



RESEARCH ARTICLE



Water quality for irrigation in the Huallaga basin, Peru

Calidad de agua para riego en la cuenca Huallaga, Perú

Alberto Franco Cerna-Cueva^{1*} ; Casiano Aguirre-Escalante² ; Bertha Leonor Wong-Figueroa³ ; Janeth Leynig Tello-Cornejo³ ; Werner Pinchi-Ramírez³ 

¹ Universidad Nacional Agraria de la Selva, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Carretera Central km 1,21, Tingo María. Perú.

² Universidad Nacional Agraria de la Selva, Escuela Profesional de Recursos Naturales Renovables, Carretera Central km 1,21, Tingo María. Perú.

³ Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Av. Universitaria N° 601-607, Pillco Marca. Perú.

* Corresponding author: alberto.cerna@unas.edu.pe (A. F. Cerna-Cueva).

Received: 25 March 2022. Accepted: 15 August 2022. Published: 6 September 2022.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the quality of surface water used for irrigation in the Huallaga basin. We worked with water quality monitoring data in the basin conducted by the National Water Authority (ANA) counting 139 monitoring points, evaluating 41 parameters for the period 2014 - 2019, the Peruvian Water Quality Index (ICA - PE) intended for irrigation was calculated, using as reference values the Environmental Quality Standard (ECA) for surface water in category 3 D1 (irrigation water). Of the 139 monitoring points, 26 (18.71%) were of excellent quality, 62 (44.60%) of good quality, 35 (25.18%) of fair quality, 13 (9.35%) of poor quality and 3 (2.16%) of very poor quality. The main contaminants found were thermotolerant coliforms, *Escherichia coli*, which on average exceeded the ECA by 606 and 288 times and by 53.4% (1029/1927) and 38.9% (701/1803) respectively. Contamination by organochlorine pesticides, in 100% (10/10) of the chlordane measurements the RCT was exceeded and with respect to Endrin, Aldrin and DDT the RCT was exceeded in 40% (10/25). The pH, in 25.6% of the measurements the water was outside the ranges tending to alkalinity and for manganese, iron and aluminum, exceeded the ECAs in 17.7%, 13.3% and 11.2% respectively. The main contaminant sources are agricultural and municipal wastewater and the presence of critical points of solid waste.

Keywords: ICA-PE; CCME-WQI; Irrigation; ECA; Pollution.

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad del agua superficial destinada para riego en la cuenca Huallaga. Se trabajaron con los datos de monitoreo de calidad del agua en la cuenca realizados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) contando con 139 puntos de monitoreo, evaluando 41 parámetros para el período 2014 - 2019, se calculó el Índice de Calidad de Agua peruano (ICA - PE) destinado para riego, usando como valores de referencias al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para aguas superficiales en la categoría 3 D1 (aguas de regadío). De los 139 puntos de monitoreo, 26 (18,71%) de ellos resultaron con una calidad excelente, 62 (44,60%) con calidad buena, 35 (25,18%) con calidad regular, 13 (9,35%) con calidad mala y 3 (2,16%) con pésima calidad. Los principales contaminantes encontrados fueron los Coliformos Termotolerantes, *Escherichia coli*, que en promedio sobrepasaron el ECA en 606 y 288 veces y en el 53,4% (1029/1927) y 38,9% (701/1803) respectivamente. La contaminación por pesticidas organoclorados, en el 100% (10/10) de las mediciones del clordano se sobrepasó el ECA y con respecto al Endrin, Aldrin y DDT se sobrepasó el ECA en el 40% (10/25). El pH, en el 25,6% de las mediciones el agua se encontró fuera de los rangos tendiendo a la alcalinidad y para el manganeso, hierro y aluminio, sobrepasaron los ECAs en 17,7%, 13,3% y 11,2% respectivamente. Las principales fuentes contaminantes son las aguas residuales agrícolas y municipales, así como también la presencia de puntos críticos de residuos sólidos.

Palabras clave: ICA-PE; CCME-WQI; Riego; ECA; Contaminación.

DOI: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.022>

Cite this article:

Cerna-Cueva, A. F., Aguirre-Escalante, C., Wong-Figueroa, B. L., Tello-Cornejo, J. L., & Pinchi-Ramírez, W. (2022). Calidad de agua para riego en la cuenca Huallaga, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 239-248.

1. Introducción

Los ríos están estrechamente asociados al desarrollo humano y estos han sido utilizados de tal manera que es difícil encontrarlos en sus condiciones naturales (Sharma et al., 2021). El crecimiento demográfico y las actividades económicas asentadas en las cuencas hidrográficas vie-

nen afectando los recursos hídricos en el Perú, malas e ilegales prácticas como la producción, manejo inadecuado y vertimiento de residuos sólidos a los cuerpos de agua, aguas residuales municipales, industriales y los procedentes de pasivos ambientales, minería informal, entre otros, son las principales (ANA, 2018c). Esta

contaminación ocasiona que la calidad del agua se vea comprometida y que no se pueda garantizar la utilidad de esta para los diferentes fines.

En el Perú, una de las cuencas más grandes, es la cuenca del Huallaga que tiene una demanda hídrica agrícola de 877,09 hm³/año y las proyecciones indican que esta demanda aumentará hasta 1185,42 hm³/año para el 2030, por otra parte, el suministro de agua para el uso agrícola en la cuenca es mayoritariamente superficial el cual representa el 99,8%, el porcentaje restante (0,2%) proviene del uso de agua del acuífero. Las captaciones superficiales de agua provienen principalmente de los ríos Cumbaza, Sisa, Shilcayo, Huallaga, Mayo y Saposoa y de las quebradas Ahuashiyacu, Chupishiña, Humazapa, Pucayacu y Ventura Marca (ANA, 2015a, 2015b).

Con respecto a la calidad del agua, según ANA (2019) al 2019, en la cuenca del Huallaga existen 359 fuentes de contaminación de las aguas superficiales, de acuerdo con la **Tabla 1**, las mayores fuentes de contaminación son las que provienen de las descargas de aguas residuales domésticas y municipales (265), de la ineficiente gestión de residuos sólidos (48) y de las aguas residuales provenientes de la agricultura (26). Se han registrado ampliamente casos de contaminación por uso de aguas residuales con fines de riego, casos de contaminación por metales como cadmio, plomo, cobre, zinc, hierro, cromo, níquel, arsénico, selenio (Chaoua et al., 2019; Dotaniya et al., 2018; Khan et al., 2018; Mehmood et al., 2019; Meng et al., 2022; Murtaza et al., 2022; Sayo et al., 2020; Tan et al., 2021; Ugulu et al., 2021; Yan et al., 2020) o casos de contaminación biológica y microbiológica (Abaidoo et al., 2010; Amahmid et al., 1999; Amahmid et al., 2022; Anh et al., 2007; Balkhair, 2016; Castro-Rosas et al., 2012; Farhadkhani et al., 2018; Forslund et al., 2012; Libutti et al., 2018; Sharma et al., 2021; Tripathi et al., 2019), por lo que resulta indispensable evaluar la calidad del agua antes de que ésta sea utilizada con fines de riego ya que si está no cumple los requisitos de calidad, puede representar un problema para la salud y el ecosistema.

Los criterios más comunes considerados al evaluar la calidad del agua de riego son: peligro de salinidad, peligro de sodio, índice de sal, peligro de alcalinidad, peligro de permeabilidad, peligros de toxicidad de iones específicos, metales pesados y microorganismos, sin embargo, existe un gran número de otros parámetros como por ejemplo el pH, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos disueltos totales, demanda química de oxígeno (DQO), entre otros que podrían ser determinantes a la hora de evaluar la calidad del agua con fines de riego (Panhwar et al., 2022). Ante esto, para evaluar la calidad del agua con múltiples parámetros se utilizan los índices de agua para riego (ICAR) que son índices compuestos y la estructura de estos índices, pueden estar basados en ponderación, en límites umbrales y otros a partir de modelos matemáticos. En el Perú, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) ha adoptado el Índice de Calidad del Agua del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME – WQI) como herramienta para evaluar la calidad de los cuerpos de agua (CCME, 2012). Este índice tiene valores desde 1 hasta 100 (de menor a mayor calidad) e integra a los Estándares de Calidad

Ambiental (ECA) establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017 del Ministerio del Ambiente (MINAM), cuenta con 4 categorías de uso, siendo la Categoría 3 Riego de vegetales y bebida de animales y la Subcategoría D1 Riego de vegetales la que es de interés en este estudio; la estructura del ICAR del ANA, está basada en límites umbrales, considerando los ECAs como valores de referencia umbral, éste índice se abrevia como ICA-PE.

El CCME – WQI se ha utilizado como herramienta para evaluar la calidad del agua superficial y subsuperficial con fines de riego, por ejemplo en el estudio de Baghapour et al. (2013) se evaluó la calidad fisicoquímica y microbiana del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad Shiraz - Irán para su uso en el riego agrícola con el CCME – WQI, para ello se midieron 20 parámetros fisicoquímicos y 3 microbianos durante los meses cálidos (abril a septiembre) y fríos (octubre a marzo). El índice calculado para los parámetros fisicoquímicos en el efluente fue igual (87) en los meses cálidos y fríos y se obtuvo como 85 para las estaciones en conjunto. Cuando se utilizaron los parámetros microbianos para calcular el índice, disminuyó a 67 en las estaciones cálidas y frías y a 64 en todas las estaciones juntas. Además, se encontró que tres parámetros fisicoquímicos (TDS, EC y NO₃⁻) y tres parámetros microbianos (coliforme fecal, huevo de helmintos y coliformes totales) tuvieron la mayor contribución a la reducción del valor del índice. Otro estudio es el de (Falih-Al-Khalidi & Al-Asady, 2019) en el que se utiliza el CCME – WQI para evaluar la calidad del agua del río Diwaniyah para irrigación, para ello se seleccionaron cinco estaciones a lo largo del río entre enero y diciembre de 2019 y se realizaron algunas pruebas físicas y químicas, que incluyen (conductividad eléctrica, pH, SAR, cloruro, boro, plomo, cobre, zinc, cadmio, manganeso, cromo). Los resultados confirmaron que los valores de la guía de calidad del agua para riego han oscilado entre (56,12 hasta 86,72), lo que significa que la calidad del agua del río Diwaniyah con fines de riego, se ubica entre las dos categorías (Marginal – Buena). En el trabajo de (Al-rekabi & Al-khafaji, 2014) se determinó el ICAR, usando el CCME – WQI, para lo cual se trabajó con 4 estaciones ubicadas a lo largo del río Éufrates en la ciudad de Al-Nassiriyah, Irak. El monitoreo se realizó durante el período comprendido entre el verano de 2012 y la primavera de 2013. Se trabajó con once parámetros de calidad del agua: tasa de adsorción de sodio (SAR), carbonato de sodio residual (RSC), conductividad eléctrica, pH, bicarbonato, ion cloruro, ion boro, plomo, hierro, cadmio, cobre. Los resultados obtenidos del ICAR para el río Éufrates oscilaron entre 47,66 y 67,93, lo que indica que el río tiene una calidad moderada para riego. En el trabajo de (Ahmed et al., 2020) tuvo como objetivo conocer el estado de la calidad del agua en el distrito de Mathura, para ello, 65 muestras de agua se recolectaron en julio de 2016 y se determinaron experimentalmente los parámetros fisicoquímicos y se evaluaron comparando sus valores con la Oficina de Estándares Indios (BIS). Los resultados muestran que la dureza total (TH), los sólidos disueltos totales (TDS), el Cl⁻ y el Mg²⁺ son mucho más altos que (50%) el límite permisible. La mayoría de las muestras tienen valores elevados de NO₃⁻ y Cl⁻. Las

fuentes de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ provienen del proceso de meteorización. Los valores CCME – WQI oscilaron entre 1,862 y 82,254 y muestran que la calidad del agua es buena a mala.

Actualmente no hay un trabajo que muestre de manera integral, breve y precisa el estado de la calidad del agua con fines de riego en la Cuenca del Huallaga. Tampoco se conocen los contaminantes que se encuentran en mayor proporción y sobrepasan los estándares de calidad ambiental establecidos por la norma peruana. Esta investigación tiene como objetivo evaluar el ICA – PE de los cuerpos de agua en la Cuenca del Huallaga destinadas al riego agrícola, es decir cuerpos de agua de Categoría 3, Subcategoría D1.

2. Materiales y métodos

2.1. Ubicación

El análisis de la investigación abarca toda la extensión de la Cuenca del Huallaga que se encuentra en la zona

central del país, con una extensión de 89893,58 km² con una extensión de áreas agrícolas de 19054,65 km² (Figura 1).

2.2. Toma y preprocesamiento de datos

Los datos se tomaron de los monitoreos de calidad de agua realizados por la ANA, cuyos resultados se encuentran en el siguiente enlace <https://snirh.ana.gob.pe/observatorioSNIRH/>, en total se analizaron 139 puntos de monitoreos realizados entre el 2014 y 2019, analizando un total de 41 parámetros entre fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos o parasitológicos. Cabe mencionar que existen más puntos de monitoreo que los 139 considerados para esta investigación, sin embargo, sólo se están considerando los puntos de monitoreo en los que la categoría del cuerpo de agua es 3 D1, es decir destinada al riego agrícola y los puntos de monitoreo que tienen los datos completos para el periodo de evaluación.

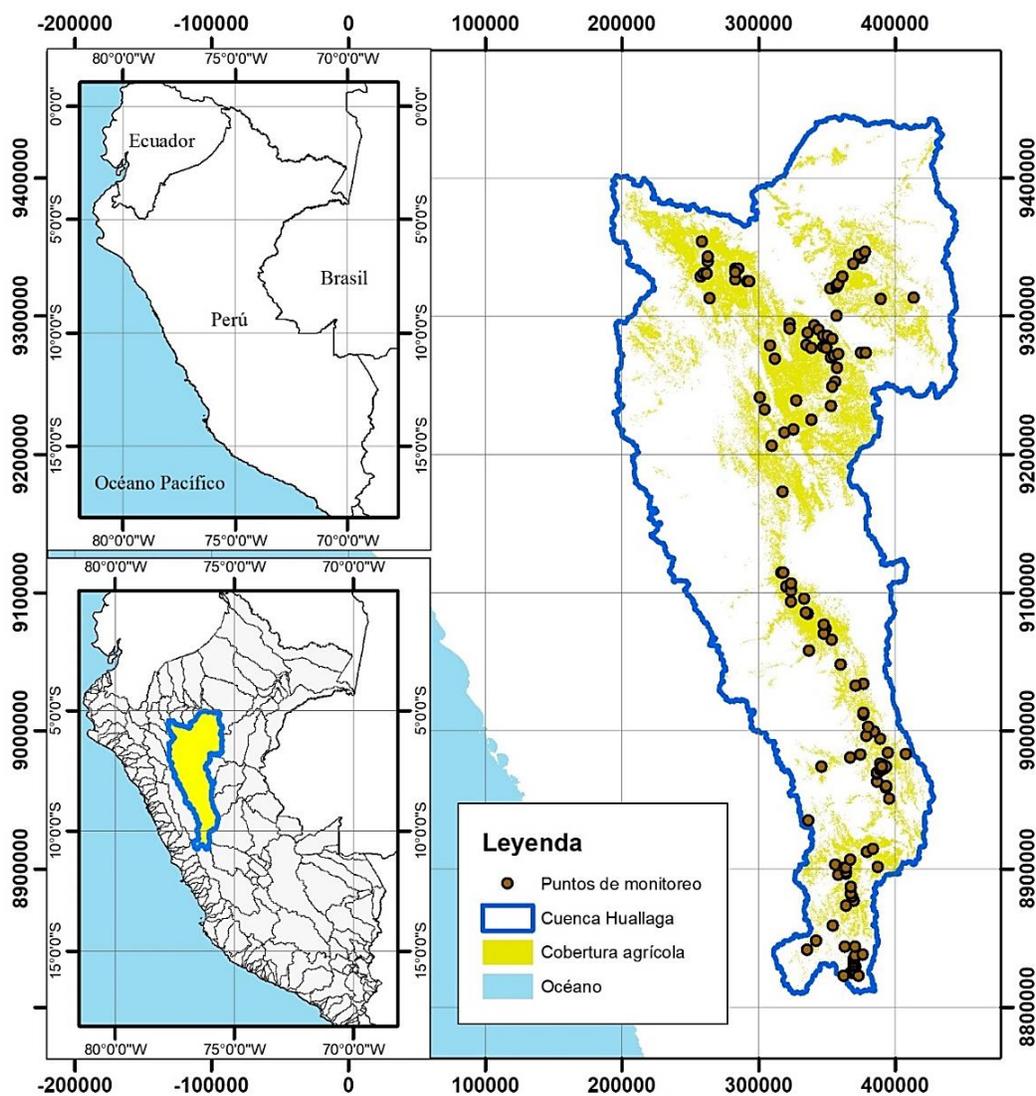


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio, puntos de monitoreo y cobertura agrícola.

2.3. Aplicación del ICA – PE

Para la determinación del índice de calidad de agua se aplica la fórmula canadiense, que comprende tres factores (alcance, frecuencia y amplitud), dando como resultado un valor numérico desde 1 hasta 100 y se determina con la siguiente fórmula:

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}} \tag{1}$$

A continuación, se definen los conceptos de los 3 factores de la ecuación anterior:

F1 - Alcance: Es la cantidad de parámetros que no cumplen los estándares de calidad ambiental establecidos con respecto a la cantidad de parámetros evaluados.

$$F_1 = \frac{\text{Número total de parámetros que no cumplen los ECA}}{\text{Número total de parámetros a evaluar}} \cdot 100 \tag{2}$$

F2 - Frecuencia: es la cantidad total de datos que no cumplen con los estándares de calidad ambiental con respecto a la cantidad total de datos evaluados

$$F_2 = \frac{\text{Número total de datos que no cumplen los ECA}}{\text{Número total de datos a evaluar}} \cdot 100 \tag{3}$$

F3 - Amplitud: representa la proporción de la magnitud de la desviación de los datos con respecto al estándar de calidad ambiental establecido.

$$F_3 = \frac{\text{Suma normalizada de excedentes}}{\text{Suma normalizada de excedentes}+1} \cdot 100 \tag{4}$$

3. Resultados y discusión

3.1. Cálculo del índice

Con respecto al periodo de evaluación, en el presente estudio se trabajó con 6 años, periodo que está dentro de los rangos de los estudios de **de Almeida & de Oliveira (2018)** (8 años), **Reddy et al. (2021)** (2 años) o hasta un año en diferentes temporadas o estaciones (**Al-rekabi & Al-khafaji, 2014; Allam et al., 2015**), en cuanto a la cantidad de puntos de monitoreo en este estudio se trabajaron 139, en comparación con los 15, 20, 35 o 123 de los estudios de (**Devi et al., 2021; Feng et al., 2020; Karakuş & Yıldız, 2020; Kumarasamy et al., 2014**), sin embargo es importante resaltar que la cantidad de puntos de

monitoreo es una función de la extensión y la longitud del cuerpo de agua que se quiere evaluar. En cuanto a los parámetros de calidad evaluados, en ese estudio se evaluaron 41 parámetros de calidad, en comparación con los 23 del estudio de (**Baghapour et al., 2013**), 11 de los estudios de (**Al-rekabi & Al-khafaji, 2014; Falih-Al-Khalidi & Al-Asady, 2019**) o 13 del estudio de (**Ahmed et al., 2020**), sin embargo, es necesario mencionar que para cada evaluación no se trabajó con los 41 parámetros en su totalidad, sino que para cada monitoreo la cantidad y los tipos de parámetros variaron, esto puede explicar esta mayor cantidad de parámetros. Como se puede apreciar en la **Figura 2a**, del total de puntos de monitoreo, 26 (18,71%) de ellos resultaron con una calidad excelente, 62 (44,60%) con calidad buena, 35 (25,18%) con calidad regular, 13 (9,35%) con calidad mala y 3 (2,16%) con pésima calidad. Estas proporciones de calidad encontradas en una zona son comparables a las de otros estudios (**Al-rekabi & Al-khafaji, 2014; Amahmid et al., 1999; Baghapour et al., 2013; Falih-Al-Khalidi & Al-Asady, 2019**).

Como se puede apreciar en la **Figura 2b**, los factores que más impactaron en la reducción de la calidad del agua fueron F_3 , F_1 y F_2 respectivamente. El factor F_3 , que representa la amplitud y magnitud de la desviación de los valores con respecto a los estándares o valores de referencia, significa que la calidad del agua destinada al riego en la cuenca se ha visto reducida principalmente porque hay parámetros cuyos valores están demasiado alejados de los valores estándares, como se puede apreciar en la **Tabla 1**, existen parámetros que en el promedio de todas las mediciones, sobrepasaron el ECA, como es el caso de los Coliformes Termotolerantes, cuyo valor promedio observado es de 605952,950 NMP/100 mL, es decir casi 606 veces más por encima del estándar, o como es el caso también de la *Escherichia coli* que sobrepasa el ECA en casi 288 veces o los casos del Clordano, Aldrín, Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT) y el Endrin que sobrepasaron el ECA en 833, 20, 20 y 5 veces respectivamente, aunque de estos últimos parámetros, hay pocas mediciones, lo cual pone en duda su representatividad para toda la cuenca.

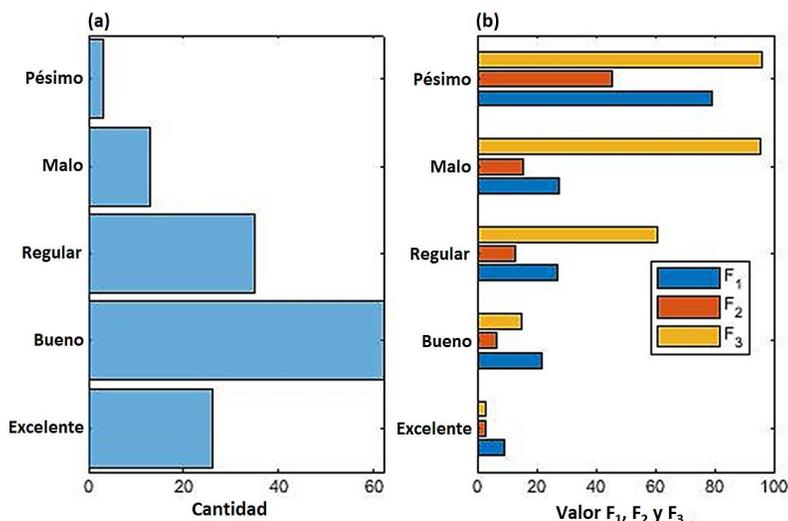


Figura 2. Descripción general de la calidad del agua en la cuenca del Huallaga: **a.** Conteo de las diferentes calificaciones de calidad en la cuenca, **b.** Valores de F_1 , F_2 y F_3 , correspondientes a cada categoría de calidad en la cuenca.

Tabla 1

Parámetros medidos en la evaluación del ICA – PE, porcentaje de valores que no cumplen los ECAs y promedios observados

Parámetro	P	f	Promedio	ECA	Unidad	Método de referencia ¹
Clordano	10/10	100	0,500	0,006	µg/L	EPA Method 8270 E Rev. 6 June
Coliformes Termotolerantes	1029/1927	53	605,952,950	1000	NMP/100 ml	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E1, 23rd Ed. 2017
Aldrín	10/25	40	0,080	0,004	µg/L	EPA Method 8270 E Rev. 6 June
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	10/25	40	0,200	0,001	µg/L	EPA Method 8270 E Rev. 6 June
Endrín	10/25	40	0,200	0,004	µg/L	EPA Method 8270 E Rev. 6 June
Escherichia coli	701/1803	39	287,845,034	1000	NMP/100 ml	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 G-2, 23rd Ed 2017
pH	478/1866	26	7,919	6,5 - 8,5	Unidad de PH	EPA METHOD 9045 D Rev. 4
Manganeso	345/1945	18	1,877	0,2	mg/L	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007
Hierro	259/1945	13	3,285	5	mg/L	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007
Aluminio	218/1945	11	2,450	5	mg/L	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007
Oxígeno Disuelto	151/1897	8	6,663	> 4	mg/L	NTP 214.046:2013 (revisada el 2018) 1ra Edición
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	126/1843	6,8	19,836	40	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 O, 23rd Ed 2017
Detergentes (SAAM)	38/1235	3,1	0,090	0,2	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part S540 C, 23rd Ed 2017
Plomo	58/1945	3	0,011	0,05	mg/L	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	45/1957	2,3	4,633	15	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed 2017
Bicarbonatos	2/105	1,9	92,632	518	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed 2017
Aceites y Grasas	35/1952	1,8	1,306	5	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23rd Ed.2017
Conductividad	16/1886	0,8	319,207	2500	(µS/cm)	SEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 23rd Ed 2017
Cloruros	14/1880	0,7	29,760	500	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1
Bario	9/1945	0,5	0,073	0,7	mg/L	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007
Zinc	9/1944	0,5	0,503	2	mg/L	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007
Cobre	7/1945	0,4	0,008	0,2	mg/L	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007
Mercurio	7/1929	0,4	0,000	0,001	mg/L	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007
Cromo Total	5/1945	0,3	0,003	0,1	mg/L	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007
Arsénico	3/1945	0,2	0,004	0,1	mg/L	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007
Cobalto	3/1945	0,2	0,002	0,05	mg/L	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007
Selenio	3/1945	0,2	0,001	0,02	mg/L	EPA Method 6020B. Rev.2. July 2014
Boro	1/1945	0,1	0,022	1	mg/L	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007
Cadmio	1/1945	0,1	0,000	0,01	mg/L	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007
Sulfatos	1/1862	0,1	27,974	1000	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1
Berilio	0/1945	0	0,000	0,1	mg/L	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007
Dieldrín	0/25	0	0,200	0,5	µg/L	EPA Method 8270 E Rev. 6 June
Fenoles	0/75	0	0,001	0,002	mg/L	EPA Method 8270 E, Rev. 6 June
Heptacloro epóxido	0/24	0	0,001	0,01	mg/L	EPA Method 8270 E Rev. 6 June
Huevos de Helmintos	0/53	0	1,000	1	Huevo/L	Manual de técnicas parasitológicas y bacteriológicas de laboratorio (Bailenger modificado) OMS 1997
Litio	0/1945	0	0,009	2,5	mg/L	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007
Niquel	0/1945	0	0,003	0,2	mg/L	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	0/166	0	0,312	100	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1
Nitritos (NO ₂ -)	0/157	0	0,105	10	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1
Paratión	0/25	0	0,821	35	µg/L	EPA-670 / 4-73 - 001. Plankton. 3.1.1 y 4.1.1 (July 1973)

f: Número de mediciones que no cumplieron los ECAs sobre la cantidad total de mediciones

l: Porcentaje total de mediciones que no cumplieron los ECAs

¹ Los métodos de referencia se obtuvieron a partir de los "Informes del monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Huallaga" para los periodos junio – julio del 2018, noviembre – diciembre del 2018 y febrero – marzo del 2019 y también se complementó con la información del reporte de métodos del sistema en línea del Instituto Nacional de la Calidad de la empresa consultora que realizó las mediciones de los parámetros (ANA, 2018a, 2018b, 2019; INACAL, 2022).

Con respecto al Factor F₁, que representa la proporción de mediciones que no cumplen los ECAs, como se aprecia en la **Tabla 1**, 10 de los 41 parámetros tienen por encima del 10% la cantidad de mediciones que no cumplen los ECAs; en cuanto al factor F₂, que representa la proporción

de parámetros que no cumplen los ECAs, los relativos bajos valores que se muestran en la **Figura 2**, nos indican que los parámetros que sobrepasan los ECAs son frecuentes, es decir casi siempre son los mismos parámetros los que sobrepasan los ECAs lo que

significaría que las fuentes de contaminación en general no son muy diversas (Bhatti & Latif, 2011).

Los puntos de monitoreo con calidad pésima fueron el Río Cumbaza, (RCumb3 y RCumb4) y el río Shilcayo (RShil2), como se muestra en la Figura 4 y la

Figura 5, los principales contaminantes encontrados fueron aceites y grasas, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Coliformes Termotolerantes y *Escherichia coli*.

3.2. Análisis de los principales contaminantes

Los patógenos microbianos humanos que se detectan con mayor frecuencia en las aguas residuales son de origen entérico, los Coliformes Termotolerantes y *Escherichia coli* son buenos ejemplos (Abaidoo et al., 2010), para este estudio sobrepasan los estándares el 53,4 y 38,9% respectivamente. Las fuentes más comunes de patógenos microbianos, son las aguas residuales domésticas, y los valores de estos suelen oscilar entre 10⁰ a 10¹⁰/ml (Ottoson, 2005), este rango de valores es consistente con los datos encontrados en los monitoreos de este estudio, 10⁵/ml en promedio como se muestra en la Tabla 1, la transferencia de patógenos a los cultivos depende de varios factores. Los cultivos de ensalada (p. ej., tomates, lechuga, pimiento, repollo), los tubérculos (p. ej., rábanos, cebollas, zanahorias, papas, yucas, pitucas) o aquellos cultivos que crecen cerca del suelo (p. ej., calabacines) presentan un alto potencial de contaminación relacionada con las aguas residuales contaminadas por microorganismos patógenos. Además, los cultivos que tienen ciertas propiedades superficiales (peludas, pegajosas, ásperas o con grietas) protegen a los patógenos de la exposición a la

radiación y de la eliminación mecánica por la lluvia o durante el lavado posterior a la cosecha (Abaidoo et al., 2010). Con respecto al pH, en el 25,6% de las mediciones el agua se encontró fuera de los rangos tendiendo a la alcalinidad, de acuerdo con la Tabla 1, el pH promedio fue de 7,919, valor que coincide con los encontrados en aguas superficiales en los estudios de (Abdel-Shafy & El-Khateeb, 2019) esta tendencia a la alcalinidad en los cuerpos de agua se debe a la hidrogeoquímica o la presencia de agua residuales domésticas (Abdel-Shafy & El-Khateeb, 2019; Khan et al., 2018). Con respecto al manganeso, hierro y aluminio, la cantidad de mediciones que sobrepasan los ECAs fueron del 17,7%, 13,3% y 11,2% respectivamente, pudiendo explicarse por la presencia de residuos metálicos domésticos (Kinuthia et al., 2020). Con respecto a la presencia de clordano, aldrín, endrín, Dicloro Difenil y Tricloroetano (DDT), estos son insecticidas organoclorados para el suelo y para el control doméstico de cucarachas, hormigas y termitas y aunque son muy pocas las mediciones de estos compuestos organoclorados (clordano, aldrín, endrín, y DDT), 10 de cada uno en todo el periodo de monitoreo y a lo largo de toda la cuenca, sin embargo, el porcentaje de mediciones que no cumplen los ECAs es de 40% y en el caso del clordano es del 100%.

Los contaminantes analizados en los párrafos anteriores son indicadores de que las principales fuentes de contaminación son las aguas residuales agrícolas y las urbanas (aguas residuales domésticas y municipales y puntos críticos de residuos sólidos), tal como se encuentra en el informe del ANA (2019).

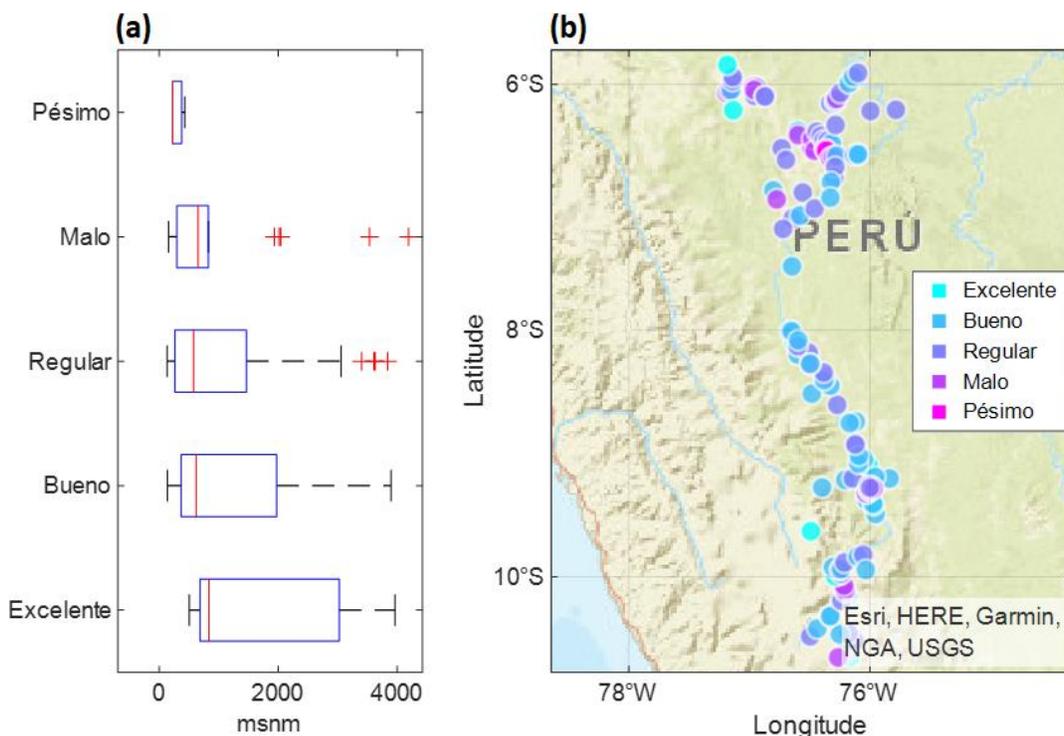


Figura 3. a. Diagrama de cajas de la calidad del agua para riego en función de la altitud (msnm), b. Clasificaciones de calidad a lo largo de la red de monitoreo que demuestra que los más bajos valores de calidad se encuentran en las partes de menor altitud en la cuenca principal y las subcuencas.

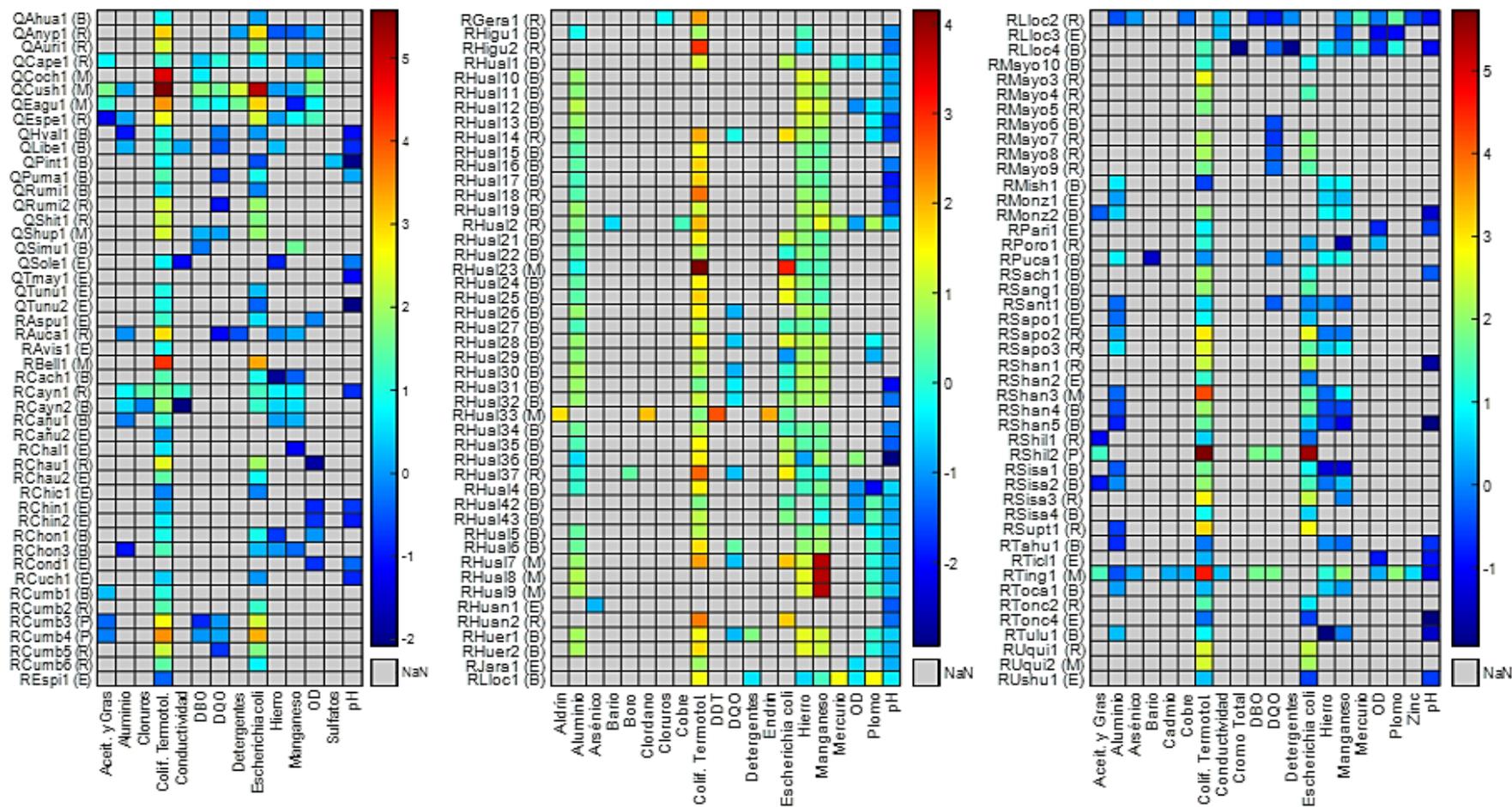


Figura 4. Mapa de calor del logaritmo de los excedentes de los parámetros evaluados que sobre pasan los ECAs (eje X) en los 139 puntos de monitoreo cuyos códigos de identificación y calidad determinada se muestra en el eje Y, donde (E) es para una excelente calidad, (B) si es buena, (R) regular, (M) mala y (P) si es pésima. Los cuadros en plomo son los parámetros que no sobrepasaron los ECAs.

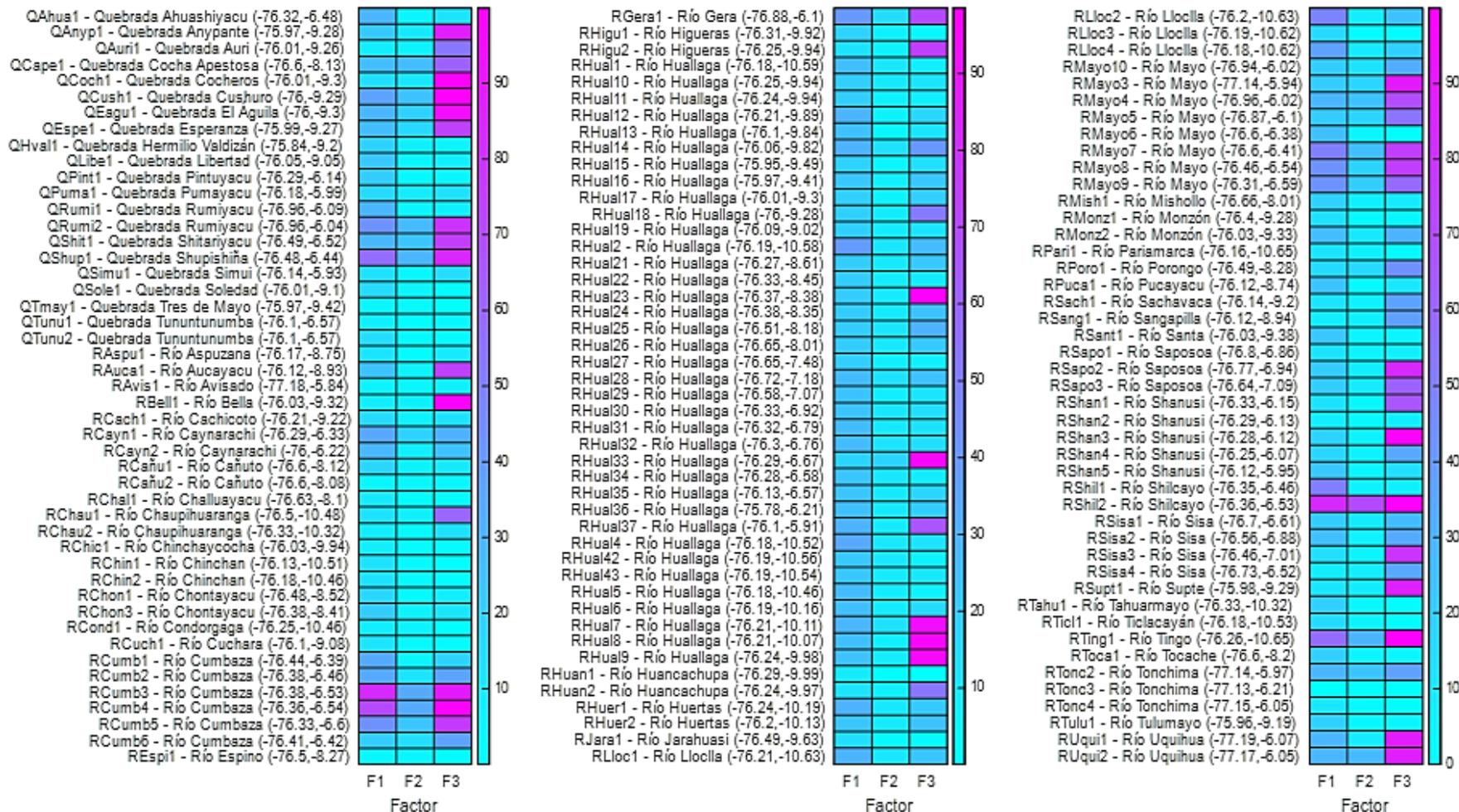


Figura 5. Mapa de calor de los factores F1, F2 y F3. En el eje Y se muestra el código del cuerpo de agua, el nombre y las coordenadas geográficas de los puntos de monitoreo.

3.3. Posibles mecanismos de dispersión

De acuerdo con la **Figura 3a**, la calidad del agua disminuye con la altitud, es decir que los contaminantes viajan desde las partes más altas y se acumulan a lo largo del cauce y los principales ríos ocasionando variedad de contaminantes y elevadas concentraciones. De acuerdo con (**Malakar et al., 2019; Singh et al., 2019**), el mecanismo de dispersión de contaminantes más común es el arrastre por flujo superficial y subsuperficial y la posible acumulación en los sedimentos, los cuales viajan desde las partes altas hasta las más bajas, disminuyendo la calidad de los cuerpos de agua a medida que estos convergen a los cauces principales tal como se muestra en la **Figura 3b**.

La gestión de cabecera de cuencas resulta importante en este contexto, acciones como el tratamiento de las aguas residuales previo vertimiento a los cuerpos de aguas superficiales, la eliminación de puntos críticos y botaderos con la finalidad de disponer los residuos sólidos en rellenos sanitarios o distanciamiento de las actividades agrícolas y pecuarias a las riberas son acciones que pueden disminuir la dispersión de contaminantes y así mejorar la calidad (**Kinuthia et al., 2020; Malakar et al., 2019**).

4. Conclusiones

Se determinó el ICA – PE Categoría 3 D1 de los cuerpos de agua destinados para el riego en la cuenca del Huallaga, encontrando que, de los 139 puntos de monitoreo, 26 (18,71%) de ellos resultaron con una calidad excelente, 62 (44,60%) con calidad buena, 35 (25,18%) con calidad regular, 13 (9,35%) con calidad mala y 3 (2,16%) con pésima calidad.

Los principales contaminantes encontrados fueron los Coliformes Termotolerantes, *Escherichia coli*, que en promedio sobrepasaron el ECA en 606 y 288 veces y en el 53,4% (1029/1927) y 38,9% (701/1803) de las mediciones respectivamente, no lo cumplen. La contaminación por pesticidas organoclorados, en el 100% (10/10) de las mediciones del clordano se sobrepasó el ECA y con respecto al Endrín, Aldrín y DDT se sobrepasó el ECA en el 40% (10/25) de los casos. Con respecto al pH, en el 25,6% de las mediciones el agua se encontró fuera de los rangos tendiendo a la alcalinidad y para el manganeso, hierro y aluminio, la cantidad de mediciones que sobrepasan los ECAs fueron del 17,7%, 13,3% y 11,2% respectivamente.

Las principales fuentes de contaminación son la agrícola y la antrópica municipal (aguas residuales domésticas, municipales y por puntos críticos de residuos sólidos). La calidad del agua disminuye gradualmente con la altitud encontrando la menor calidad en los cauces donde convergen los flujos superficiales.

Se evaluó la calidad del agua para riego de los 139 puntos de monitoreo identificando los excedentes de los contaminantes para cada punto de monitoreo, así como sus coordenadas geográficas. Esta información resulta relevante para identificar la contaminación en cada punto de monitoreo, conocer su ubicación y los principales contaminantes que sobrepasan los ECAs antes de que el recurso hídrico sea usado para el regadío, garantizando la calidad del agua para el riego.

ORCID

- A. F. Cerna-Cueva  <https://orcid.org/0000-0001-7448-558X>
 C. Aguirre-Escalante  <https://orcid.org/0000-0002-6109-4237>
 B. L. Wong-Figueroa  <https://orcid.org/0000-0003-4416-5125>
 J. L. Tello-Cornejo  <https://orcid.org/0000-0003-0959-7459>
 W. Pinchi-Ramírez  <https://orcid.org/0000-0002-3286-4618>

Referencias bibliográficas

- Abaidoo, R. C., Keraita, B., Drechsel, P., Dissanayake, P., & Maxwell, A. S. (2010). Soil and Crop Contamination Through Wastewater Irrigation and Options for Risk Reduction in Developing Countries. En *Soil Biology and Agriculture in the Tropics* (Edición 1ª, pp. 275-297).
- Abdel-Shafy, H. I., & El-Khateeb, M. A. (2019). Fate of heavy metals in selective vegetable plants irrigated with primary treated sewage water at slightly alkaline medium. *Egyptian Journal of Chemistry*, 62(12), 2303-2312.
- Ahmed, S., Khurshid, S., Madan, R., Abu Amarah, B. A., & Naushad, M. (2020). Water quality assessment of shallow aquifer based on Canadian Council of Ministers of the environment index and its impact on irrigation of Mathura District, Uttar Pradesh. *Journal of King Saud University - Science*, 32(1), 1218-1225.
- Al-rekabi, H. Y., & Al-khafaji, B. Y. (2014). Applied of CCME Water Quality Index for Evaluation of Water Quality of Euphrates river For Irrigation Purposes in Al-Nassiryia city Murooj abbas buhlool. *Journal of Thi-Qar Science*, 4(3), 37-43.
- Allam, A., Fleifle, A., Tawfik, A., Yoshimura, C., & El-Saadi, A. (2015). A simulation-based suitability index of the quality and quantity of agricultural drainage water for reuse in irrigation. *Science of the Total Environment*, 536, 79-90.
- Amahmid, O., Asmama, S., & Bouhoum, K. (1999). The effect of waste water reuse in irrigation on the contamination level of food crops by Giardia cysts and Ascaris eggs. *International Journal of Food Microbiology*, 49(1-2), 19-26.
- Amahmid, Omar, Asmama, S., & Bouhoum, K. (2022). Pathogenic parasites in sewage irrigated crops and soil: pattern of occurrence and health implications. *International Journal of Environmental Health Research*, 32(7), 1594-1608.
- ANA. (2015a). Evaluación de recursos hídricos en la cuenca de la cuenca Huallaga - Parte 1. En Autoridad Nacional del Agua.
- ANA. (2015b). Evaluación de recursos hídricos en la cuenca de la cuenca Huallaga - Parte 2. En Autoridad Nacional del Agua.
- ANA. (2018). Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales (p. 55). Resolución Jefatural N° 068-2018-ANA.
- ANA. (2018a). Informe del monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Huallaga (junio - julio de 2018). Autoridad Nacional del Agua. Perú.
- ANA. (2018b). Informe del monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Huallaga (noviembre - diciembre de 2019). Autoridad Nacional del Agua. Perú.
- ANA. (2019). Informe del monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Huallaga (febrero - marzo de 2019). Autoridad Nacional del Agua. Perú.
- Anh, V. T., Tram, N. T., Klank, L. T., Cam, P. D., & Dalsgaard, A. (2007). Faecal and protozoan parasite contamination of water spinach (*Ipomoea aquatica*) cultivated in urban wastewater in Phnom Penh, Cambodia. *Tropical Medicine & International Health*, 12(2), 73-81.
- Baghapour, M. A., Nasser, S., & Djahed, B. (2013). Evaluation of Shiraz wastewater treatment plant effluent quality for agricultural irrigation by Canadian Water Quality Index (CWQI). *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 10(27), 1-9.
- Balkhair, K. S. (2016). Microbial contamination of vegetable crop and soil profile in arid regions under controlled application of domestic wastewater. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 23(1), 83-92.

- Bhatti, M. T., & Latif, M. (2011). Assessment of water quality of a river using an indexing approach during the low-flow season. *Irrigation and Drainage*, 60(1), 103-114.
- Castro-Rosas, J., Cerna-Cortés, J. F., Méndez-Reyes, E., Lopez-Hernandez, D., Gómez-Aldapa, C. A., & Estrada-García, T. (2012). Presence of faecal coliforms, *Escherichia coli* and diarrheagenic *E. coli* pathotypes in ready-to-eat salads, from an area where crops are irrigated with untreated sewage water. *International Journal of Food Microbiology*, 156(2), 176-180.
- CCME. (2012). Synthesis of Research and Application of the Cme Water Quality Index. Canadian Council of Ministers of the Environment.
- Chaoua, S., Boussaa, S., El Gharmali, A., & Boumezzough, A. (2019). Impact of irrigation with wastewater on accumulation of heavy metals in soil and crops in the region of Marrakech in Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(4), 429-436.
- de Almeida, G. S., & de Oliveira, I. B. (2018). Application of the index WQI-CCME with data aggregation per monitoring campaign and per section of the river: case study—Joanes River, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(4), 1-13.
- Devi, G., Goswami, L., Kushwaha, A., Sathe, S. S., Sen, B., & Prasad Sarma, H. (2021). Fluoride distribution and groundwater hydrogeochemistry for drinking, domestic and irrigation in an area interfaced near Brahmaputra floodplain of North-Eastern India. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 16, 1-16.
- Dotaniya, M. L., Rajendiran, S., Meena, V. D., Coumar, M. V., Saha, J. K., Kundu, S., & Patra, A. K. (2018). Impact of Long-Term Application of Sewage on Soil and Crop Quality in Vertisols of Central India. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 101(6), 779-786.
- Falih-Al-Khalidi, A. M., & Al-Asady, R. K. A. (2019). The use of water quality index (Canadian model) to determine the validity of the river of al-diwanayah-Iraq for irrigation. *Journal of Punjab Academy of Forensic Medicine and Toxicology*, 19(2), 90-93.
- Farhadkhani, M., Nikaen, M., Yadegarfar, G., Hatamzadeh, M., Pourmohammadbagher, H., Sahbaei, Z., & Rahmani, H. R. (2018). Effects of irrigation with secondary treated wastewater on physicochemical and microbial properties of soil and produce safety in a semi-arid area. *Water Research*, 144, 356-364.
- Feng, J., Sun, H., He, M., Gao, Z., Liu, J., Wu, X., & An, Y. (2020). Quality assessments of shallow groundwaters for drinking and irrigation purposes: Insights from a case study (jinta basin, heihe drainage area, northwest china). *Water (Switzerland)*, 12(10), 1-8.
- Forslund, A., Ensink, J. H. J., Markussen, B., Battilani, A., Psarras, G., Gola, S., Sandei, L., Fletcher, T., & Dalsgaard, A. (2012). *Escherichia coli* contamination and health aspects of soil and tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) subsurface drip irrigated with on-site treated domestic wastewater. *Water Research*, 46(18), 5917-5934.
- INACAL. (2022). Métodos de ensayo acreditados - Servicio - Gobierno del Perú. Instituto Nacional de la Calidad.
- Karakuş, C. B., & Yıldız, S. (2020). Evaluation for Irrigation Water Purposes of Groundwater Quality in the Vicinity of Sivas City Centre (Turkey) by Using Gis and an Irrigation Water Quality Index. *Irrigation and Drainage*, 69(1), 121-137.
- Khan, Z. I., Ahmad, K., Iqbal, S., Ashfaq, A., Bashir, H., Mehmood, N., & Dogan, Y. (2018). Evaluation of heavy metals uptake by wheat growing in sewage water irrigated soil. *Human and Ecological Risk Assessment*, 24(5), 1409-1420.
- Kinuthia, G. K., Ngunjiri, V., Beti, D., Lugalia, R., Wangila, A., & Kamau, L. (2020). Levels of heavy metals in wastewater and soil samples from open drainage channels in Nairobi, Kenya: community health implication. *Scientific Reports*, 10(1), 1-13.
- Kumarasamy, P., Dahms, H. U., Jeon, H. J., Rajendran, A., & Arthur James, R. (2014). Irrigation water quality assessment—an example from the Tamiraparani river, Southern India. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(12), 5209-5220.
- Libutti, A., Gatta, G., Gagliardi, A., Vergine, P., Pollice, A., Beneduce, L., Disciglio, G., & Tarantino, E. (2018). Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*, 196, 1-14.
- Malakar, A., Snow, D. D., & Ray, C. (2019). Irrigation water quality—A contemporary perspective. *Water (Switzerland)*, 11(7), 1-24.
- Mehmood, A., Aslam Mirza, M., Aziz Choudhary, M., Kim, K. H., Raza, W., Raza, N., Soo Lee, S., Zhang, M., Lee, J. H., & Sarfraz, M. (2019). Spatial distribution of heavy metals in crops in a wastewater irrigated zone and health risk assessment. *Environmental Research*, 168, 382-388.
- Meng, Z., Bai, X., & Tang, X. (2022). Short-Term Assessment of Heavy Metals in Surface Water from Xiaohu River Irrigation Area, China: Levels, Sources and Distribution. *Water*, 14(8), 1273.
- Murtaza, G., Shehzad, M. T., Kanwal, S., Farooqi, Z. U. R., & Owens, G. (2022). Biomagnification of potentially toxic elements in animals consuming fodder irrigated with sewage water. *Environmental Geochemistry and Health* 2022, 1-16.
- Ottoson, J. (2005). Faecal contamination of greywater and associated microbial risks [Royal Institute of Technology].pp 1-96
- Panhwar, M. Y., Panhwar, S., Keerio, H. A., Khokhar, N. H., Shah, S. A., & Pathan, N. (2022). Water quality analysis of old and new Phuleli Canal for irrigation purpose in the vicinity of Hyderabad, Pakistan. *Water Practice and Technology*, 17(2), 529-536.
- Reddy, S. K. K., Gupta, H., Reddy, D. V., & Kumar, D. (2021). The suitability of surface waters from small west-flowing rivers for drinking, irrigation, and aquatic life from a global biodiversity hotspot (Western Ghats, India). *Environmental Science and Pollution Research*, 28(29), 38613-38628.
- Sayo, S., Kiratu, J. M., & Nyamato, G. S. (2020). Heavy metal concentrations in soil and vegetables irrigated with sewage effluent: A case study of Embu sewage treatment plant, Kenya. *Scientific African*, 8, 1-11.
- Sharma, C. M., Kang, S., Tripathee, L., Paudyal, R., & Sillanpää, M. (2021). Major ions and irrigation water quality assessment of the Nepalese Himalayan rivers. *Environment, Development and Sustainability*, 23(2), 2668-2680.
- Singh, P., Singh, R. P., & Srivastava, V. (2019). Contemporary environmental issues and challenges in era of climate change. Contemporary Environmental Issues and Challenges in Era of Climate Change (December 2019), 1-10
- Tan, Y., Wei, Q., Zhang, B., Zheng, Z., Guo, J., Fan, F., & Peng, Y. (2021). Evaluation of Soil and Irrigation Water Quality in Caohai Lakeside Zone. *Sustainability*, 13(22), 12866.
- Tripathi, V. K., Rajput, T. B. S., Patel, N., & Nain, L. (2019). Impact of municipal wastewater reuse through micro-irrigation system on the incidence of coliforms in selected vegetable crops. *Journal of Environmental Management*, 251, 1-9.
- Ugulu, I., Khan, Z. I., Safdar, H., Ahmad, K., & Bashir, H. (2021). Chromium Bioaccumulation by Plants and Grazing Livestock as Affected by the Application of Sewage Irrigation Water: Implications to the Food Chain and Health Risk. *International Journal of Environmental Research*, 15(2), 261-274.
- Yan, X., Zhao, W., Yang, X., Liu, C., & Zhou, Y. (2020). Input-output balance of cadmium in typical agriculture soils with historical sewage irrigation in China. *Journal of Environmental Management*, 276, 1-16.