



ARTÍCULO ORIGINAL

## COMPORTAMIENTO ESPACIO TEMPORAL DE ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO IAVE

### TEMPORAL SPACE BEHAVIOR OF THE WATER QUALITY INDEX IN THE ILAVE RIVER WATERSHED

Luz Marina Teves Ponce<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional del Altiplano, Escuela de Posgrado, Puno.

#### RESUMEN

La disponibilidad de agua es imprescindible para la salud humana y el ecosistema. Este estudio tuvo como objetivo principal ver el comportamiento espacio temporal de la calidad del agua del río Ilave, mediante el empleo del Índice de Calidad de Agua -Perú, puntualmente del ICA-PE, para la investigación presente se ha trabajado con 10 puntos de monitoreo (Rchil., Rcond., Rmall., R. Grand3., R.chic., R.huen1., R.Huen., RIlav0., RIlav3., RIlav4), en dos épocas del año: épocas de estiaje y época húmeda, se analizaron 14 parámetros que comprende el periodo 2015 – 2020. Para parámetros físico-químico y biológicos (pH, conductividad eléctrica, fosforo, DBO, arsenico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, plomo, zinc y coliformes termotolerantes), se ha tomado la categorización de cuerpos de agua emitida por la ANA, y los ECA, aprobada por D.S. N° 004-2017-MINAM. Los resultados del ICA-PE muestran para la categoría 3-D1 “bueno”, para la categoría 4-E2 es “bueno” y para la categoría 1-A2 también es “bueno”, exceptuando en el punto R. Cond., de la misma categoría es “regular”, esto debido a los vertimientos de aguas residuales que influye negativamente en la calidad del agua. se concluye que la calidad del agua en toda la cuenca del río Ilave es “buena”. También podemos indicar que la calidad del agua cambió significativamente a lo largo del río Ilave, y en aguas de corriente arriba y corriente abajo fue mejor que el que está en el medio. Además, la calidad del agua mostró una clara variación estacional en época húmeda y época seca.

**Palabras clave:** Calidad de agua, Índice de calidad de agua, monitoreo, parámetros físico químicos.

#### ABSTRACT

The availability of water is essential for human health and the ecosystem. The main objective of this study was to see the temporal space behavior of the water quality of the Ilave river, through the use of the Water Quality Index -Peru, specifically from the ICA-PE, for the present investigation, 10 monitoring points have been worked on (Rchil., Rcond., Rmall., R. Grand3., R.chic., R.huen1., R.Huen., RIlav0., RIlav3., RIlav4), at two times of the year: dry season and humid, 14 parameters that comprise the period 2015 - 2020 were analyzed. The physical-chemical and biological parameters (pH, electrical conductivity, phosphorus, BOD, arsenic, cadmium, copper, chromium, iron, manganese, mercury, lead, zinc and thermotolerant coliforms), the categorization of water bodies issued by the ANA has been taken, and the ECAs, approved by DS No. 004-2017-MINAM. The ICA-PE results show for category 3-D1 “good”, for category 4-E2 it is “good” and for category 1-A2 it is also “good”, except in point R. Cond., of the same category is “regular”, this due to the dumping of residual waters that negatively influences the quality of the water. It is concluded that quality water in Ilave river basin is “good”. We can also indicate that the water quality changed significantly along the Ilave River, and the upstream and downstream waters were better than the one between both currents. In addition, the quality of the water showed a clear seasonal variation in the wet and dry seasons.

**Keywords:** Monitoring, physical-chemical parameters, water quality, water quality index.

\*Autor para correspondencia: [ltevesp@unap.edu.pe](mailto:ltevesp@unap.edu.pe)

ORCID: <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0001-7720-2864v>

Downloadable from : <http://revistas.unap.edu.pe/epg>

Av. Floral N° 1153, Ciudad Universitaria, Pabellón de la Escuela de Posgrado, tercer piso oficina de Coordinación de investigación. Teléfono (051) 363543



## INTRODUCCIÓN

La degradación de la calidad del agua es uno de los problemas ambientales legítimos de preocupación mundial. (Zieliński *et al.* 2016); (Valappil *et al.* 2020), que amenaza a la sociedad y los ecosistemas naturales (Wang *et al.* 2020). Cambios causados por las actividades humanas que afectan el medio ambiente acuático (Vatanpour *et al.* 2020). Estudios anteriores han demostrado que la urbanización, así como las actividades industriales y agrícolas, están fuertemente armonizadas con indicadores de contaminación del agua (Cheng *et al.* 2018; Bu *et al.* 2014). La falta de instalaciones de tratamiento de aguas residuales, singularmente en las zonas urbanas, es una de las razones del deterioro de la calidad del agua (Ferreira *et al.* 2017).

La cuenca del río Ilave es una de los afluentes principales del Lago Titicaca y con un gran potencial de recursos hídricos, esto debido a la existencia de las sub cuencas en la zona Alta de Ilave el río Chichillape, el río Llusta (río Ilusta bajo), el río Ayupalca, el río Conduriri y el río de Aguas Calientes, que desemboca directamente en el cauce del río Ilave. Mirando el nivel freático, hay 3244 fuentes agua en la cuenca del río Ilave, así como 1836 manantiales, 1300 quebradas, 67 ríos, 27 pantanos y 14 lagunas (ANA 2009).

A sí mismo, la cuenca del río Ilave está compuesta por dos subcuencas principales, el río Aguas Calientes y el río Huenque, que en conjunto forman el río Ilave y luego se fusionan con el Lago Titicaca, durante la estación húmeda, despliega una carga de grandes cantidades de materiales de diversas variedades, en cambio en época de estiaje el agua empieza a empozar en las zonas plana, incluso en el interior de los arroyos (Pari 2015).

De otra parte, la cuenca del río Ilave recibe el aporte de varias corrientes, así como aguas residuales municipales e industriales y botaderos de residuos sólidos no autorizados de los diferentes sectores de la población, estas aguas son empleados para riego agrícola generalmente en la parte baja de la cuenca y para uso de bebida de animales en la parte media y alta de la cuenca (MINAGRI & ANA 2017).

Según (Mejia *et al.* 2023), los ríos son cursos de agua naturales susceptibles a cambios debido al

calentamiento global (Xie *et al.* 2013) y a las características de las cuencas hidrográficas (Zhang *et al.* 2018) la calidad de sus aguas, cambian naturalmente, a lo largo de su curso y con el tiempo, debido a la mezcla de componentes ambientales. También podemos indicar que las actividades humanas cambia irreversiblemente las propiedades físicas, químicas y las biológicas del agua (Torres 2016). Sus principales comienzos de (Singh *et al.*, 2005) contaminación de estos sistemas es por escorrentía urbana e industrial, así como por la escorrentía de retorno generada por las actividades agrícolas (Grael & Carrillo, 2006). Pero, una de las desventajas de la calidad del agua es su carácter multidimensional de la “pureza del agua”. La explicación de los datos logrados en el monitoreo de agua puede ser un trabajo difícil y en muchos momentos de complicado entendimiento para el público en general (Valdes *et al.* 2011).

Por otro lado, las variaciones de sus propiedades físicas y químicas de calidad de agua, están afectados por los elementos antropogénicos y la interrelación combinada de numerosos cambios naturales tales como erosión natural, los entornos geológicas y otros (ANA 2016). Estudios anteriores reportan el aspecto de compuestos orgánicos constantes, de baja de toxicidad y elevadas concentraciones, materia orgánica y nutrientes, aguda en la cuenca del río Ilave y varios de sus afluentes (Guzmán *et al.* 2011).

También podemos indicar que, estas ilustraciones no ofrecen una perspectiva global del agua, la realidad y tampoco evalúan los cambios en todo el trayecto las concentraciones de lo primordial de los contaminantes, ni su diversificación temporal, especialmente en los tiempos de lluvia y sequía. La meta del actual trabajo fue valorar los cambios en el espacio y el tiempo de los contaminantes presentes en el agua del río Ilave, en la provincia de El Collao. El estudio también propone el uso de un índice global de la calidad del agua (IGCA), basado en el índice desarrollado por el Consejo canadiense de Ministros de Medio Ambiente

(CCME) para el río Alberta (Guzmán 2011). En cuanto al índice se calculó asignando subíndices

independientes que agrupan contaminantes relacionados.

El **Índice** de calidad del agua (WQI) adiciona (Uddin *et al.* 2022) datos complejos y facilita una puntuación que refleja el estado de la calidad del agua para usuarios y **reguladores** (Ramos *et al.* 2016). El WQI es una herramienta efectiva y útil para evaluar la idoneidad de la calidad del agua para varios usos, como el suministro público (Tyagi *et al.* 2020; Bhutiani *et al.* 2016) y suministra un punto de referencia para evaluar la gestión de los recursos hídricos. Estrategia (Bordalo *et al.* 2006).

**MÉTODOS**

**Ámbito o Lugar de Estudio**

**Tabla 1.** Red de estaciones de monitoreo de la calidad del agua superficial del río Ilave y sus tributarios

N°	Categorías del ECA	Pto. de Monitoreo	Descripción	Coordenadas UTM- WGS84 Zona 19		Altura (msnm)
				Este	Norte	
01	E2	Rchil	Río Chilisaya después del puente	422981	8146795	
02	A2	Rcond	Río Conduriri, aguas arriba del puente conduriri	423951	8162149	
03	A2	Rmall	Río Malcomayo	390632	8233569	3977
04	A2	R.Grand3	Río Aguas caliente, antes de la confluencia del río Ilave	422536	8207708	
05	E2	R.chic	Río Chichillapi, antes de la confluencia del río Llusta	423206	8128090	3842
06	E2	R.huen1	Río Huenque, antes de la confluencia con el Río Conduriri	426168	8150814	
07	A2	R.Huen	Río Huenque, antes de la confluencia con el río Ilave	422563	8207671	
08	A2	Rilav0	Río Ilave después del centro poblado Chijichaya	426070	8213160	
09	D1	Rilav3	Río Ilave, aguas abajo del camal municipal	434043	8228760	
10	D1	Rilav4	Río Ilave, a 2Km antes del ingreso	451660	8228760	

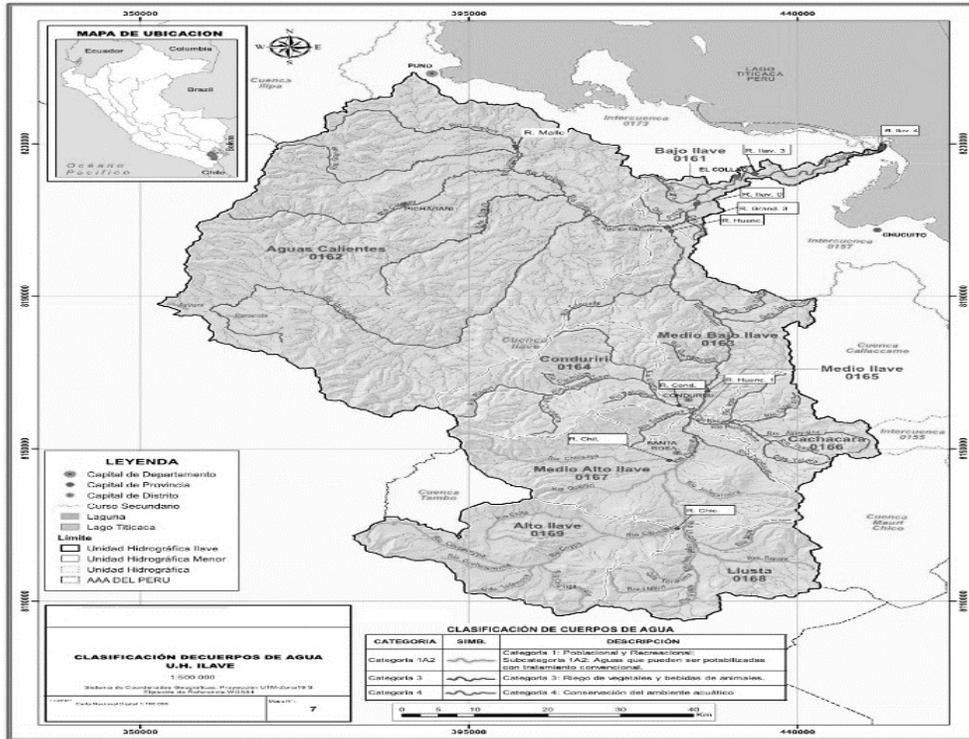
**Fuente.** Elaboración SDGCRH-ANA-2017 (MINAGRI & ANA 2017)

**Datos de calidad del agua y variables hidrológicas**

Los datos de calidad de agua (pH, potencial hidrogeniónico; C.E., conductividad eléctrica; nitrito; DBO, demanda bioquímica de oxígeno; arsénico, Ar; cadmio, Cd; cobre, Cu; cromo, Cr; hierro, Fe; manganeso, Mn; mercurio, Hg; plomo, Pb; zinc, Zn y coliformes termo

El presente estudio se desarrolló en el Departamento de Puno, en la Cuenca del río Ilave, evaluando el comportamiento de la calidad de agua de la cuenca Ilave en los periodos comprendidos entre los años 2015 al 2020, tomando como base de datos a los monitoreos participativos. Dicho trabajo se efectuó a partir de la compilación de información secundaria formada por la Autoridad Nacional del Agua por los trabajos ejecutados de la aplicación de los instrumentos de gestión de la calidad de los recursos hídricos como son la identificación de fuentes contaminantes en el contorno de la cuenca del río Ilave y los puntos de monitoreo representativos de la calidad de las aguas superficiales del río Ilave (Tabla 1).

tolerantes, col. Fec.) fueron recolectados de la base de datos de la Autoridad Nacional del Agua Puno de ANA, entre los años 2015 al 2020, con periodicidad de muestreos bimestrales, distribuidos en diez (10) estaciones de monitoreo a lo largo de la cuenca del río Ilave. Los respectivos puntos de seguimientos se muestran en la Figura 1. El protocolo de toma de muestra y análisis utilizado por ANA siguió las recomendaciones de APHA (2005).



**Figura 1.** Esquema de la red de estaciones de monitoreo de calidad del agua del río Ilave y sus tributarios. Fuente: Elaboración (MINAGRI & ANA 2017)

**Cálculo del WQI canadiense (CCME WQI)**

El CCME WQI se considera un índice dinámico porque permite elegir las variables a considerar al evaluar la calidad del agua (Silva *et al.* 2017); (Ramya & Vasudevan 2019); (Lobo *et al.* 2020). Este método normaliza todas las variables e incluye tres factores, llamados F1, F2 y F3, respectivamente, o rango, frecuencia y amplitud (Sutadian *et al.* 2016; CCME 2017). Este índice ha sido utilizado a nivel mundial como (Jeronimo & Souza 2013); Perrin *et al.* 2018). El cálculo CCME WQI combina tres factores (F1, alcance; F2, frecuencia; F3, amplitud) (ecuaciones 1, 2 y 3). F1 corresponde al número de variables cuyos valores se encuentran fuera de los límites establecidos por la norma ambiental y F2 es la frecuencia con la que los análisis tienen resultados fuera de las normas de

calidad del agua. F3 incluye en su cálculo la desviación de los factores y la suma normalizada de las desviaciones. La desviación se determina analizando el valor individual de la variable y determinando si representa un valor

fuera del límite de referencia establecido por la norma, ya sea el valor más pequeño (ecuación 6) o el más grande (ecuación 5). La desviación estándar total se refiere al número total de pruebas fallidas individuales, donde las desviaciones de las pruebas individuales se suman y el resultado se divide por el número total de muestras analizadas (ecuación 4). Estos factores se combinan para producir un valor único entre 0 y 100, que indica la calidad del agua (ecuación 7) (CCME 2017) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Factores del CCME WQI

Factor	Ecuación	N° de ecuación
F1 - alcance	$F1 = \left( \frac{\text{Numero de variables fallidas}}{\text{Numero total de variables}} \right) \times 100$	1
F - 2	$F2 = \left( \frac{\text{Numero de pruebas fallidas}}{\text{Numero total de pruebas}} \right) \times 100$	2
F - 3	$F3 = \left( \frac{nse}{0,01nse + 0,01} \right)$	3
	$nse = \left( \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excelente}_i}{\text{Total de pruebas}} \right)$	4
	$\text{Excedente}_i = \left( \frac{\text{Valor del dato que no cumple el ECA Agua}}{\text{Valor establecido del dato en el ECA Agua}} \right) - 1$	5
	$\text{Excedente}_i = \left( \frac{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA Agua}}{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA Agua}} \right) - 1$	6
CCME WQI	$CCME_{WQI} = 100 - \left( \sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}} \right)$	7

Fuente: (CCME 2017)

Se utilizó Excel para calcular el ICA de Canadá. Variables consideradas en el escenario para calcular esta tasa. La determinación de la calidad del agua se basó en los estándares de calidad ambiental (ECA) clases 1-A2; 3- D1 y 4 - E2 D.S. 004-2017 Norma peruana del MINAM y parámetros determinados por la clasificación del Nomograma de Riverside (USDA).

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Variación estacional y espacial de parámetros fisicoquímicos en agua**

Los parámetros estadísticos como el promedio y comparación de las variables en cada categoría. Los resultados de la categoría A2 se presentan en la **tabla 3**. Los valores medios de pH de las cinco estaciones variaron entre 8,19 y 8,51, y todos los valores medidos se encontraban en el rango alcalino. Según (Peng *et al.* 2021) los valores de pH en aguas naturales se encuentran entre 6,5 y 8,5; se pueden observar valores mayores en aguas eutróficas y valores menores en aguas con materia orgánica; por tanto, permanecen dentro del alcance natural de los puntos de seguimiento. Existe una diferencia estadística significativa en el valor del pH de cada grado y temporada. Los valores de pH elevados se deben a causas naturales de

acidificación del agua y del aire debido a la presencia de sólidos sulfurados de la corteza terrestre. (MINAGRI & ANA 2017). Sitios de monitoreo como el río principal, formado por los ríos Llusta, Huenque e Ilave e importantes afluentes: los ríos Chila, Conduriri, Chilasaya, Blanco y Grande, registraron un pH de 7.00, lo que se debe a la neutralización natural del agua. . cuerpos Valor medido de arsénico clase 1-A2 en las estaciones de R. Huenc. y R. Ilav 0 pasa RCT, obteniendo 0,022 ppm y 0,016 ppm. En la

clase 3-D1 los valores obtenidos en los puntos R. Ilav 3 y R. Ilav 4 fueron de 0,012 ppm y 0,013 ppm. El arsénico es un metaloide que puede ser tóxico. Ocurre naturalmente en ciertos suelos. Cuando el arsénico entra en contacto con el agua subterránea, se agrega a través de soluciones (Valencia 2007). la aparición de arsénico es por una causa natural debido a la composición química geológica, debido a que sus tributarios tienden a aparecer con orígenes termales según (Lopez 2018). Estos resultados tienen relación con lo que sostiene (Smedley & Kinniburgh 2002), que indican que las concentraciones de As observadas en agua dulce están por debajo de 10 µg/L y, a menudo, por debajo de 1 µg/L.

Cuando se controlan los coliformes termosensibles en R.Ilav 3, se obtiene 4060 NMP/100 ml, lo que supera el ECA. Los efectos de sustancias que contienen más de 1000 NMP/100 ml ECA-3 (ANA 2018), se deben a la contaminación fecal de efluentes domésticos no tratados a los cuerpos receptores (ríos, quebradas) y otros de los factores. Las cargas microbianas son necesarias en las áreas urbanas (abajo) porque el número total de coliformes

aumenta dramáticamente debido a la eliminación de aguas residuales municipales y a las actividades ganaderas, cuyos desechos como estiércol y lodos aumentan las concentraciones de coliformes (Choque *et al.* 2021). De manera similar, los recursos hídricos se degradan por la escorrentía superficial y la lixiviación del suelo, que afectan su calidad bacteriológica (Pu *et al.* 2021) (Tabla 3).

**Tabla 3:** Parámetros a evaluar en la categoría 1-A2

Parámetros a evaluar		ECA		R. Malc	R.	R. Cond	R. Huenc	R. Ilav 0
		Cat.1-A2		Grand 3				
<b>pH</b>		6.5	8.5	8,246	8,513	8.191	8,292	8,284
<b>Conductividad</b>	μS/cm	2500,000		643,945	443.200	181,209	672,136	571,327
<b>Nitritos</b>	mg/L	0,000		0,007	0.000	0,008	0,012	0,006
<b>DBO</b>	mg/L	5,000		4,145	2.709	2,118	2,118	2,418
<b>Arsenico</b>	mg/L	0,010		0,004	0.007	0,006	0,022	0,016
<b>Cadmio</b>	mg/L	0,005		0,000	0.000	0,000	0,000	0,000
<b>Cobre</b>	mg/L	2,000		0,001	0.002	0,012	0,002	0,003
<b>Cromo</b>	mg/L	0,050		0,001	0.001	0,000	0,000	0,001
<b>Hierro</b>	mg/L	1,000		0,444	0.180	0,203	0,224	0,206
<b>Manganeso</b>	mg/L	0,400		0,171	0.035	0,026	0,043	0,165
<b>Mercurio</b>	mg/L	0,002		0,001	0.000	0,000	0,000	0,000
<b>Plomo</b>	mg/L	0,050		0,001	0.003	0,001	0,000	0,001
<b>zinc</b>	mg/L	5,000		0,010	0,012	0,016	0,017	0,037
<b>Colif. Termotol.</b>	NMP/100ml	2000,000		219,671	120,317	385,309	62,936	254,727

La clase 3-D1 de la midió valores de pH más altos de 9,07 Tabla 5 con un valor de 9,07 (Tabla 4 y Tabla 5) entre 8,59 y 9,05 y el puntaje de R. Chic con un valor 5).

**Tabla 4:** Parámetros a evaluar en la categoría 3-D1

Parámetros a evaluar	ECA	Cat.3-D1	R. Ilav 3	R. Ilav 4
<b>pH</b>	<b>6,5</b>	<b>8,5</b>	8,588	8.837
<b>Conductividad</b>	2500,000		718,691	627,236
<b>Nitritos</b>	10,000		0,019	0,011
<b>DBO</b>	15,000		2,318	2,400
<b>Arsenico</b>	0,100		0,012	0,013
<b>Cadmio</b>	0,010		0,000	0,000
<b>Cobre</b>	0,200		0,002	0,002
<b>Cromo</b>	0,100		0,001	0,002
<b>Hierro</b>	5,000		0,189	0,196
<b>Manganeso</b>	0,200		0,161	0,177
<b>Mercurio</b>	0,001		0,000	0,000
<b>Plomo</b>	0,050		0,001	0,001
<b>zinc</b>	2,000		0,031	0,019
<b>Colif. Termotol.</b>	1000,000		4060,818	281,800

**Tabla 5:** Parámetros a evaluar en la categoría 3-D1

Parámetros a evaluar	ECA	Cat.4-E2	R. Chil	R. Chic	R. Huenc. 1
<b>pH</b>	6,5	8,5	7,325	9,069	8,224
<b>Conductividad</b>	2500,000		142,265	299,336	378,991
<b>Nitritos</b>	0,000		0,014	0,007	0,012
<b>DBO</b>	10,000		2,473	2,500	2,209
<b>Arsenico</b>	0150		0,008	0,029	0,031
<b>Cadmio</b>	0,000		0,000	0,000	0,000
<b>Cobre</b>	0,100		0,001	0,001	0,002
<b>Cromo</b>	0,000		0,000	0,001	0,001
<b>Hierro</b>	0,000		0,527	0,463	0,236
<b>Manganeso</b>	0,000		0,035	0,028	0,034
<b>Mercurio</b>	0,000		0,000	0,000	0,000
<b>Plomo</b>	0,003		0,000	0,001	0,000
<b>zinc</b>	0,120		0,009	0,018	0,019
<b>Colif. Termotol.</b>	2000,000		497,164	180,072	106,664

**ICA del WQI canadiense (CCME WQI)**

La conclusión final de los índices de calidad ambiental del agua-ICA. las épocas, R. Ilav. 3 y R. Ilav. 4, dentro del rango 80- 94, califican la calidad de agua como “Bueno”.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene (Wu *et al.* 2020), quien en su investigación encontró en un rango de 71,70 al 90,12 lo que explica que la calidad del agua en general fue buena en toda la cuenca del río Beyun-China (Tabla 6),

**Tabla 1:** Resultados ICA-PE- Cuenca Ilave – Cat. 3-D1

Monitoreo de la Cuenca Ilave 2015-2020				
N°	Punto de Monitoreo	Cuerpo de Agua	Resultado ICA-PE	
3	R. Ilav.3	Rio Ilave 3	82,171	Bueno
4	R. Ilav. 4	Rio Ilave 4	90,76	Bueno

El resultado final del índice de calidad de agua –ICA. Las Estaciones R. Mall., R. Grand. 3 y R. Huenc. , se encuentra en la escala 80-94, que califica la calidad de agua como “Bueno”; en la estación R. Cond. Se encuentra en el nivel 45-).

64, que considera la calidad de agua como “Regular” y la época R. Ilav. 0, se halla en la escala 95-100, que la propiedad de agua como “Excelente” (Tabla 7)

**Tabla 2:** Resultados ICA-PE- Cuenca Ilave – Cat. 1-A2

Monitoreo de la Cuenca Ilave 2015-2020				
N°	Punto de Monitoreo	Cuerpo de Agua	Resultado ICA-PE	
1	R. Mallc.	Rio Mallcomayo	83,229	Bueno
2	R. Grand. 3	Rio Grande 3	87,255	Bueno
3	R. Cond.	Rio Condorena	64,164	Regula
4	R. Huenc.	Rio Huenque	91,397	Bueno
	R. Ilav. 0	Rio Ilave 0	95,612	Excelente

La conclusión de los índices de Calidad ambiental del agua –ICA. Las estaciones de

monitoreo R. Chill., R. Chic. , R. Huenc. 1, se encuentran en el rango de 80-94, que califica la calidad de agua como “Bueno” (Tabla 8).

**Tabla 3:** Resultados ICA-PE- Cuenca Ilave – Cat. 4-E2

Monitoreo de la Cuenca Ilave 2015-2020				
N°	Punto de Monitoreo	Cuerpo de Agua	Resultado ICA-PE	
1	R. Chil.	Rio Chilisaya	94,897	Bueno
2	R. Chic.	Rio Chichillapi	89,129	Bueno
3	R. Huenc. 1	Rio Huenque 1	82,171	Bueno

Se observó una investigación similar de (Teshome 2020). Un valor de WQI más alto en ambas estaciones también indicó que el cuerpo de agua se ha convertido en un estado hipertrófico con una carga excesiva de nutrientes contaminantes.

### CONCLUSIÓN

De acuerdo con los criterios físico-químicos, la calidad del agua superficial de la cuenca del Ilave fue relativamente normal en diez localidades de muestreo y en dos temporadas (época seca y temporada de inundaciones) en 2015-2020; Sin embargo, se observaron valores ligeramente elevados para parámetros como pH, As y Mn. En cuanto a los parámetros biológicos, también cumplen con las normas R. Además de los puntos de Ilav. 3 y R. Ilav. 4 Los coliformes resistentes al calor superan el LMP en seis años.

Según la metodología, el método ICA-PE puede ser más efectivo porque tiene la ventaja de que tenemos que comparar si diferentes actividades en la cuenca afectan la calidad del agua. En general se puede afirmar que la calidad del agua de la cuenca del Ilave es “buena” según la clasificación ICA-PE para seis años y en sus tres categorías. Excepto en la categoría 1-A2, en R. Cond. Obteniendo “regular” De hecho, la calidad del agua en Ilave ha cambiado significativamente y la calidad del agua en los tramos superior e inferior era en general mejor que en el tramo medio. Además, la calidad del agua mostró una clara variación estacional, y la calidad del agua fue mejor durante las estaciones lluviosas y secas.

El resultado demostró que la tierra agrícola y la tierra residencial rural tenían efectos adversos

sobre la calidad del agua, mientras que la proporción de tierra urbana tenía una correlación positiva con la calidad del agua. Debe notarse el impacto de las actividades de vida de los residentes rurales en la calidad del agua. Según los resultados de la investigación, la mejora de la tasa de recolección de aguas residuales y la capacidad de tratamiento y la cantidad adecuada de fertilizante son la base de la mejora de la calidad del agua. Creemos que nuestra investigación aporta sugerencias efectivas para la gobernanza y protección del río Ilave.

### REFERENCIAS

- ANA. 2009. Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca Ilave (M. de Agricultura (ed.)). 2009.
- ANA. 2016. Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales.pdf (p. 92). 2009.
- ANA. 2018. Informe de técnico de monitoreo UH ILave cut: 219906-2018.
- Bhutiani, R., Khanna, D. R., Kulkarni, D. B., & Ruhela, M. 2016. Assessment of Ganga river ecosystem at Haridwar, Uttarakhand, India with reference to water quality indices. *Applied Water Science*, 6(2), 107–113. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0206-6>
- Bordalo, A. A., Teixeira, R., & Wiebe, W. J. 2006. A water quality index applied to an international shared river basin: The case of the Douro River. *Environmental Management*, 38(6), 910–920. <https://doi.org/10.1007/s00267-004-0037-6>

- Bu, H., Meng, W., Zhang, Y., & Wan, J. 2014. Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin, China. *Ecological Indicators*, 41, 187–197. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.02.003>
- CCME. 2017. CCME Water Quality Index user's manual 2017 Update. *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*, 1–5. [http://www.ccme.ca/files/Resources/calculators/WQI User's Manual \(en\).pdf](http://www.ccme.ca/files/Resources/calculators/WQI%20User's%20Manual%20(en).pdf)
- Cheng, X., Chen, L., Sun, R., & Kong, P. 2018. Land use changes and socio-economic development strongly deteriorate river ecosystem health in one of the largest basins in China. *Science of the Total Environment*, 616–617, 376–385. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.316>
- Choque, D., Ligarda, C. A., Solano, A. M., Ramos, B. S., Quispe, Y., Choque, Y., & Kari, A. 2021. Water quality index in the high-Andean micro-basin of the Chumbao River, Andahuaylas, Apurímac, Peru. In *Tecnología y Ciencias del Agua* (Vol. 12, Issue 1). <https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2021-01-02>
- Ferreira, A. R. L., Sanches Fernandes, L. F., Cortes, R. M. V., & Pacheco, F. A. L. 2017. Assessing anthropogenic impacts on riverine ecosystems using nested partial least squares regression. *Science of the Total Environment*, 583, 466–477. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.106>
- Grael, C. E., & Carrillo, C. M. E. 2006. Calidad del agua del río Zanatenco en el estado de Chiapas. *Ingeniería*, 10(3), 35–42. <https://doi.org/http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen10/calidad.pdf>
- Guzmán, Gilda. 2011. *Estudio sobre los niveles de contaminación de los cuerpos superficiales y subterráneos relacionados con el cause del Río San Pedro* [Universidad Autónoma de Aguas Calientes]. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/123456789/848>
- Guzmán, Gilda, Thalasso, F., Ramírez, M., Rodríguez, S., González, J., Guerrero, A., & Barrera, F. 2011. Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el estado de Aguascalientes, México Gilda. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 27(2), 115–127. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.490>
- Jeronimo, C. E. de M., & Souza, F. R. S. 2013. Determinação Do Índice De Qualidade Da Água Da Lagoa De Extremoz-Rn: Série Temporal E Correlação a Índices Pluviométricos. *Revista Eletrônica Em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 10(10), 2219–2232. <https://doi.org/10.5902/223611707888>
- Lobo, M. T. M. P. S., Scalize, P. S., Kraus, C. N., da Silva, W. J., Garnier, J., da Motta Marques, D., Bonnet, M. P., & de Souza Nogueira, I. 2020. Biological index based on epiphytic diatom assemblages is more restrictive than the physicochemical index in water assessment on an Amazon floodplain, Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(10), 10642–10657. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07658-y>
- Lopez, S. 2018. *Evaluación de la calidad de agua respecto a metales pesados presentes en el río Tambo Provincia de Islay 2016-2018*.
- Mejia, F. H., Ouellet, V., Briggs, M. A., Carlson, S. M., Casas-Mulet, R., Chapman, M., Collins, M. J., Dugdale, S. J., Ebersole, J. L., Frechette, D. M., Fullerton, A. H., Gillis, C.-A., Johnson, Z. C., Kelleher, C., Kurylyk, B. L., Lave, R., Letcher, B. H., Myrvold, K. M., Nadeau, T.-L., ... Torgersen, C. E. 2023. Closing the gap between science and management of cold-water refuges in rivers and streams. *Global Change Biology*, 29(19), 5482–5508. <https://doi.org/10.1111/gcb.16844>
- MINAGRI, & ANA. 2017. *Metodología para la determinación del Índice de Calidad de agua de los recursos hídricos superficiales*

- en el peru (ICA-PE). 44.  
<http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/2440>
- Pari, F. 2015. *Evaluación de los Recursos Hídricos superficiales con Fines de Planeamiento de la cuenca del río Ilave* [Universidad Nacional del Altiplano Puno].  
[https://doi.org/RNAP\\_b4ea8d75b3764b5f8aee1b2126ef15f1](https://doi.org/RNAP_b4ea8d75b3764b5f8aee1b2126ef15f1)
- Peng, C., Huang, Y., Yan, X., Jiang, L., Wu, X., Zhang, W., & Wang, X. 2021. Effect of overlying water pH, temperature, and hydraulic disturbance on heavy metal and nutrient release from drinking water reservoir sediments. *Water Environment Research*, 93(10), 2135–2148.  
<https://doi.org/10.1002/wer.1587>
- Perrin, J. L., Salles, C., Bancon-Montigny, C., Raïs, N., Chahinian, N., Dowse, L., Rodier, C., & Tournoud, M. G. 2018. Comparison of index systems for rating water quality in intermittent rivers. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(2).  
<https://doi.org/10.1007/s10661-017-6396-2>
- Pu, J., Wang, S., Ni, Z., Wu, Y., Liu, X., Wu, T., & Wu, H. 2021. Implications of phosphorus partitioning at the suspended particle-water interface for lake eutrophication in China's largest freshwater lake, Poyang Lake. *Chemosphere*, 263, 128334.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128334>
- Ramos, M. A. G., Bueno de Oliveira, E. S., Pião, A. C. S., Nalin de Oliveira Leite, D. A., & de Franceschi de Angelis, D. 2016. Water Quality Index (WQI) of Jaguari and Atibaia Rivers in the region of Paulínia, São Paulo, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(5).  
<https://doi.org/10.1007/s10661-016-5261-z>
- Ramya, K., & Vasudevan, N. 2019. Performance evaluation of ETP from pesticide manufacturing industry by using WWQI and multivariate statistical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(20), 20595–20609.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-019-05034-z>
- Silva, R. A. S., Maynard, I. N. F., Barbosa, A. Q., Tolle, E. C., Cavalcante, E. B., & Marrques, M. N. 2017. Aplicação de um Índice de Qualidade de Água para o sistema de abastecimento público. *Scientia Plena*, 13(10), 1–7.  
<https://doi.org/10.14808/sci.plena.2017.109917>
- Singh, K. P., Malik, A., & Sinha, S. 2005. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques - A case study. *Analytica Chimica Acta*, 538(1–2), 355–374.  
<https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.02.006>
- Smedley, P. L., & Kinniburgh, D. G. 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17(5), 517–568.  
[https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00018-5)
- Sutadian, A. D., Muttill, N., Yilmaz, A. G., & Perera, B. J. C. 2016. Development of river water quality indices—a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(1), 1–29.  
<https://doi.org/10.1007/s10661-015-5050-0>
- Teshome, F. B. 2020. Seasonal water quality index and suitability of the water body to designated uses at the eastern catchment of Lake Hawassa. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(1), 279–290.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-019-06794-4>
- Torres, L. 2016. *Distribucion Espacio-temporal de la contaminacion del agua del rio Chumbao Andahuaylas, Apurimac, Peru. 2011-2012* [Universidad Nacional de Trujillo].  
<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/4930>
- Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., & Dobhal, R. 2020. Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index. *American Journal*

- of *Water Resources*, 1(3), 34–38.  
<https://doi.org/10.12691/ajwr-1-3-3>
- Uddin, M. G., Nash, S., Rahman, A., & Olbert, A. I. 2022. A comprehensive method for improvement of water quality index (WQI) models for coastal water quality assessment. *Water Research*, 219, 118532.  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118532>
- Valappil, N. K. M., Viswanathan, P. M., & Hamza, V. 2020. Chemical characteristics of rainwater in the tropical rainforest region in northwestern Borneo. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(29), 36994–37010.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-09542-1>
- Valdes, J., Samboni, N. E., & Carvajal, Y. 2011. Desarrollo de un indicador de la calidad del agua usando estadística aplicada, caso de estudio: Subcuenca Zanjón Oscuro. *TecnoLógicas*, 26, 165.  
<https://doi.org/10.22430/22565337.60>
- Valencia, J. 2007. *Estudio estadístico de la calidad de las aguas en la cuenca hidrográfica del río ebro*.
- Vatanpour, N., Malvandi, A. M., Hedayati Talouki, H., Gattinoni, P., & Scesi, L. 2020. Impact of rapid urbanization on the surface water's quality: a long-term environmental and physicochemical investigation of Tajan river, Iran (2007–2017). *Environmental Science and Pollution Research*, 27(8), 8439–8450.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-019-07477-w>
- Wang, S., Xu, Y., Wang, D., Gao, B., Lu, M., & Wang, Q. 2020. Effects of industry structures on water quality in different urbanized regions using an improved entropy-weighted matter-element methodology. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(7), 7549–7558.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-019-07400-3>
- Wu, H., Yang, W., Yao, R., Zhao, Y., Zhao, Y., Zhang, Y., Yuan, Q., & Lin, A. 2020. Evaluating surface water quality using water quality index in Beiyun River, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(28), 35449–35458.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-09682-4>
- Xie, Y., Li, X., Wang, H., & Li, W. 2013. Spatio-temporal variation analysis of hydrochemical characteristics in the Luanhe River Basin, China. *Water Science and Technology*, 67(6), 1332–1338.  
<https://doi.org/10.2166/wst.2013.007>
- Zhang, W., Chen, D., & Li, H. 2018. Spatio-temporal dynamics of water quality and their linkages with the watershed landscape in highly disturbed headwater watersheds in China. *Environmental Science and Pollution Research International*, 25(35), 35287–35300.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-018-3310-6>
- Zieliński, M., Dopieralska, J., Belka, Z., Walczak, A., Siepak, M., & Jakubowicz, M. 2016. Sr isotope tracing of multiple water sources in a complex river system, Noteć River, central Poland. *Science of the Total Environment*, 548–549, 307–316.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.036>