

Artículo Original

Evaluación fisicoquímica y bacteriológica del agua del río chillón

Physicochemical and bacteriological evaluation of the Chillón river water

<https://doi.org/10.52808/bmsa.7e6.624.027>

Juan Manuel Sánchez Soto ¹

<https://orcid.org/0000-0002-3276-6778>

Roberto Carlos Dávila Morán ^{2,*}

<https://orcid.org/0000-0003-3181-8801>

Noemí Zuta Arriola ³

<https://orcid.org/0000-0001-5972-2858>

Fernando Vásquez Perdomo ³

<https://orcid.org/0000-0002-0537-447X>

Alfonso Renato Vargas Murillo ⁴

<https://orcid.org/0000-0003-4205-2215>

Pedro Getulio Villavicencio Guardia ⁵

<https://orcid.org/0000-0003-4640-6711>

Flor Carolina Espinoza Camus ⁶

<https://orcid.org/0000-0003-4650-2498>

Recibido: 08/05/2022

Aceptado: 02/08/2022

RESUMEN

El agua es uno de los compuestos más importantes y abundantes del ecosistema. Todos los organismos vivos de la tierra necesitan agua para su supervivencia y crecimiento. Hasta ahora, sólo La Tierra es el único planeta que tiene alrededor del 70% de agua, pero de ella sólo un muy pequeño porcentaje (0,3%) es apta para el consumo humano. Adicionalmente, el aumento de la demanda de agua como consecuencia de la población crecimiento, agricultura y desarrollo industrial ha obligado a los ambientalistas a determinar las características químicas, físicas y biológicas de los recursos hídricos naturales. La calidad de los recursos hídricos depende en gran medida de parámetros físico-químicos y características biológicas. Evaluar el monitoreo de estos parámetros es esencial para identificar la magnitud y la fuente de cualquier carga contaminante. Estas características pueden identificar cierta condición para la ecología de los organismos vivos y sugerir estrategias apropiadas de conservación y manejo. La disponibilidad de agua de buena calidad es una característica indispensable para prevenir enfermedades y mejorar calidad de vida. En este artículo se evaluó la calidad del agua, desde el punto de vista fisicoquímico y bacteriológico del río Chillón ubicado a 130 km del sur de la ciudad de Lima, Perú. Los resultados concluyeron que el río Chillón, especialmente, aguas abajo, no cumple con los estándares de calidad establecidos según normativa. El cálculo de ICARHS fue de 35,40, lo que categoriza al río Chillón con aguas de pésima calidad. Con los resultados obtenidos, se recomienda a las autoridades e instituciones gubernamentales el apoyo a continuar con el monitoreo de aguas de los ríos como una herramienta eficaz para evaluar su estado ecológico, así como para la protección de su contaminación y de la salud humana.

Palabras clave: río Chillón, parámetros fisicoquímicos, parámetros biológicos, calidad de agua, ICARHS

ABSTRACT

Water is one of the most important and abundant compounds in the ecosystem. All living organisms on earth need water for their survival and growth. Until now, only the Earth is the only planet that has about 70% water, but of it only a very small percentage (0.3%) is suitable for human consumption. Additionally, the increased demand for water as a result of population growth, agriculture, and industrial development has forced environmentalists to determine the chemical, physical, and biological characteristics of natural water resources. The quality of water resources depends largely on physicochemical parameters and biological characteristics. Evaluating the monitoring of these parameters is essential to identify the magnitude and source of any contaminant load. The availability of good quality water is an essential feature to prevent diseases and improve quality of life. In this article, the quality of the water was evaluated from the physicochemical and bacteriological point of view of the Chillón River located 130 km south of the city of Lima, Peru. The results concluded that the Chillón River, especially downstream, does not meet the quality standards established according to regulations. The ICARHS calculation was 35.40, which categorizes the Chillón River as having poor quality water. With the results obtained, it is recommended that government authorities and institutions support the continuation of river water monitoring as an effective tool to assess their ecological status, as well as to protect against contamination and human health.

Keywords: Chillón river, physicochemical parameters, biological parameters, water quality, ICARHS.

¹ Universidad Peruana Los Andes (UPLA). Huancayo, Perú.

² Universidad Continental (UC). Huancayo, Perú.

³ Universidad Nacional del Callao (UNAC). Callao, Perú.

⁴ Universidad Privada de Tacna (UPT). Tacna, Perú.

⁵ Universidad Nacional Hermilio Valdizan (UNHEVAL). Huánuco, Perú.

⁶ Universidad Nacional de Trujillo (UNT). Trujillo, Perú.

*Autor de Correspondencia: rdavila430@gmail.com

Introducción

El agua es uno de los compuestos más importantes y abundantes del ecosistema, entendiéndose que todos los organismos vivos de la tierra necesitan agua para su supervivencia y crecimiento. La superficie de nuestro planeta se compone del 70% de agua, pero de ella sólo un muy pequeño porcentaje (0,3%) es apta para el consumo humano. Adicionalmente, el aumento de la demanda de agua como consecuencia de la población, el crecimiento, la agricultura y el desarrollo industrial, la construcción de edificios ha obligado a los ambientalistas a determinar las características químicas, físicas y biológicas de los recursos hídricos naturales. La disponibilidad de agua de buena calidad es una característica indispensable para prevenir enfermedades y mejorar la calidad de vida, por lo cual es necesario revisar su calidad a intervalos regulares (World Health Organization, 2011; Emeka *et al.*, 2020; Kiliç, 2020; Ubong *et al.*, 2021).

La calidad de los recursos hídricos depende en gran medida de parámetros físico-químicos y características biológicas; a su vez, la química del agua revela mucho sobre los metabolismos del ecosistema y explica una relación general hidro-biológica. Evaluar el monitoreo de estos parámetros es esencial para identificar la magnitud y la fuente de cualquier carga contaminante. Estas características pueden identificar cierta condición para la ecología de los organismos vivos y sugerir estrategias apropiadas de conservación y manejo (Basavaraja Simpi *et al.*, 2011; Akter *et al.*, 2020).

Algunos microorganismos causantes de enfermedades (patógenos), como bacterias, virus y protozoos presentes en los caudales pueden causar problemas de salud, como la poliomielitis y el cólera (Valenzuela *et al.*, 2012, Díaz, 2021, Guzmán *et al.*, 2015, Mejía-Flores *et al.* 2020). También la contaminación fecal del agua potable causa enfermedades transmitidas por el agua que han llevado a la muerte de millones de personas (Ferat *et al.*, 2020). Por otra parte, diferentes tipos de impurezas son introducidas al sistema acuático de diversas formas: como la meteorización de las rocas y la lixiviación de los suelos, la disolución de las partículas de aerosol de la atmósfera y de varias actividades humanas, incluida la minería, el procesamiento y el uso de metales pesados (El Mahdiet *et al.*, 2022). El mayor uso de fertilizantes a base de metales podría resultar en un aumento continuo de la concentración de contaminación por metales en embalses de agua dulce debido al escurrimiento de agua. El desarrollo industrial (ya sea una expansión de la industria nueva o existente) da como resultado la generación de efluentes industriales, y si no son tratados da como resultado la contaminación del agua, los sedimentos y el suelo (Panda *et al.*, 2018). Tener principalmente cantidades excesivas de metales pesados como Pb, Cr y Fe resultan preocupantes porque producen intoxicación crónica en animales acuáticos (Ellis, 1989). Un alto nivel de contaminantes, principalmente materia orgánica en el agua de los ríos provoca un aumento de la demanda biológica de oxígeno (Kulkarni, 1997), sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales y formas de *coli* fecal. Hay tendencias en algunos países en desarrollo de los efluentes cloacales como fertilizante (Bytyçi *et al.*, 2018, Bouslah *et al.*, 2017). En ese caso, los agricultores están interesados principalmente en los beneficios generales, como el aumento de la producción agrícola, fuente de agua de bajo costo, forma eficaz de eliminación de efluentes, fuente de nutrientes, materia orgánica, etc., pero no son muy conscientes de sus efectos nocivos como la contaminación con metales pesados del suelo, cultivos y problemas de calidad relacionados con la salud. La investigación ha demostrado que a largo plazo el uso de este efluente de aguas residuales para el riego contamina el suelo y cultivos hasta tal punto que se vuelve tóxico a las plantas y provoca el deterioro del suelo (Duda *et al.*, 2020). Estos contienen considerables cantidades de sustancias potencialmente dañinas, incluyendo sales solubles y metales pesados como: Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} y Pb^{2+} . La presencia de estos metales pesados es indeseable, ya que las plantas pueden acumular metales pesados en sus tejidos en concentraciones superiores a las permitidas representando una amenaza para la vida (Adnan Amin, 2010). El agua depende de varios constituyentes químicos y su concentración, que en su mayoría se derivan de los datos geológicos de la región en particular. Industrialmente, los residuos sólidos municipales han surgido como una de las principales causas de contaminación de superficies y agua subterránea.

El control de la calidad del agua es un componente importante de la gestión del agua (Bouslah *et al.*, 2017). La información obtenida de la evaluación del monitoreo es esencial para la evaluación de la calidad del agua (Bytyçi *et al.*, 2018). Por lo tanto, el monitoreo efectivo y la evaluación de la superficie de la calidad del agua son cruciales para proteger la vida del mundo vivo del agua y la salud de los humanos desde el consumo de agua contaminada es una de las principales causas de enfermedades (Bytyçi *et al.*, 2018). De esta manera, con un enfoque preventivo, la calidad del agua se puede gestionar. Una herramienta muy poderosa para este fin es el usado por el Canadian Council of Ministers of the Environment, conocido como CCME_WQI (por sus siglas en inglés), propuesto para determinar, de manera amplia, la calidad del agua en un periodo de tiempo determinado bajo un número de parámetros superiores al referencial comparando las condiciones de calidad del agua en espacio y el tiempo bajo una escala de 0 -100, donde 0 (cero) es mala calidad y 100 es excelente (World Health Organization, 2011).

En este artículo se evaluará la calidad del agua, desde el punto de vista fisicoquímico y bacteriológico del río Chillón ubicado a 130 km del sur de la ciudad de Lima, Perú.

Materiales y métodos

Para este estudio se siguió la metodología para la determinación del índice de calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales (ICARHS) normada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) adscrita al Ministerio de Agricultura y Riego, (2020) del Perú, cuenta con 3 etapas que se describen a continuación (Figura 1).

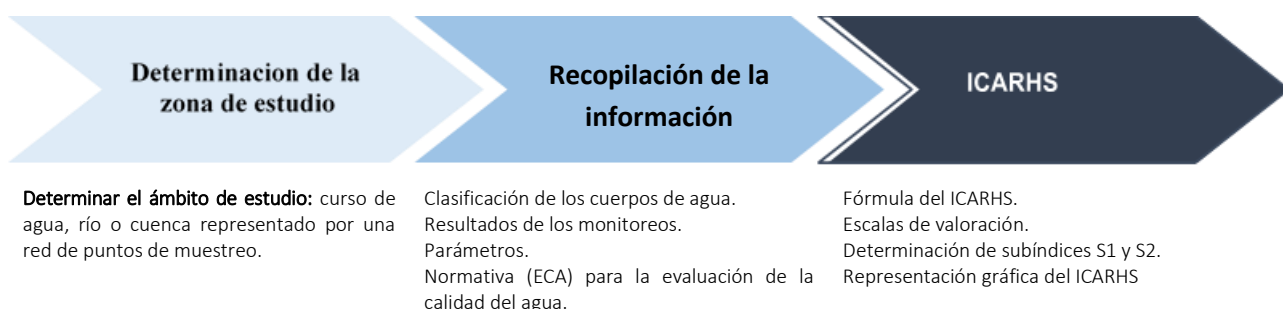


Figura 1. Etapas del ICARHS

Determinación de la zona de estudio

Se estimó el ICARHS, se podrá desarrollar en los cursos de agua superficiales lóticos utilizando información del punto de muestreo, se recorrió el río Chillón desde la cabecera a 5 kilómetros aproximadamente de la naciente, hasta antes de su desembocadura en el Océano Pacífico; en la Tabla 1, se describe de la ubicación (Coordenadas UTM) de 10 puntos, donde se reañizaron 4 monitoreos para 1 punto de muestreo (2 muestreos sean en época de avenida y 2 en época de estiaje).

Tabla 1. Ubicación de los puntos de muestreo de agua en el río Chillón

Punto	Descripción	Coordenadas	
		Latitud	Longitud
1	A 5 kilómetros de la naciente	-11,386068856	-76,457179013
2	Piscigranja de truchas Huaroz	-11,412767007	-76,571075140
3	Puente Obrajillo, con restaurantes turísticos alrededor	-11,451565365	-76,621475249
4	Puente Canta	-11,492049517	-76,650221500
5	Km 79 de la carretera Lima- Canta	-11,563681342	-76,723690537
6	Puente Trapiche	-11,727764381	-76,968529999
7	Urb. Los Angeles - Carabayllo	-11,864574040	-77,030951639
8	Puente en la Panamericana Norte	-11,918235271	-77,074174377
9	Puente Peatonal en la urbanización San Diego	-11,944792623	-77,091953606
10	Puente Néstor Gambeta	-11,938330573	-77,132848667

Evaluación de parámetros

La presente metodología contempla veinte (20) parámetros, los cuales se encuentran agrupados por su naturaleza (Materia orgánica y físico-químico: Metal), según las categorías asignadas a los cuerpos naturales de agua, en función de la clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales. En la Tabla 2, se presentan los parámetros necesarios para determinar el ICARHS en función de la información histórica, necesidades y condiciones específicas.

Tabla 2. Parámetros a evaluar en el ICARHS

		Categoría 1 Subcategoría A2 1/	Categoría 3 2/	Categoría 4 Subcategoría E2 3/
Materia orgánica	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	X	X	X
	Demanda química de oxígeno (DQO)	X	X	
	Oxígeno disuelto (valor mínimo)	X	X	X
	Coliformes termotolerantes	X	X	X
	Fósforo total	X		X
	Amoniaco - N	X		X
	Nitratos (NO ³⁻)			X
Hidrocarburos totales de petróleo 4/			X	
Físico-químico Metal	Potencial de hidrógeno (pH)	X	X	X
	Arsénico	X	X	X
	Aluminio	X	X	
	Manganeso	X	X	
	Hierro	X	X	
	Cadmio	X	X	
	Plomo	X	X	X
	Boro 5/	X	X	
	Cobre		X	X
	Mercurio			X
	Zinc			X
	Sólidos suspendidos totales			X

1/ Poblacional y recreacional: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional. 2/ Riego de vegetales y bebida de animales. 3/ Conservación del ambiente acuático (Ríos de la Costa, Sierra y Selva), 4/ Aplica para la vertiente del Amazonas con categoría E2 ríos de la selva. 5/ Aplica para la vertiente del Pacífico (zona sur).

Cálculo del ICARHS

Se aplicó la fórmula elaborada por el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME WQI).

$$CCMEWQI = 100 - \frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{1,732}$$

Ecuación 1:

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 para Agua) vigente, respecto al total de parámetros a evaluar

$$F_1 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de parámetros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de parámetros a evaluar}}$$

F2- Frecuencia

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

$$F_2 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de los datos que NO cumplen los ECA}}{\text{N}^\circ \text{ total de datos evaluados}}$$

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.

$$F_3 = \frac{\text{Suma Normalizada de Excedentes}}{\text{Suma Normalizada de Excedentes} + 1} * 100$$

Suma Normalizada de Excedentes (SNE)

$$\text{Suma Normalizada de Excedentes} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente}_i}{\text{Total de Datos}}$$

Escalas de valoración

El resultado del ICARHS se presenta como un número adimensional comprendido entre 0 y 100, el cual permite establecer escalas en cinco rangos, este valor califica el estado de la calidad del agua, como Pésimo, Malo, Regular, Bueno y Excelente, (Tabla 3).

Tabla 3. Valoración del ICARHS

Valor ICARHS	Calificación ICARHS	Color (RGB)	Interpretación
95 - 100	Excelente	0 112 255	La calidad del agua está protegida, ausencia de amenaza o daño, su condición está muy cercana a los niveles naturales o deseables.
80 - 94	Bueno	0 197 255	La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural agua. Sin embargo, las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud.
65 - 79	Regular	85 255 0	La calidad de agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento
45 - 64	Malo	255 170 0	La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Muchos de los usos necesitan tratamiento
0 - 44	Pésimo	255 0 0	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan tratamiento

Fuente: Metodología Canadiense (CCME_WQI).

Determinación de subíndices

El cálculo del ICARHS, depende de dos (2) subíndices, que fueron asignados como S_1 y S_2 , los cuales se calcularon en función de los parámetros determinados que guardan relación entre sí, y la calificación final fue determinada por el resultado de menor valor y calificación crítica

Ecuación 2:

$$ICARHS = \text{mín.}(S_1, S_2)$$

mín.: mínimo

S1: Subíndice 1

S2: Subíndice 2

Para la representación gráfica de los resultados del ICARHS se requirieron considerar tres condiciones principales, los cuales son: ubicación espacial, calificación de los subíndices 1 y 2, y el resultado del ICARHS.

Resultados

Como se puede observar en la Tabla 4, los valores obtenidos de las mediciones de campo, muestran una diferencia en la calidad del río entre aguas arriba del punto 1 a 6 y aguas abajo puntos 7 a 10; en el punto 6 (a 200 m aproximadamente, aguas abajo del puente Trapiche) se estimaron valores de oxígeno disuelto que superan el valor mínimo para aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional (≥ 5 mg/L) o subcategoría A2, pero por debajo de la subcategoría A1 que pueden ser potabilizadas con desinfección (≥ 6 mg/L). Aún así, en el punto 7 o primero evaluado del caudal abajo, se estimó un promedio de 4,00 mg/L lo que requiere de un tratamiento avanzado (Subcategoría A3 ≥ 4 mg/L); y los tres puntos siguientes, los valores fueron inferiores en gran magnitud a la categoría A3. A este tenor, se mantiene la categoría de los puntos evaluados, ya que la conductibilidad eléctrica se comportó diferencialmente en aguas arribas y abajos con valores que no superaron 1600 y 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, mientras que la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) ascendió gradualmente de 10,73 (punto 1, a 5 kilómetros de la naciente del río) a 23°C en el punto 6 (a 200 m aproximadamente, aguas abajo del puente Trapiche), hasta 28°C a 200 m aguas abajo del puente Néstor Gambeta (Punto 10).

Tabla 4. Evaluación de la materia orgánica en 10 puntos de muestreo en el caudal del río Chillón

Característica	Cuenca alta y media (Aguas arriba)												Cuenca baja (aguas abajo)							
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
	\bar{X}	DE	\bar{X}	DE	\bar{X}	DE	\bar{X}	DE	\bar{X}	DE	\bar{X}	DE	\bar{X}	DE	\bar{X}	DE	\bar{X}	DE	\bar{X}	DE
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) *1, **2	1,75	0,50	1,75	0,96	2,50	0,58	2,00	0,82	2,00	1,15	2,75	1,50	13,25	6,85	27,00	8,04	36,75	9,81	138,25	44,83
Demanda química de oxígeno (DQO)	8,00	3,37	8,00	2,94	8,00	2,83	8,00	1,83	8,00	3,16	8,75	2,22	39,50	12,87	94,00	11,17	148,00	37,26	658,75	250,87
Oxígeno disuelto (valor mínimo) **1, **2	5,25	1,71	5,50	2,08	5,50	1,29	5,25	3,20	5,50	2,08	5,00	2,45	4,00	1,41	1,13	0,63	0,69	0,38	0,43	0,26
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) **1, **2	19,25	4,03	19,00	2,31	19,25	0,50	19,25	3,69	22,25	2,75	24,00	2,16	223,50	29,58	301,25	68,97	276,25	27,11	2586,90	542,38
Fósforo total (mg/L) **1, **2	0,10	0,08	0,13	0,05	0,10	0,08	0,23	0,25	0,11	0,10	0,16	0,08	0,31	0,32	0,69	0,47	0,75	0,54	0,81	1,00
Amoníaco - N (mg/L) *1, **2	0,88	0,25	1,13	0,25	1,06	0,52	1,13	0,63	1,25	0,50	1,50	0,58	1,75	0,65	1,75	0,50	2,00	0,82	2,50	1,00
Nitratos (NO ₃ -) (mg/L) **1, **2	46,75	12,87	50,75	16,88	58,25	15,37	58,75	16,34	60,25	9,74	67,5	11,56	62,75	13,60	61,5	11,56	64	15,77	74	1,00
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C8 - C40) (mg/L) **1, **2	0,26	0,17	0,2	0,20	0,23	0,19	0,3	0,23	0,25	0,19	0,275	0,21	0,3	0,18	0,275	0,17	0,3	0,23	0,35	1,00

*1 Cumple con ECA 2 Agua arriba; **1 No cumple con ECA 2 Agua arriba; *2 Cumple con ECA 2 Agua abajo; **2 No cumple con ECA 2 Agua abajo;

Analizando los datos obtenidos, se puede observar que son las cuencas aguas abajo (punto del 7 al 9) del río Chillón donde se encuentra los mayores datos que no cumplen la normativa ambiental (ECA) tales como: bajas concentraciones de oxígeno disuelto, altas concentraciones de demanda bioquímica y química de oxígeno, así como características organolépticas inaceptables (olor fétido, aguas turbias, entre otras). Este flujo intermitente de agua encontrado en la cuenca baja podría tratarse de aguas residuales, como se observa en la figura 2. Índice de calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales.

Por otra parte, y con excepción de la concentración de aluminio en las cuencas del Chillón, las mayores concentraciones sobre ECA se encuentran en la cuenca baja del río (Tabla 5). Tal como se puede observar en la tabla, en el punto de recolección 8, se encuentran las mayores concentraciones de manganeso y hierro; mientras que en el punto

10, las concentraciones de cobre, plomo y hierro; superan los valores estándar establecidos por ECA en aguas que caen en la Categoría 3.

Tabla 5. Evaluación físicoquímico metal en 10 puntos de muestreo en el caudal del río Chillón

Característica	Cuenca alta y media										Cuenca baja									
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
	\bar{X}	DE	\bar{X}	DE	\bar{X}	DE	\bar{X}	DE	\bar{X}	DE	\bar{X}	DE	\bar{X}	DE	\bar{X}	DE	\bar{X}	DE	\bar{X}	DE
Potencial de hidrógeno (pH) *1, *2	8,02	0,31	8,12	0,36	7,97	0,52	8,23	0,48	7,80	0,49	7,80	0,49	7,60	0,72	7,55	0,60	7,40	1,00	7,20	0,99
Arsénico (mg/L) *1, *2	0,0038	0,0010	0,0032	0,0003	0,0037	0,0008	0,0031	0,0003	0,0033	0,0003	0,0049	0,0025	0,0052	0,0015	0,0061	0,0021	0,0066	0,0025	0,0070	0,0027
Aluminio (mg/L) *1, *2	0,0287	0,0034	0,0276	0,0033	0,0287	0,0034	0,0287	0,0039	1,5199	0,2208	0,6113	0,0879	0,0287	0,0034	0,3811	0,0543	1,5199	0,2208	1,5199	0,2208
Manganeso (mg/L) **1, **2 D1, D2	0,0162	0,0023	0,0255	0,0030	0,0255	0,0030	0,0375	0,0032	0,0600	0,0075	0,0600	0,0075	0,2638	0,0371	0,2737	0,0385	0,3849	0,0548	0,4551	0,0651
Hierro (mg/L) **1, **2 B1; B2; D1; D2	0,1056	0,0141	0,1564	0,0214	0,3162	0,0448	0,6341	0,0633	0,5140	0,0737	1,7110	0,2488	1,9380	0,2820	2,2109	0,3219	2,6649	0,3883	3,1189	0,4547
Cadmio (mg/L) *1, *2	<0,0002		<0,0002		<0,0002		<0,0002		<0,0002		0,0011	0,0010	<0,0002		0,0021	0,0006	<0,0002		0,0027	0,0014
Plomo (mg/L) *1, *2	0,0020	0,0018	0,0001	0,0001	0,0017	0,0025	0,0075	0,0024	0,0094	0,0021	0,0026	0,0024	0,0023	0,0024	0,0203	0,0025	0,0217	0,0027	0,1512	0,0207
Boro (mg/L) **1, **2 B1; B2; D1; D2; C1; C2; C3; C4	0,0023	0,0015	0,0003	0,0004	0,0044	0,0023	0,0061	0,0021	0,0104	0,0021	0,0561	0,0070	0,0674	0,0086	0,0901	0,0118	0,0674	0,0086	1,4597	0,2120
Cobre (mg/L) **1, **2 B1; B2; D1; D2; C1; C2; C3; C4	0,0023	0,0015	0,0005	0,0007	0,0030	0,0024	0,0023	0,0023	0,0061	0,0022	0,4566	0,0653	0,0561	0,0070	0,0788	0,0102	0,0674	0,0086	1,3275	0,1927
Mercurio (mg/L) **1, **2 B1; B2; D1; D2; C1; C2; C3; C4	<0,0002		<0,0002		<0,0002		<0,0002		<0,0002		<0,0002		<0,0002		<0,0002		<0,0002		<0,0002	
Zinc (mg/L) *1, *2	0,0047	0,0044	0,0028	0,0054	0,0084	0,0021	0,0084	0,0021	0,0145	0,0022	0,0334	0,0039	0,1222	0,0165	0,3517	0,0500	0,4553	0,0651	0,4652	0,0666
Sólidos suspendidos totales (mg/L) *1, **2	31,50	63,00	53,00	106,00	500,54	73,22	522,10	78,53	558,42	81,69	901,19	131,83	779,75	114,06	611,77	89,49	1116,84	163,37	2094,08	306,33

*1 Cumple con ECA 2 Agua arriba; **1 No cumple con ECA 2 Agua arriba; *2 Cumple con ECA 2 Agua abajo; **2 No cumple con ECA 2 Agua abajo; D1 Riego de vegetales; D2 Agua de bebida de animales; B1 Contacto primario; B2 Contacto secundario; C1 Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras; C2 Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras; C3 Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras; C4 Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas



Figura 2. Índice de calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales ICARHS – Río Chillón

Por lo tanto, el efluente fluvial del río Chillón, especialmente, aguas abajo, no cumple con los estándares de calidad establecidos según normativa, y para cualquier uso doméstico debe ser previamente tratado. Los resultados del cálculo de ICARHS fue de 35,40, lo que categoriza al río Chillón con **aguas de pésima calidad (0-44)**, Este valor fue estimado con base a los parámetros F1, F2 y F3 con valores de 0,7500; 0,1935 y 0,8075 respectivamente. En relación a la materia orgánica y datos físico-químicos del metal, se estimaron los subíndices S1 y S2 respectivamente para cada punto de muestreo. De los puntos del 1 al 6, se obtuvieron valores de S1 bueno (41,65 promedio) y S2 pésimo (0,00); mientras que en los puntos 7 al 10 ambos parámetros fueron pésimos, con valores iguales o inferiores 19,65 siendo el punto 10 el más deteriorado.

Discusión

El agua el elemento vital para dar forma a la tierra y regular el clima. Es uno de los compuestos más importantes que tiene mayor impacto en la vida. Tiene diferentes usos como bebida, riego, hidroelectricidad, fomento de la pesca y la recreación. Por lo tanto, se requiere al menos un grado adecuado de calidad del agua. La necesidad de aprender sobre el agua la calidad es uno de los temas fundamentales hoy en día debido a la creciente carga de contaminación de origen industrial, comercial y residencial con resultados sobre la especie humana y los ecosistemas, especialmente los acuáticos. Algunas actividades humanas como la urbanización, desarrollos agrícolas, uso excesivo de fertilizantes, administración inadecuada del uso de tierras y la descarga de aguas residuales han sido algunas de las forma directas e indirecta que afectan la calidad de agua, haciéndola no apta para su consumo o para otros fines como la agricultura (Kumar *et al.*, 2018). Por lo tanto, ahora el agua dulce puede suponerse como un material peligroso debido a su sobreexplotación y contaminación. La mayoría de los ríos en áreas urbanas de los países en desarrollo, y algunos desarrollados, son localizaciones de efluentes provenientes de las industrias. El color oscuro de las aguas residuales revela los efectos tóxicos sobre la biota e inhibe las actividades fotosintéticas mediante la reducción de la luz solar (Tasnim *et al.*, 2022).

En ese sentido, la calidad del agua se perfila como uno de los grandes desafíos a afrontar en un futuro muy cercano, ya que la degradación de la calidad del agua irrumpe directamente en el ambiente, la sociedad y la economía de un país. Las fuentes de agua dulce potable en el mundo son cada vez mas escasas, debido a la contaminación por aguas residuales con poco tratamiento (UNESCO, 2009). En la gestión de la calidad del agua, varios países han ido desarrollando índice e indicadores que logren evaluar la calidad de los recursos hídricos. curso. En Perú, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) es el organismo capaz de promover el cumplimiento de algunas normativas como la ODS6, a través de ciertas metodologías y medición de indicadores de calidad (ICARHS, 2020).

En función de lo antes mencionado, este trabajo busca determinar la calidad de las aguas del río Chillón en el Perú. Este río se encuentra a unos 130 km de la ciudad principa Lima, por lo que es posible cierta contaminación. Los resultados obtenidos en la Tabla 4 registras los valores en 10 puntos a lo largo del río, los primeros 6 puntos están antes del puente Trapiche, y los restantes puntos, del 7 al 10, están ubicados después de este punto. Los resultados obtenidos, indican que antes de los seis primeros puntos, la calidad del agua parece seguir los lineamientos de salubridad previamente establecidos según la normativa peruana, pero después del séptimo punto, la demanda bioquímica y química de oxígeno supera el valor mínimo para aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional (≥ 5 mg/L) o subcategoría A2, pero por debajo de la subcategoría A1 que pueden ser potabilizadas con desinfección (≥ 6 mg/L). Aún así, en el punto 7 o primero evaluado del caudal abajo, se estimó un promedio de 4,00 mg/L lo que requiere de un tratamiento avanzado (Subcategoría A3 ≥ 4 mg/L); y los tres puntos siguientes (8 a 10), los valores fueron inferiores en gran magnitud a la categoría A3. A este tenor, se mantiene la categoría de los puntos evaluados, ya que la conductibilidad eléctrica se comportó diferencialmente en aguas arribas y abajos con valores que no superaron 1600 y 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, mientras que la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) ascendió gradualmente de 10,73 (punto 1, a 5 kilómetros de la naciente del río) a 23 $^{\circ}\text{C}$ en el punto 6 (a 200 m aproximadamente, aguas abajo del puente Trapiche), hasta 28 $^{\circ}\text{C}$ a 200 m aguas abajo del puente Néstor Gambeta (Punto 10). Entre los indicadores biológicos de contaminación, cabe mencionar la demanda biológica de oxígeno, que representa la cantidad de oxígeno necesario para el fenómeno de la biodegradación de sustancias orgánicas presentes en el agua para que se produzcan condiciones aeróbicas. Es un indicador del nivel de materia orgánica contaminación en el agua. Cuanto mayor sea la demanda biológica de oxígeno (DBO), mayor será la cantidad de sustancias biológicamente degradables y el grado de su contaminación orgánica. Por otra parte, de acuerdo con Rizani *et al.*, (2022) el contenido de oxígeno disuelto es un parámetro cualitativo muy importante, que determina la “estado de salud” del agua. Esto es así por su contenido determina la cantidad y tipos de organismos vivos en un ambiente acuático. Se estima que los peces no pueden vivir en aguas con oxígeno disuelto por debajo de 4 mg/L, mientras que las aguas con un contenido inferior a 2 mg/L se consideran tienen tasas muy altas de eutrofización y son considerado como altamente contaminado. El valor recomendado para DO según GD161 estándar es <25 mg/L. Resultados similares han sido encontrados en ríos cercanos a fuentes industriales. El Yaque Norte es uno de los ríos más importantes de República Dominicana, y es utilizado para fines de consumo de agua potable, regadíos de siembras y como fuente de presas hidroeléctricas. Sin embargo, en un estudio llevado a cabo por Lemus *et al.*, (2022) se encontró diferencias significativas con respecto a los estándares en algunos parámetros fisicoquímicos como pH, salinidad, conductividad turbidez, sólidos totales y dureza. Estos parámetros señalaron alteraciones a lo largo del río a medida que el río se encontraba cerca de las zonas industriales, así el número de colonias coliformes fecales o termotolerantes y *Escherichia coli* excedía los límites establecidos en la República Dominicana. Fenómenos similares han ocurrido en otras regiones del planeta como

Blangladesh (Tasnim *et al.*, 2022), la cuenca del Río Tempisque, Costa Rica (Salazar, 2022) o Sinaloa, México (Castañeda-Ruelas *et al.*, 2022).

Por otra parte, la Tabla 5, muestra que con excepción de la concentración de aluminio en las cuencas del río Chillón, las mayores concentraciones de metales que sobrepasan el ECA se encuentran en la cuenca baja del río. En esta tabla, el punto 8, muestra las mayores concentraciones de manganeso y hierro; mientras que en el punto 10, las concentraciones de cobre, plomo y hierro; superan los valores estándar establecidos por ECA en aguas que caen en la Categoría 3. Los efectos nocivos de los metales pesados generan contaminación de los suelos, cultivos y problemas de salud humana y animal. Las plantas pueden acumular metales pesados en sus tejidos en concentraciones superiores a los niveles permitidos conduciendo a contaminación de la cadena alimenticia (Amin *et al.*, 2010). Los residuos sólidos municipales han surgido como una de las principales causas de contaminación de superficies y agua subterránea, en muchas partes, el agua disponible se vuelve no potable debido a la presencia de metales pesados en exceso. La situación empeora durante la temporada de verano debido a la escasez de agua y descarga de agua de lluvia. Investigaciones llevadas a cabo en Haryana (India) concluyeron que la alta tasa de exploración, vertimiento inadecuado de desechos sólidos y líquidos, falta de la aplicación estricta de la ley y la gobernabilidad laxa son la causa del deterioro de la calidad del agua subterránea (Gupta, 2009).

Finalmente, en la evaluación de los parámetros de calidad del río Chillón (Perú), se logró establecer que, especialmente aguas abajo, no se cumple con los estándares de calidad establecidos según normativa, y para cualquier uso doméstico debe ser previamente tratado. El resultado del cálculo de ICARHS fue de 35,40, categorizando al río Chillón con agua de pésima calidad (0-44). Con relación a la materia orgánica y datos fisicoquímicos de los metales determinados, los subíndices S1 y S2, de los puntos del 1 al 6, presentaron valores de S1 pésimo (0,00) y S2 bueno (41,65 promedio); mientras que en los puntos 7 al 10 ambos parámetros fueron pésimos, con valores iguales o inferiores 19,65 siendo el punto 10 el más deteriorado. Estos índice de calidad, también se han puesto en práctica a nivel mundial. En estudio realizado por Rizani *et al.*, (2022), en tres estaciones del río Lepenci (República de Kosovo) durante los doce meses de los años 2009, 2010 y 2014, se pueden deducir las siguientes conclusiones: las aguas más contaminadas se encontraron en las estaciones SP2 (Kaçanik) y SP3 (HaniElezit). Basado en los cálculos de calidad del agua, que las aguas de la estación SP1 tenía alta calidad (WQI de 83, categoría: excelente) y la de menor calidad, la estación SP3 (WQI de 55, categoría: marginal), mientras que el parámetro de calidad WQI promedio total promedio durante la medición del período establecido fue 70,4 (categoría: buena);

Con los resultados obtenidos, se recomienda a las autoridades e instituciones gubernamentales el apoyo a continuar con el monitoreo de aguas de los ríos como una herramienta eficaz para evaluar su estado ecológico, así como para la protección de su contaminación y de la salud humana.

Conflicto de intereses

Ninguno por declarar.

Agradecimientos

A todos los colaboradores, le expresamos nuestra gratitud.

Referencias

- Akter, N., Kunda, M., Harun-Al-Rashid, A., Mazumder, S. K., Sultana, M. A., & Pandit, D. (2020). Fish biodiversity in the Khiru River of Bangladesh: Present status and threats. *International Journal of Natural and Social Sciences*, 7(4), 30-39. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4305923> (Acceso septiembre 2021).
- Amin, A., Ahmad, T., Ehsanullah, M., Khatak, M. M., & Khan, M. A. (2010). Evaluation of industrial and city effluent quality using physicochemical and biological parameters. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural & Food Chemistry*, 9(5). Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Taufiq-Ahmad-3/publication/257932019_Evaluation_of_Industrial_and_city_effluent_quality_using_Physicochemical_and_Biological_Parameters/links/0c96052d49dea904e300000/Evaluation-of-Industrial-and-city-effluent-quality-using-Physicochemical-and-Biological-Parameters.pdf (Acceso septiembre 2021).
- Basavaraja Simpi, B., Hiremath, S. M., Murthy, K. N. S., Chandrashekarappa, K. N., Patel, A. N., & Puttiah, E. T. (2011). Analysis of water quality using physico-chemical parameters Hosahalli Tank in Shimoga District, Karnataka, India. *Global Journal of Science Frontier Research*, 11(3), 31-34. Disponible en: https://globaljournals.org/GJSFR_Volume11/5-Analysis-of-Water-Quality-Using-Physico.pdf (Acceso septiembre 2021).
- Bouslah, S., Djemili, L., & Houichi, L. (2017). Water quality index assessment of Koudiat Medouar Reservoir, northeast Algeria using weighted arithmetic index method. *Journal of Water and Land Development*, 35(1), 221–228. <https://doi.org/10.1515/jwld-2017-0087>

- Bytyçi, P., Fetoshi, O., Durmishi, B., Zhushi-Etemi, F., Cadraku, H., Ismaili, M., & Shala-Abazi, A. (2018). Status Assessment of Heavy Metals in Water of the Lepenci River Basin, Kosova. *Journal of Ecological Engineering*, 19(5), 19–32. <https://doi.org/10.12911/22998993/91273>
- Castañeda-Ruelas, G. M., Arce-Navarro, K. S., Llanes-Ocaña, J. G., & Jiménez-Edeza, M. (2022). Calidad y uso potencial de la red hidrográfica del centro-norte de Sinaloa, México. *Tecnología y Ciencias del agua*, <https://docs.google.com/viewer?url=http://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/libraryFiles/downloadPublic/132> (Acceso febrero 2022).
- Díaz, R. E. (2021) Evaluación de la calidad de agua utilizando filtro de carbón activado y cloración por goteo en el río Quilish (Online). Perú: Universidad Privada del Norte; 2021. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11537/27753> (Acceso septiembre 2021).
- Duda, R., Klebert, I., & Zdechlik, R. (2020). Groundwater pollution risk assessment based on vulnerability to pollution and potential impact of land use forms. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(1), 87–99. <https://doi.org/10.15244/pjoes/10436>
- El Mahdi, H., Rachid, FA., Sanael, R., Mustapha, L., & Mohamed, F. (2022). Evolution of the Physico-Chemical and Biological Quality of the Waters of Soueir River (Morocco). *Ecological Engineering & Environmental Technology* 23(4), 202–211 <https://doi.org/10.12912/27197050/150633>
- Emeka, C., Nweke, B., Osere J., & Ihunwo, C. K. (2020) Water Quality Index for the Assessment of Selected Borehole Water Quality in Rivers State, *European Journal of Environment and Earth Sciences*, 1(6). <https://doi.org/10.24018/ejgeo.2020.1.6.101>
- Ferat, M., Galaviz, I., & Partida, S. (2020). Evaluación de nitrógeno y fósforo total en escorrentías agropecuarias en la cuenca baja del río Usumacinta (Tabasco, México). *Ecosistemas*, 29(1). <https://doi.org/10.7818/ECOS.1879>
- Gupta, D. P., Sunita, & Saharan, J. P. (2009). Physiochemical Analysis of Ground Water of Selected Area of Kaithal City (Haryana) India, *Researcher*, 1(2), 1-5. Disponible en: http://www.sciencepub.net/researcher/0102/01_0563_dD_P_GUPTA.pdf (Acceso septiembre 2021).
- Guzmán, B. L., Nava, G., & Díaz, P. (2015). La calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbimortalidad en Colombia, 2008-2012. *Revista Biomédica*, 35(2), 177-190. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/843/84340725018.pdf> (Acceso septiembre 2021).
- ICARHS. (2020). Índice de calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales. Disponible en: <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4479> (Acceso septiembre 2021).
- Kiliç, Z. (2020). The importance of water and conscious use of water. *International Journal of Hydrology*, 4(5), 239–241. <https://doi.org/10.15406/ijh.2020.04.00250>
- Kumar, V., Kumar, S., Srivastava, S., Singh, J., & Kumar, P. (2018). Water quality of River Ganga with reference to physico-chemical and microbiological characteristics during Kanwar Mela 2017, at Haridwar, India: A case study. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 3(1), 58-63. <http://dx.doi.org/10.26832/24566632.2018.030108>
- Lemus, M., Cabrera, M., & Calmette, X. (2022). Parámetros fisicoquímicos y calidad microbiológica de las aguas del río Yaque Norte, República Dominicana. *The Biologist*, 20(2). <https://doi.org/10.24039/rtb20222021353>
- Panda, P. K., Panda, R. B., & Dash, P. K. (2018). The river water pollution in India and abroad: A critical review to study the relationship among different physicochemical parameters. *American Journal of Water Resources*, 6(1), 25-38. <https://doi.org/10.12691/ajwr-6-1-4>
- Rizani, S., Feka, F., Fetoshi, O., Durmishi, B., Shala, S., Çadraku, H., & Bytyçi, P. (2022) Application of Water Quality Index for the Assessment the Water Quality in River Lepenci. *Ecological Engineering & Environmental Technology* 23(4), 188–200. <https://doi.org/10.12912/27197050/150297>
- Salazar, K. (2022). Evaluación fisicoquímica y microbiológica como insumo para el mejoramiento de la gestión socioambiental del recurso hídrico en la parte media y baja de la Cuenca del Río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. Universidad Nacional, Sede Regional Chorotega, Campus Liberia. Disponible en: <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/23210> (Acceso febrero 2022).
- Tasnim, N., Sultana, M. A., Tabassum, K., Islam, M. J., & Kunda, M. (2022). A review of the water quality indices of riverine ecosystem, Bangladesh. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 7(1), 104-113, <https://dx.doi.org/10.26832/24566632.2022.0701015>
- Ubong, U., Ekwere, I. O., Ikpe, E. E., & Obadimu, C. (2021). Assessment of physicochemical properties and water quality index of borehole water in mkpat enin local government area, Akwa Ibom State, *International Journal of Chemistry*

Studies 5(2), 49-58. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/261178899_Water_Quality_Index_for_the_Assessment_of_Water_Quality_from_Different_Sources_in_the_Niger_Delta_Region_of_Nigeria (Acceso septiembre 2021).

UNESCO. (2009). water en a changing world, The United Nations world water development Report 3. Disponible en:
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000181993.page=29> (Acceso septiembre 2021).

Valenzuela, E., Godoy, R., Almonacid, L., & Barrientos, M. (2012). Microbiological quality of water in livestock area of southern Chile and its possible implications on human health. *Revista Chilena de Infectología*, 29(6), 628-634.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182012000700007>

World Health Organization. (2011). Guías para la Calidad del Agua de Consumo Humano. Cuarta Edición. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/272403> (Acceso septiembre 2021).