

Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo humano en seis comunidades rurales altoandinas de Huancavelica-Perú

Physicochemical and microbiological evaluation of water for human consumption in six rural High Andean communities of Huancavelica-Peru

Wohler Gonzales Saenz¹, Luz Marina Acharte Lume², Javier Camilo Poma Palacios³, Víctor Guillermo Sánchez Araujo⁴, Filimon Alejandro Quispe Coica⁵ y Roc Meseguer Pallares⁶

Resumen

En el ámbito rural altoandino de Perú, es importante el monitoreo de la calidad de agua según las metas e indicadores del desarrollo sostenible correspondientes a su disponibilidad, su accesibilidad; y que esté libre de contaminación fecal y química. Al respecto, existe escasa información sobre la calidad del agua de consumo humano, lo que no ayuda con estrategias de intervención eficientes a los involucrados en la correcta gestión del agua.

Por tanto, el objetivo de esta investigación fue contribuir con información actualizada sobre la calidad de agua de seis comunidades rurales alto andinas del departamento de Huancavelica, Perú, respecto a parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Las comunidades fueron Antacocha, Huaylacucho, Pampachacra, Pueblo Libre, San Gerónimo y Sachapite, ubicadas entre 3782 m.s.n.m. y 4196 m.s.n.m., que albergan 17 reservorios de agua en los cuales se realizó el estudio. La evaluación fisicoquímica abarcó variables como la turbidez, conductividad eléctrica, pH, total de sólidos disueltos y potencial de oxidación; el microbiológico contempló la evaluación del Echericha Coli, coliformes termotolerantes y fecales. Como resultado, tan solo 1/17 (5,9%) punto de muestreo, ha superado el valor límite de turbidez de 5 NTU permitido por la normativa peruana; los demás parámetros se encuentran dentro del umbral permitido. Respecto a los parámetros microbiológicos (Echericha Coli, coliformes termotolerantes y fecales), 4/17 (23,5%) puntos de monitoreo han sobrepasado el valor límite permitido por el reglamento de agua de consumo humano; asimismo, se ha encontrado que estos tres parámetros guardan relación.

Palabras clave: Agua, agua doméstica, agua para el consumo, agua potable, agua dulce, calidad del agua.

Abstract

In the high Andean rural area of Perú, it is important to monitor the quality of water according to the goals and indicators of sustainable development corresponding to its availability, its accessibility, and that these are free of fecal and chemical contamination. In this regard, there is limited information on the quality of water for human consumption that does not support those involved in the correct management of water with efficient intervention strategies.

Therefore, the objective of this research was to contribute with updated information on the status of water quality in six high Andean rural communities in the department of Huancavelica in Peru, corresponding to physicochemical and microbiological parameters. The communities were Antacocha, Huaylacucho, Pampachacra, Pueblo Libre, San Gerónimo and Sachapite located between 3782 m.a.s.l. and 4196 m.a.s.l. that house a total of 17 water reservoirs where the study was carried out. The physicochemical evaluation included variables such as turbidity, electrical conductivity, pH, total dissolved solids and oxidation potential; the microbiological included the evaluation of Echericha Coli, thermotolerant and fecal coliforms. As a result, only 1/17 (5.9%) sampling point has exceeded the turbidity limit value of 5 NTU allowed by Peruvian regulations; the other parameters are within the allowed threshold. Regarding the microbiological parameters (Echericha Coli, thermotolerant and fecal coliforms), 4/17 (23.5%) monitoring points have exceeded the limit value allowed by the regulation of water for human consumption; Likewise, it has been found that these three parameters are related.

Keywords: Water, domestic water, drinking water, fresh water, water quality.

Recibido: 01/09/2022

Aceptado: 14/01/2023

Publicado: 31/01/2023

Sección: Artículo original

*Autor correspondiente: wohler.gonzales@unh.edu.pe

Introducción

A nivel global, el programa conjunto de monitoreo (PCM) de la OMS/UNICEF analiza el acceso a servicios de agua potable, saneamiento e higiene como parte del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6.1 y 6.2. Las dimensiones observadas son cinco para agua y saneamiento y tres para higiene, también llamadas escaleras de servicio de agua y saneamiento (Bain et al. 2018; OMS/UNICEF 2017). Una de las dimensiones es el indicador de “gestión segura”, que es un indicador que expresa el acceso a agua potable mejorada disponible en las instalaciones, cuando sea necesario,

¹Departamento Académico de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería Electrónica-Sistemas, Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0728-9479>

²Departamento Académico de Ingeniería de Minas, Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental de la Universidad Nacional de Huancavelica, Angaraes Huancavelica Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7717-6408>

³Departamento Académico de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería Electrónica-Sistemas, Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8527-809X>

⁴Departamento Académico de Ingeniería Ambiental Sanitaria, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7702-0881>

⁵Facultad de Ingeniería ambiental, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6396-0218>

⁶ ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9414-646X>

Como citar: Gonzales Saenz, W., Acharte Lume, L. M., Poma Palacios, J. C., Sánchez Araujo, V. G., Quispe Coica, F. A., & Meseguer Pallares, R. (2023). Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo humano en seis comunidades rurales altoandinas de Huancavelica-Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 25(1), 23–31. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.486>



libre de contaminación fecal y química prioritaria en las instalaciones (OMS/UNICEF 2015).

Al respecto, la inadecuada gestión de la calidad del agua representa una amenaza para la salud pública; debido a que la dinámica y el comportamiento del agua es variable en el tiempo y espacio es que requieren de un monitoreo periódico (Ortega-Murillo et al., 2011) a fin de disponer de información exacta y suficiente para una adecuada gestión del recurso hídrico según los planes del PCM (OMS/UNICEF 2015).

En ese sentido, al realizar una revisión de las fuentes de información de la calidad de agua y su monitoreo en la región altoandina de Perú se ha identificado un escaso registro de la información sobre el agua potable en el ámbito rural; tal es que en el informe de estimaciones sobre el uso de agua, saneamiento e higiene en el Perú 2021 asociados a indicadores nutricionales, solo se encuentran datos para el año 2010 concernientes a la calidad del agua potable, y no existe registro de datos para otros indicadores de gestión segura concernientes a la accesibilidad y disponibilidad del agua potable (OMS/UNICEF 2021).

Con relación a estudios de la calidad de agua en zonas altoandinas, se han hallado investigaciones asociadas a su monitoreo. Primero, de Quispe-Coica et al. (2020) que expone los retos y oportunidades de realizar el monitoreo del agua en escenarios rurales alto andinos de Perú, sea en sus fuentes manantial, pozo, fuente, sistemas de abastecimiento o en viviendas, al aplicar dos métodos diferentes de monitoreo como son el de espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), y la absorción atómica (AAS). Asimismo, Choque-Quispe et al. (2021) realizaron un estudio de monitoreo de la calidad de agua de consumo humano en 17 distritos de Andahuaylas (2813 – 4004 m.s.n.m.), que concluye en cuatro distritos: Andahuaylas, San Gerónimo, Talavera y Chiara, donde la actividad extractiva minera influye en la calidad de agua de los manantiales debido a la presencia de metales Sb, As, Cd y Pb, y exceso en los niveles permitidos; por lo tanto, recomienda el monitoreo frecuente de las aguas de consumo humano. A la vez,

Barboza-Palomino et al. (2022) destacan la importancia de conocer la calidad del agua en espacios altoandinos por la peculiaridad de la composición y geomorfología de dichas aguas. Yacoub et al. (2013) realizaron el estudio de calidad de agua en la cuenca del río Jequetepeque-Perú asociados a parámetros fisicoquímicos y metales traza.

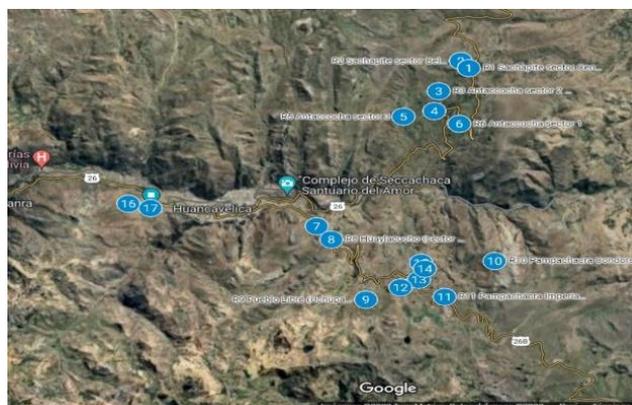
De lo expuesto se desprende que existe un indicador precario e insuficiente de la “gestión de forma segura” de la calidad de agua potable del ámbito rural del país, lo que permite ver la necesidad de mejorar e incrementar la cantidad de información sobre la calidad del agua y su correspondiente monitoreo; situación aún más compleja debido a la diversidad étnica y sociodemográfica en toda la geografía costera, serrana y selvática (Campos-Sánchez et al., 2011), que dificultan la integración comunitaria para una correcta gestión del agua y su monitoreo, lo que a todas luces muestra la necesidad de realizar estudios diferenciados sobre la gestión de forma segura del agua en el ámbito rural del país. Por ello, nuestro estudio tuvo por objetivo evaluar la calidad de agua en seis comunidades altoandinas rurales de Huancavelica-Perú, respecto a variables fisicoquímicas y microbiológicas ajustadas a la normativa actual vigente del país y la OMS, con lo cual se mejorará e incrementará la insuficiente cantidad de información existente en esta parte del ámbito rural del país.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en las comunidades rurales altoandinas del distrito de Huancavelica ubicado entre los 3782 y 4196 m.s.n.m. durante los meses de marzo a mayo de 2022; en las comunidades de Antacocha, Huaylacucho, Pampachaca, Pueblo Libre, San Gerónimo y Sachapite. La localización geográfica de los puntos de muestreo corresponde a una muestra no probabilista de 17 de los reservorios con que cuentan las comunidades; la ubicación geográfica fue localizada con el equipo Sistema de posicionamiento global (GPS) Garmin ETREX 22x tanto para latitud, longitud y altitud, según se observa en la tabla 1, y su georreferenciación en google maps según la figura 1.

Tabla 1. Ubicación de los 17 puntos de muestreo de agua de las comunidades rurales.

Código y nombre del punto de muestreo	Latitud	Longitud	Altitud m.s.n.m.
R1: Sachapite sector Centro	12° 44.213	74° 54.462	4126
R2: Sachapite sector Bellavista	12° 44.069	74° 54.590	4196
R3: Antacocha sector 2 alto	12° 44.697	74° 54.948	4084
R4: Antacocha sector 2 bajo	12° 45.112	74° 55.017	3963
R5: Antacocha sector 3	12° 45.232	74° 55.510	4035
R6: Antacocha sector 1	12° 45.384	74° 54.610	3994
R7: Huaylacucho (sector Friaspata)	12° 47.521	74° 56.905	3823
R8: Huaylacucho (sector Centro)	12° 47.797	74° 56.668	3832
R9: Pueblo Libre (Uchupata)	12° 49.060	74° 56.118	4092
R10: Pampachacra Condorsencca	12° 48.247	74° 54.044	4108
R11: Pampachacra Imperial	12° 48.999	74° 54.856	4102
R12: Pampachacra Miraflores	12° 48.811	74° 55.358	4105
R13: Pampachacra 11 Estrellas	12° 48.643	74° 55.271	4072
R14: Pampachacra Barrio Centro	12° 48.415	74° 55.166	4009
R15: Pampachacra Villa Libertad	12° 48.286	74° 55.230	3963
R16: San Gerónimo Alto, Puquiocucho	12° 47.048	74° 59.931	3885
R17: San Gerónimo Bajo, Patacocha	12° 47.142	74° 59.584	3782

**Figura 1.** Puntos de muestreo de agua de las comunidades rurales.

La evaluación fisicoquímica del agua correspondiente a los 17 reservorios se inició con la recolección de las muestras en vasos precipitados de 100 ml en la cantidad volumétrica de 65 ml. La evaluación fisicoquímica se realizó *in situ* a través de la inmersión de los electrodos de los equipos de medición en cada una de las muestras de agua obtenidas de cada reservorio bajo la autorización de los responsables de la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS) de cada comunidad, como se observa en la figura 2. Las variables medidas fueron: Potencial de Hidrógeno (pH), turbidez, conductividad eléctrica (CE), potencial redox (ORP), temperatura (T) y total de sólidos disueltos (TDS) medidos con equipos multi parámetros de la marca Hanna Instruments modelo HI991301 para el pH, CE, TDS y T con las siguientes especificaciones técnicas: pH

en el rango de 0,00 a 0,14, resolución de 0,01 y precisión: $\pm 0,01$. De otra parte, CE en el rango de 0,00 a 20,00 mS/cm con resolución de 0,01 mS/cm y precisión: $\pm 2\%$; asimismo, TDS en el rango de 0,00 a 10,00 ppt (g/L) con resolución de 0,01 ppt (g/L) y precisión $\pm 2\%$, y T en el rango de 0 – 60°C, con resolución de 0,1°C y precisión $\pm 0,5$ °C. En el caso del ORP se utilizó el Hanna Instruments modelo HI98121 cuyo rango de medición es ± 1000 mV con resolución de 1 mV y precisión de ± 2 mV. Finalmente, la turbidez se midió con el Hanna Instruments modelo HI93703 con escala de medición de 0,00 a 50,00 FTU* y 50,00 a 1000,00 FTU*, resolución de 0.01 FTU* para 0.00 a 50,00 FTU y 1 FTU para 50,00 a 1000 FTU con precisión de $\pm 0,5$ FTU o $\pm 5\%$ para 25°C/77°F.



Figura 2. Toma de muestras de agua y medición de variables fisicoquímicas de las comunidades rurales.

Para el estudio de análisis microbiológico las muestras se obtuvieron en envases de vidrio de 500 mL debidamente esterilizadas para su posterior transporte en cooler a temperatura de refrigeración con destino al laboratorio de microbiología de la Universidad Nacional de Huancavelica. La evaluación microbiológica contempló el análisis de coliformes termotolerantes, coliformes totales y *Escherichia coli*.

El método usado para el análisis de presencia de coliformes termotolerantes fue del Número Más Probable (NMP) usando caldo BRILA (Bilis Verde Brillante Lactosa) al 2% (0,0133 g/L verde brillante, 10 g/L lactosa, 20 g/L Lox-bilis (seca) y 10 g/l de peptona), donde se realizaron en cada muestra de agua diluciones de 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} , y se inocularon 1 mL de cada dilución en tubos de 9 ml con caldo BRILA. Por otro lado, para el análisis de coliformes totales se cultivaron las muestras en caldo BRILA a una temperatura de 35 °C o 37 °C; para el caso de tubos positivos a coliformes totales, se inoculó 1 ml en un tubo con caldo BRILA durante 24 horas a temperatura entre 44 a 45 °C con la finalidad de determinar si había o no coliformes termo tolerantes. Se determinó muestra positiva para coliformes termo tolerantes y totales en razón a la producción de ácido y gas por fermentación. Finalmente,

para el caso de determinación de *Escherichia coli*, de los tubos positivos para coliformes fecales se traspasó 1 mL a caldo peptonado para su correspondiente incubación a 44,5 °C, y si se evidencia crecimiento, al agregar el reactivo de Kovacs se forma un anillo rojo, y se confirma así la presencia de este grupo microbiano.

Los resultados de la evaluación fisicoquímico y microbiológico fueron tabulados y agrupados según el tipo de variable de estudio para cada una de las muestras obtenidas de los reservorios. Se ha realizado el análisis de tendencia central y de dispersión con la finalidad de establecer las características particulares y generales del estudio de calidad de agua de las comunidades rurales altoandinas de Huancavelica.

Resultados

Resultados del análisis fisicoquímico de agua de las comunidades rurales

En la tabla 2 se presentan los resultados de evaluación fisicoquímico de las comunidades rurales altoandinas de Huancavelica (Antacocha, Huaylacucho, Pampachacra, Pueblo Libre, San Gerónimo y Sachapite).

Tabla 2. Resultado de valores fisicoquímico de agua de las comunidades rurales.

Código y nombre del punto de muestreo	Turbidez NTU	ORP mV	pH	CE $\mu\text{S/cm}$	T $^{\circ}\text{C}$	TDS ppm (mg/L)
R1: Sachapite sector Centro	0,84	333	7,08	240	14,3	200
R2: Sachapite sector Bellavista	0,95	319	6,92	30	13,1	30
R3: Antacocha sector 2 alto	0,7	309	7,13	100	11,9	50
R4: Antacocha sector 2 bajo	1,81	304	7,55	460	13,0	220
R5: Antacocha sector 3	0,23	290	7,7	90	12,7	40
R6: Antacocha sector 1	5,07	302	6,9	30	13,7	20
R7: Huaylacucho (sector Friaspata)	1,59	284	8,19	330	15	170
R8: Huaylacucho (sector Centro)	0,62	295	7,6	330	14	170
R9: Pueblo Libre (Uchupata)	0,8	314	6,98	130	15,9	70
R10: Pampachacra Condorsencca	0,83	558	7,78	110	12,1	100
R11: Pampachacra Imperial	0,4	288	6,93	40	11,1	20
R12: Pampachacra Miraflores	0,47	302	7,57	130	10,4	60
R13: Pampachacra 11 Estrellas	0,37	321	7,01	130	10,4	60
R14: Pampachacra Barrio Centro	0,14	334	6,85	160	11,5	80
R15: Pampachacra Villa Libertad	1,19	289	6,52	290	11,7	150
R16: San Gerónimo Alto, Puquiocucho	1,58	414	8,21	450	12,3	230
R 17: San Gerónimo Bajo, Patacocha	0,94	580	8,25	510	12,9	250
DS N° 031-2010-SA. (Norma Peruana)	5	-	6,5 a 8,5	1500	-	1000
OMS (Norma Internacional)		650				

Según los resultados de la tabla 2, la turbidez en los 17 reservorios se encuentra entre el valor mínimo de 0,14 NTU y un máximo de 5,07 NTU correspondientes a las muestras de “R14: Pampachacra Barrio Centro” y “R6: Antacocha sector 1”, respectivamente, donde la media de la turbidez es 1,09 NTU y una desviación estándar de 1,13. Al respecto, la norma peruana de calidad de agua señalada en el Decreto Supremo N° 031-2010-SA indica que el límite máximo permitido es de 5 NTU; el 94,11% de los reservorios evaluados cumplen la norma antes señalada, mientras que el 5,89% correspondiente a 01 reservorio (R6: Antacocha sector 1) no cumple con el estándar ya que existe una mínima variación de 0,07 NTU de turbidez; excepcionalmente este último dato no es significativo dado que el error de 0,07 NTU se encuentran dentro del factor de error de precisión del medidor de turbidez es de +/- 0,5 NTU. Afirmamos de forma general que el agua de las comunidades rurales altoandinas de Huancavelica cumple la norma peruana.

Con respecto a los resultados del potencial redox (ORP) de las 17 muestras de agua obtenidas de los reservorios, en la tabla 2 se aprecia que los valores fluctúan entre los 284 mV (valor mínimo) y 580 mV (valor máximo) que corresponden a los puntos de muestreo “R7: Huaylacucho (sector Friaspata)” y “R 17: San Gerónimo Bajo, Patacocha”. Los valores del ORP están por debajo del valor óptimo de 650 mV que es el parámetro de inactivación de actividad bacteriana en agua potable según la International standards for drinking-water, 3rd ed (World Health Organization 1971).

En cuanto al potencial de hidrógeno pH, se encontró valores entre 6,52 y 8,25 correspondientes a los puntos de muestreo “R15: Pampachacra Villa Libertad” y “R 17: San Gerónimo Bajo, Patacocha”. En promedio

el pH de los 17 reservorios es de 7,36 con una desviación estándar de 0,54. Por lo tanto, de acuerdo al D.S. N° 031-2010-SA, los valores mínimo y máximo obtenidos se encuentran dentro del rango (6,5 - 8,5) según la norma antes señalada, lo que indica que el agua de las comunidades rurales estudiadas es apta para su consumo en cuanto al pH.

Los resultados de la conductividad eléctrica CE en el valor mínimo son de 30 uS/cm para los puntos de muestreo “R2: Sachapite sector Bellavista” y “R6: Antacocha sector 1”; el valor máximo corresponde a 510 uS/cm en el punto de muestreo “R 17: San Gerónimo Bajo, Patacocha”. En general el promedio la CE de los reservorios evaluados tiene un 209.4 uS/cm con una desviación estándar de 157,74 uS/cm. Esto implica que hay una dispersión de los datos en las comunidades. Los resultados cumplen la normatividad ya que se encuentran por debajo de 1500 uS/cm establecido en el reglamento de calidad de agua para consumo humano según el D.S. 031-2010 del Ministerio de Salud del Perú.

Otro de los parámetros físicos de calidad de agua es la temperatura; se ha encontrado agua con temperatura mínima de 10,4 $^{\circ}\text{C}$ para los puntos de muestreo “R12: Pampachacra Miraflores” y “R13: Pampachacra 11 estrellas”, y temperatura de 15,9 $^{\circ}\text{C}$ correspondiente a R9: “Pueblo Libre (Uchupata)”; la media de temperatura de los 17 reservorios es 12,73 $^{\circ}\text{C}$ con una dispersión de 1.5. Las temperaturas de las comunidades rurales alto andinas se ubican por debajo de 20 $^{\circ}\text{C}$ que es el límite superior recomendado por la OMS para que los microorganismos como la *V. Cholerae*, *Legionella* spp tengan una baja tasa de crecimiento; más allá de estos valores, los microorganismos tienen un ambiente propicio de crecimiento y propagación (WHO 2011).

Con respecto al total de sólidos disueltos TDS analizados en los 17 reservorios se han identificado valores mínimos de 20 mg/L correspondientes a los puntos de muestreo “R6: Antacocha sector 1” y “R11: Pampachacra Imperial” y el valor máximo que es de 250 mg/L, corresponde al punto de muestreo “R 17: San Gerónimo Bajo, Patacocha”, de los cuales el promedio de todos los puntos de muestreo corresponde a 111,18 mg/L con una desviación estándar de 80,3 mg/L. En concordancia con el D.S. 031-2010- SA, los valores del TDS de los 17 reservorios se encuentran dentro del valor establecido para el agua de consumo humano (1000 mg/L). También, si se compara con el de la OMS, estos valores están por debajo del límite fijado que es de 600 mg/L (WHO 2011).

Resultados del análisis microbiológico de agua de las comunidades rurales

Los resultados del análisis microbiológico se muestran en la Tabla 3. Se ha encontrado coliformes totales, coliformes fecales y Ecoli en cuatro reservorios por encima de los límites máximos permisibles (Cero). Por tanto, el agua no es inocua para el consumo humano según el reglamento de la calidad del agua para consumo humano (DS N° 031-2010-S.A.). Los reservorios afectados corresponden a “R2: Sachapite sector Bellavista”, “R5: Antacocha sector 3”; “R15: Pampachacra Villa Libertad”, “R16: San Gerónimo Alto, Puquiocucho”, los mismos que fueron advertidos por los investigadores a través de sus JASS para las acciones correctivas y de control.

Tabla 3. Resultados del análisis microbiológico.

ID. LABORATORIO	ELEMENTOS		
	Coliformes totales (UFC/100mL)	Coliformes fecales (UFC/100mL)	Echericha Coli
R1: Sachapite sector Centro	0	0	Negativo
R2: Sachapite sector Bellavista	9	9	Positivo
R3: Antacocha sector 2 alto	0	0	Negativo
R4: Antacocha sector 2 bajo	0	0	Negativo
R5: Antacocha sector 3	4	4	Positivo
R6: Antacocha sector 1	0	0	Negativo
R7: Huaylacucho (sector Friaspata)	0	0	Negativo
R8: Huaylacucho (sector centro)	0	0	Negativo
R9: Pueblo Libre (Uchupata)	0	0	Negativo
R10: Pampachacra Condorsencca	0	0	Negativo
R11: Pampachacra Imperial	0	0	Negativo
R12: Pampachacra Miraflores	0	0	Negativo
R13: Pampachacra 11 estrellas	0	0	Negativo
R14: Pampachacra Barrio Centro	0	0	Negativo
R15: Pampachacra Villa Libertad	200	15	Positivo
R16: San Gerónimo Alto, Puquiocucho	15	15	Positivo
R 17: San Gerónimo Bajo, Patacocha	0	0	Negativo
DS N° 031-2010-SA. (Norma Peruana)	0	0	

Discusión

En este estudio, sobre las características fisicoquímicas en concordancia con la norma peruana de calidad de agua para consumo humano señalamos que la turbidez de los 17 reservorios cumple el estándar de turbidez NTU estipulado, por lo tanto los límites mínimos y máximos indican que son permisibles para consumo en su condición de agua potable según la tabla 2, con excepción del reservorio Antacocha sector 1 ubicada geodésicamente en 12° 45.384 74° 54.610, cuya turbidez se encuentra en el límite superior del Decreto Supremo N° 031-2010-SA, por lo cual requiere un tratamiento físico simple de mejora de proceso de sedimentación y filtración antes del almacenamiento del líquido del reservorio a fin de reducir la turbidez y, del mismo modo, evitar las actividades antropogénicas cercanas

al reservorio, las mismas que fueron identificadas en el trabajo realizado por Barakat et al. (2018).

Del mismo modo, en este estudio se verifica que las condiciones del potencial redox de las aguas de los 17 reservorios estudiados se encuentran en promedio en 343,29 mV con una desviación estándar de 90,17 mV que representa a un 47,9% por debajo de las condiciones de ORP recomendadas por la OMS (650 mV); por lo tanto, las aguas estudiadas se encuentran en condiciones susceptibles a la propagación bacteriana de Echericha coli, Salmonella entre otras, dado sus niveles reducidos de ORP (Copeland and Lytle 2014; World Health Organization 1971). De otra parte, se han medido el pH cuyos valores se extienden entre 6,52 y 8,25 dentro del estándar de la OMS, y similares a mediciones efectuadas en la región Junín también perteneciente a

los andes centrales del Perú donde los valores medidos corresponden 5,88 y 8,91 de pH (Custodio et al., 2018), cuyas características indican la tendencia de alcalinidad de las aguas de los reservorios que están asociados a las condiciones edáficas del entorno donde se ubican los afluentes.

Asimismo, en lo concerniente a la CE, esta se encuentra entre 30 y 510 uS/cm, valor por debajo de 1500 uS/cm según la normatividad peruana DS N° 031-2010-SA; asimismo, por debajo de 600 uS/cm como estándar de agua potable de la OMS según Barakat et al. (2018).

En cuanto a la temperatura de los reservorios estudiados se han identificado valores de entre 10,4 y 15,9 °C que indican condiciones de calidad del agua de las comunidades rurales altoandinas; los resultados están por debajo de 20 °C que no son propicios para la proliferación y crecimiento de microorganismos como la *V. Cholerae*, *Legionella spp* y otros (WHO, 2011). Por otro lado, la ubicación geográfica de los reservorios (3782- 4196 m.s.n.m.) garantiza que la temperatura del agua no incremente temporal ni estacionalmente debido a que el clima de Huancavelica es lluvioso y frío, con temperaturas que oscilan entre -0,2 °C y 17,8 °C (Senamhi, 2020).

Finalmente, en cuanto a los parámetros fisicoquímicos, la concentración de sólidos disueltos totales TDS, durante el estudio se vio que el valor máximo identificado fue 250 mg/L, en los reservorios estudiados; por lo tanto, señalamos que el agua de estas comunidades son aptas para el consumo humano ya que se encuentran dentro del rango de nivel más alto deseable correspondiente al TDS, según la clasificación de la Organización Mundial de la Salud en la “International Standards for Drinking-water, 3rd ed.” (World Health Organization, 1971, p. 38). Del mismo modo, señalamos que los resultados cumplen ampliamente con la normatividad peruana sobre el TDS (1000 mg/L) para agua de consumo humano establecido en el DS N° 031-2010-SA.

De otra parte, en el estudio microbiológico de la calidad de agua de las comunidades evaluadas, de los reservorios R2: Sachapite sector Bellavista, R5: Antacocha sector 3, R15: Pampachacra Villa Libertad y R16: San Gerónimo Alto, Puquiocucho, se pudo determinar que las muestras descritas no cumplen con los límites máximo permisible (LMP) para coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para consumo humano (DS N° 031-2010-S.A.). Datos que generan la necesidad tomar medidas correctivas para cumplir con la normativa peruana. En tal sentido, se deberá verificar y cumplir periódicamente con la correcta limpieza,

desinfección y cloración de los reservorios a fin de eliminar la presencia de los coliformes y *Escherichia coli* (water for Perú 2011). Igualmente, hay que realizar actividades preventivas de mantenimiento interno y externo de los reservorios según el “Cuaderno de trabajo para las JASS”, dado que la mayoría de los reservorios estudiados se encuentran expuestos a aire libre, pie de carretera, y algunas de las cubiertas de protección no realizan un sellado hermético de las mismas que impida la contaminación.

Conclusiones

En la evaluación fisicoquímica del agua de las seis comunidades rurales alto andinas de Huancavelica elegidas solo el 5.9% (1/17 reservorios) ha superado el límite de turbidez de 5 NTU en concordancia de la norma peruana D.S. N° 031-2010-SA y estándares de la Organización Mundial de la Salud.

El potencial redox de los reservorios evaluados se encuentra en promedio en 343.29 mV con respecto al valor recomendado por la OMS de 650 mV; por ello, las aguas estudiadas son susceptibles a la propagación bacteriana.

Los potenciales de hidrógeno “pH” se encuentran entre el rango de 6.52 y 8.25, valores ubicados dentro del estándar aceptable de la OMS y D.S. N° 031-2010-SA.

La evaluación de la conductividad eléctrica CE se encuentran entre 30 y 510 uS/cm, que se ubican muy por debajo de 1500 uS/cm de la norma peruana.

La temperatura de las aguas estudiadas se encuentra entre 10.4 y 15.9 °C, valores que se ubican por debajo de los 20 °C o superior; por ello el agua es susceptible a la proliferación y crecimiento de microorganismos.

En lo referente a sólidos disueltos totales TDS, el valor máximo identificado fue 250 mg/L, el cual es menor de los 1000 mg/L permitidos por la norma peruana DS N° 031-2010-SA; asimismo, según la clasificación de la OMS se ubica dentro del nivel más alto deseable.

En cuanto a la evaluación de los parámetros microbiológicos, 23.5% (4/17 de los reservorios estudiados) sobrepasaron el valor límite permitido del D.S. N° 031-2010-SA.

En los casos en los cuales los resultados superan los límites es importante evaluar y mejorar el tratamiento del agua durante la sedimentación, filtración, cloración y aislamiento de los reservorios, ya que existe actividad antropogénica en el entorno.

La investigación realizada contribuye con información válida y reciente al conjunto de datos y antecedentes exiguos existentes a la fecha, sobre calidad del agua correspondientes al ámbito rural de las comunidades alto andinas del departamento de Huancavelica.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Huancavelica, por aprobar el proyecto de investigación, con recursos del “Fondo de Desarrollo Socioeconómico del Proyecto de Camisea (FOCAM), con Resolución N° 0723-2020-CU-UNH y Resolución N° 0694-2021-CU-UNH. Asimismo, a los representantes de la Junta de Asociación de Agua para consumo humano de las comunidades de: Sachapite, Antacocha, Pampachacra, Huaylacucho, Pueblo libre, San Gerónimo.

Referencias

- Bain, Robert, Richard Johnston, Francesco Mitis, Christie Chatterley, and Tom Slaymaker. 2018. “Establishing Sustainable Development Goal Baselines for Household Drinking Water, Sanitation and Hygiene Services.” *Water (Switzerland)* 10(12). doi: 10.3390/w10121711.
- Barakat, Ahmed, Redouane Meddah, Mustapha Afdali, and Fatima Touhami. 2018a. “Physicochemical and Microbial Assessment of Spring Water Quality for Drinking Supply in Piedmont of Béni-Mellal Atlas (Morocco).” *Physics and Chemistry of the Earth* 104(January):39–46. doi: 10.1016/j.pce.2018.01.006.
- Barakat, Ahmed, Redouane Meddah, Mustapha Afdali, and Fatima Touhami. 2018b. “Physicochemical and Microbial Assessment of Spring Water Quality for Drinking Supply in Piedmont of Béni-Mellal Atlas (Morocco).” *Physics and Chemistry of the Earth* 104(February 2017):39–46. doi: 10.1016/j.pce.2018.01.006.
- Barboza-palomino, Gloria I., Ayde Kari-ferro, Lourdes Magaly Zamalloa-puma, Antonieta Mojo-quisani, Edgar G. Aron, Ayde M. Solano-reynoso, and Yudith Choque-quispe. 2022. “Proposal of a Water-Quality Index for High Andean Basins:”
- Campos-Sánchez, Miguel, Rita Ricaldi-Sueldo, Marianella Miranda-Cuadros, and Equipo MONIN. 2011. “Diseño Del Monitoreo Nacional de Indicadores Nutricionales (MONIN), Perú 2007-2010.” *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* 28(2). doi: 10.17843/rpmesp.2011.282.486.
- Choque-Quispe, David, Sandro Froehner, Carlos A. Ligarda-Samanez, Betsy S. Ramos-Pacheco, Diego Elio Peralta-Guevara, Henry Palomino-Rincón, Yudith Choque-Quispe, Aydeé M. Solano-Reynoso, Gloria I. Barboza-Palomino, Fredy Taipe-Pardo, and L. Magali Zamalloa-Puma. 2021. “Insights from Water Quality of High Andean Springs for Human Consumption in Peru.” *Water (Switzerland)* 13(19). doi: 10.3390/w13192650.
- Copeland, Ari, and Darren A. Lytle. 2014. “Measuring the Oxidation-Reduction Potential of Important Oxidants in Drinking Water.” *Journal - American Water Works Association* 106(1): E10–20. doi: 10.5942/jawwa.2014.106.0002.
- Custodio, María, Fernán Chanamé, Samuel Pizarro, and Danny Cruz. 2018. “Quality of the Aquatic Environment and Diversity of Benthic Macroinvertebrates of High Andean Wetlands of the Junín Region, Peru.” *Egyptian Journal of Aquatic Research* 44(3):195–202. doi: 10.1016/j.ejar.2018.08.004.
- OMS/UNICEF. 2015. “Informe de Actualización 2015 y Evaluación Del ODM.” *Progresos En Materia de Saneamiento y Agua Potable* 90.
- OMS/UNICEF. 2017. “OMS | Informe 2015 Del PCM Sobre El Acceso a Agua Potable y Saneamiento: Datos Esenciales.” *WHO*.
- OMS/UNICEF. 2021. “Sanitation and Hygiene Peru JMP Estimates:” (July).
- Ortega-Murillo, María R., Reyna Alvarado-Villanueva, Juan Diego Sánchez-Heredia, Marbella Arredondo-Ojeda, and Ivón Martínez-Sánchez. 2011. “Abundancia y Distribución Del Fitoplancton En Un Lago Hiposalino, Michoacán, México.” *Biológicas* 13(2):15–20.
- Quispe-Coica, Alejandro, Sonia Fernández, Luz Acharte Lume, and Agustí Pérez-Foguet. 2020. “Status of Water Quality for Human Consumption in High-Andean Rural Communities: Discrepancies between Techniques for Identifying Trace Metals.” *J — Multidisciplinary Scientific Journal* 3(2):162–80. doi: 10.3390/j3020014.
- Senamhi. (2020). Climas del Perú, mapa de clasificación climática nacional. Lima Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Obtenido de www.gob.pe/senamhi

- Water for Perú. 2011. "Fortalecimiento De Competencias De Las Juntas Administrativas De Agua Y Saneamiento - Jass." *Wfp* 29.
- WHO. 2011. "Guidelines for Drinking-Water Quality." *Guidelines for Drinking-Water Quality - 4th Ed.*
- World Health Organization. 1971. "International Standards for Colour." Pp. 1–70 in *international standards for drinking-water*, Elsevier.
- Yacoub, C., N. Blazquez, A. Pérez-Foguet, and N. Miralles. 2013. "Spatial and Temporal Trace Metal Distribution of a Peruvian Basin: Recognizing Trace Metal Sources and Assessing the Potential Risk." *Environmental Monitoring and Assessment* 185(10):7961–78. doi: 10.1007/s10661-013-3147-x.