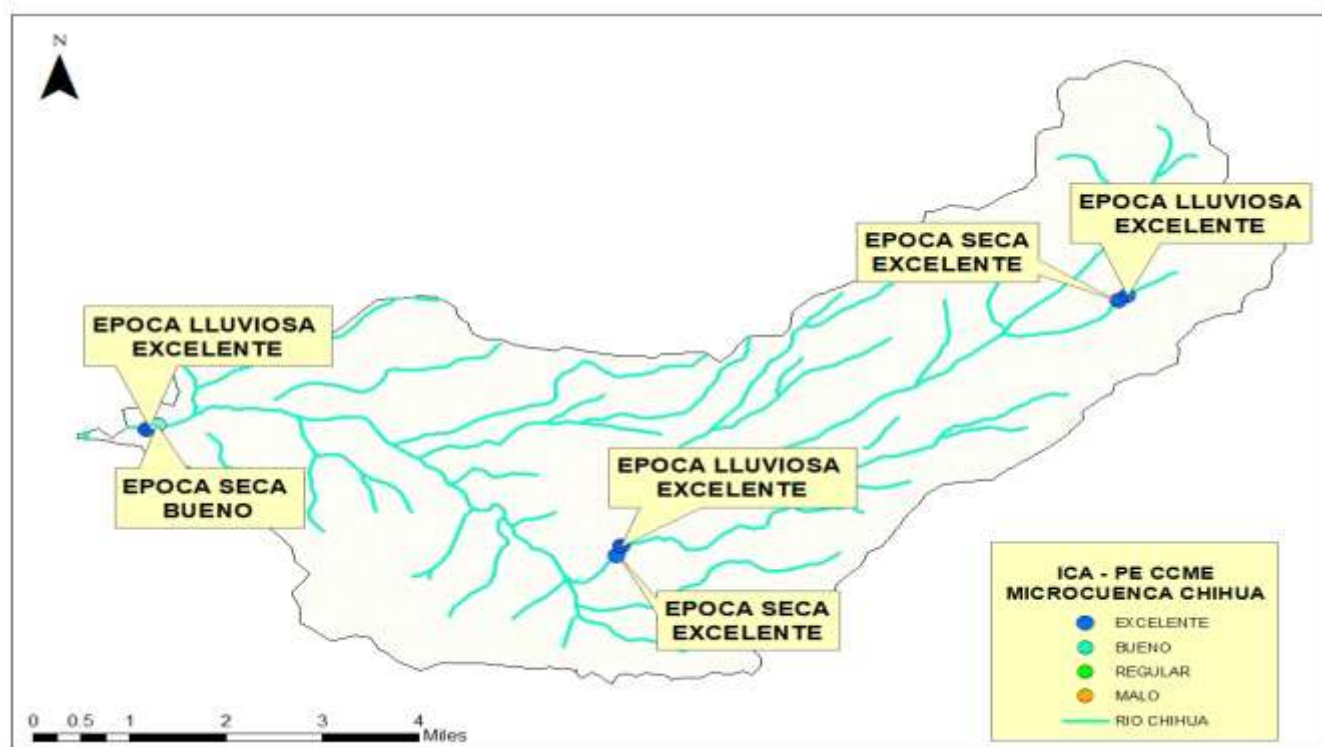


Figura 05. Representación Gráfica del ICA-PE CMME de 2025 (Escala de colores)

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos para los años 2023, 2024 y 2025 indican que la mayor parte del río Chihua mantiene una calidad compatible con los ECA Agua – Categoría 1-2A, evidenciando que sus aguas pueden ser potabilizadas mediante un tratamiento convencional. Las zonas alta y media presentaron valores de ICA-PE clasificados como “Excelente” en todas las campañas, lo que sugiere condiciones hidrológicas favorables, baja presión antrópica y una adecuada conservación del entorno, permitiendo que los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos permanezcan dentro de los límites establecidos por la normativa nacional.

En contraste, la zona baja mostró una mayor variabilidad interanual y estacional, con valores de ICA-PE que alcanzaron la categoría *Buena* durante las temporadas lluviosas. Aunque estos resultados continúan dentro del rango permitido para la categoría 1-2A, revelan la influencia de procesos de escorrentía agrícola, carga orgánica y arrastre de sedimentos que pueden provocar superaciones puntuales de algunos parámetros normativos. Sin embargo, dichas fluctuaciones no comprometen la potabilidad del recurso, siempre que se aplique un tratamiento convencional adecuado, tal como contempla la normativa del MINAM (2017).

En conjunto, los patrones observados en los tres años evaluados confirman que el río Chihua se mantiene como una fuente apta para abastecimiento humano tras un proceso convencional de potabilización. No obstante, la reiterada vulnerabilidad de la zona baja durante la época lluviosa resalta la necesidad de fortalecer la gestión ambiental local, especialmente en la regulación de prácticas agrícolas y el control de descargas domésticas dispersas, con el fin de asegurar el cumplimiento sostenido de los ECA 1-2A y garantizar la protección del recurso hídrico a largo plazo.

CONCLUSIÓN

El análisis integral de la calidad del agua del río Chihua permite concluir que, durante los años evaluados, el sistema hídrico mantiene condiciones generales que respaldan su clasificación dentro de la Categoría 1-2A del MINAM (MINAM, 2017), lo que lo convierte en una fuente viable para procesos de potabilización convencional.

La evidencia obtenida demuestra que la microcuenca Chihua conserva su capacidad de autorregulación y que los tramos alto y medio cumplen un rol clave en la estabilidad del recurso, al actuar como zonas de aporte con mínima alteración antrópica. Sin embargo, el comportamiento registrado en la zona baja revela que este sector representa el punto más crítico del sistema, especialmente durante la temporada lluviosa.

La recurrencia confirma que las presiones externas, principalmente agrícolas y domésticas, generan vulnerabilidad temporal en la calidad del agua. A pesar de ello, las fluctuaciones no alcanzan niveles que comprometan la potabilización, pero sí ponen en evidencia la necesidad de fortalecer medidas de control y prevención para evitar un deterioro progresivo de la microcuenca.

Finalmente, se concluye que la sostenibilidad del río Chihua dependerá de la capacidad de gestión local y comunitaria para reducir las fuentes de contaminación difusa y proteger las áreas funcionales de la cuenca. Mantener el cumplimiento de los ECA 1-2A requerirá intervenciones focalizadas en la zona baja, acompañadas de monitoreo continuo, educación ambiental y mejoras en prácticas agrícolas. Solo mediante estas acciones será posible asegurar la disponibilidad de agua apta para consumo humano en los próximos años.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. (2020). Resolución Jefatural N.° RJ 084-2020-ANA. <https://www.gob.pe/institucion/ana/normas-legales/609248-rj-084-2020-ana>
- ANA, A. N. del A. (2021). PROTOCOLO NACIONAL PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES | SINIA. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/protocolo-nacional-monitoreo-calidad-recursos-hidricos-superficiales>
- Arango, M. C., Álvarez, L. F., Arango, G. A., Torres, O. E., & Monsalve, A. de J. (2021). CALIDAD DEL AGUA DE LAS QUEBRADAS LA CRISTALINA Y LA RISARALDA, SAN LUIS, ANTIOQUIA. *Revista EIA*, 9, 121-141.
- Baque Mite, R., Simba Ochoa, L., Gonzalez Osorio, B., Suatunce, P., Diaz Ocampo, E., & Cadme Arevalo, L. (2021). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador / Quality of water intended for human consumption in a canton of Ecuador. *CIENCIA UNEMI*, 9(20), 109-117. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss20.2016pp109-117p>
- Calvo-Brenes, G. (2021). Nuevo índice para valorar la calidad de aguas superficiales en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 32(4), 104-115. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i4.4796>
- Castellano, E. S. J., Guerrero, C. L. P., & Veloz, D. N. (2021). INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL.
- Cerna-Cueva, A. F., Aguirre-Escalante, C., Wong-Figueroa, B. L., Tello-Cornejo, J. L., & Pinchi-Ramírez, W. (2022). Water quality for irrigation in the Hualaga basin, Peru. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 239-248. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.022>
- Chavesta, I. J. M. (2020). ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES (ICARHS).
- Chávez, J. A. V. (2021). 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>
- Garcés Alvear, M. F. (2021). Efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas del río Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/34004>
- Germannerio, F. (2020, abril 19). Conoce las Lagunas de Razuhuillca en Huanta, Ayacucho. Viajar Por Perú. <https://blog.redbus.pe/ayacucho/conoce-las-lagunas-de-razuhuillca-en-huanta/>
- Huertos, E. G., & Baena, A. R. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados.
- INACAL. (2021). Solicitar calibración de instrumentos de medición (metrológica). <https://www.gob.pe/9842-solicitar-calibracion-de-instrumentos-de-medicion-metrologica>
- ISO, 24510. (2021). ISO 24510:2007(es). <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:24510:ed-1:v1:es>
- Khan, H., Khan, A. A., & Hall, S. (2021). The Canadian water quality index: A tool for water resources management. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/242689965_The_Canadian_water_quality_index_a_tool_for_water_resources_management
- Kung, H., Ying, L., & Liu, Y.-C. (2020). A COMPLEMENTARY TOOL TO WATER QUALITY INDEX: FUZZY CLUSTERING ANALYSIS1. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1752-1688.1992.tb03174.x>
- Mendoza, M. V., & Pardo, G. V. T. (2024). EVALUACIÓN DEL PARÁMETRO PARASITOLÓGICO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PUCA PUCA Y SU CONTAMINACIÓN EN EL RÍO CHIHUA, DISTRITO DE HUANTA, AYACUCHO, 2024.
- MINAM. (2017). Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM. Ministerio del Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2017-minam/>

- Miranda, M., Aramburú, A., Junco, J., & Campos, M. (2021). SITUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO EN HOGARES DE NIÑOS MENORES DE CINCO AÑOS EN PERÚ, 2007-2010. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*.
- OMS. (2021). Agua para consumo humano. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Ortega, M. M. S. (2021). El recurso hídrico no es infinito, es un problema que afecta a Costa Rica y el mundo. *Revista Médica de Costa Rica y Centroamérica*, 66(589), 255-259.
- Paredes, K. O. (2023). EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA DEL RÍO CHOQUECHACA PARA EL RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDA DE ANIMALES DISTRITO DE YUNGUYO, 2023. 2023.
- Rodríguez Miranda, J. P., Serna Mosquera, J. A., & Sánchez Céspedes, J. M. (2023). Índices de calidad en cuerpos de agua superficiales en la planificación de los recursos hídricos. *Revista Logos Coastal Wetland. Agronomy*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/agronomy12020486>
- Zhang, X., Liu, Y., Zhao, W., Li, J., Xie, S., Zhang, C., He, X., Yan, D., & Wang, M. (2023). Impact of Hydro-
Ciencia & Tecnología, 8(1), 159-167. <https://doi.org/10.22335/rlct.v8i1.306>
- Rojas, L. V., Macías, N. A., & Fonseca, D. F. (2021). El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. *Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo*, 10(18). <https://cmad.ama.cu/index.php/cmاد/article/view/141>
- Serna Mosquera, J. A. (2021). Propuesta de índice de calidad del agua, como herramienta para el desarrollo sustentable en cuerpos de aguas superficiales de la ciudad de Bogotá. <https://hdl.handle.net/11349/13166>
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2022). 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.
- Vela, R. J. M. (2023). INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL.
- Vera-Herrera, L., Romo, S., & Soria, J. (2022). How Agriculture, Connectivity and Water Management Can Affect Water Quality of a Mediterranean logical Changes on Wetland Landscape Dynamics and Implications for Ecohydrological Restoration in Honghe National Nature Reserve, Northeast China. *Water*, 15(19), 3350. <https://doi.org/10.3390/w15193350>