

# Physicochemical and microbiological evaluation of a spring destined for human consumption in the Mantaro Valley, Peru

Omar Antesano Chavez<sup>1</sup>; Nataly Zavala Figueroa<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c20179@utp.edu.pe,  
<sup>2</sup>Universidad Privada de Huancayo, Perú, natyzf23@gmail.com

**Abstract**– The research evaluated the physicochemical and microbial quality of water from the Virgen de Cocharcas spring in Matapuquio, Huancayo, Peru, intended for human consumption. Parameters such as fecal coliforms, total coliforms, *Escherichia coli*, conductivity, pH, salinity, and total dissolved solids were assessed at four different sampling locations. The findings indicated a lack of fecal contamination and the absence of *Escherichia coli*, signaling that the water is safe for consumption. Levels of conductivity, pH, and salinity were found to be appropriate for drinking water. Total, dissolved solids remained within established limits. In conclusion, the Virgen de Cocharcas spring in Matapuquio is suitable for human consumption, possessing excellent microbiological and physicochemical properties.

**Keywords**-- Water usage, water microbiology, water purity, water study, water pollution.

# Evaluación fisicoquímica y microbiológica de un manantial destinado al consumo humano en el Valle del Mantaro, Perú.

Omar Antesano Chavez<sup>1</sup>; Nataly Zavala Figueroa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c20179@utp.edu.pe,

<sup>2</sup>Universidad Privada de Huancayo, Perú, naty23@gmail.com

**Resumen**—La investigación evaluó la calidad fisicoquímica y microbiana del agua del manantial de Virgen de Cocharcas de Matapuquio en Huancayo, Perú, destinada al consumo humano. Se evaluaron parámetros tales como coliformes fecales, coliformes totales, *Escherichia coli*, conductividad, pH, salinidad y sólidos totales disueltos en cuatro lugares de muestreo diferentes. Los resultados evidencian la falta de contaminación fecal y la ausencia de *Escherichia coli*, lo que señala que el agua es segura para el consumo. Los grados de conductividad, pH y salinidad resultaron ser apropiados para el agua para consumo humano. Los sólidos totales disueltos permanecieron dentro de las restricciones establecidas. Para finalizar, el manantial de Virgen de Cocharcas de Matapuquio es adecuado para la ingesta humana, poseyendo excelentes propiedades microbiológicas y fisicoquímicas.

**Palabras clave**— Utilización de agua, microbiología del agua, pureza del agua, estudio del agua, contaminación del agua.

## I. INTRODUCCIÓN

En los años recientes, las fuentes de agua han ganado especial relevancia e importancia en el mundo y en especial Latinoamérica [48]. Caracterizar la calidad del agua para consumo humano en los manantiales situados en el distrito de Chupaca, en el centro de Perú, representa un desafío crucial debido a las singulares condiciones geográficas y climáticas de la región que han intensificado el acceso a este recurso tan esencial para la población. El adecuado estudio y conservación, así como el entendimiento de la población, la higiene comunitaria como parte de su cultura y la evaluación permanente inciden en la disponibilidad e intangibilidad del agua, en particular para su uso humano. El manantial de "Virgen de Cocharcas de Matapuquio", ubicado cerca de 297 kilómetros de Lima, en la localidad de Chupaca, se distingue por su uso tradicional y por ser visto como medicinal por algunos habitantes. Esto supone un reto significativo para la administración sostenible del agua, que en la actualidad es gestionada por la comunidad de Matapuquio, Ahuac.

El manantial actúa como recurso para el consumo humano, animal y agrícola, tal como señalan diversos autores acerca del uso de fuentes de agua próximas a comunidades en desarrollo [1]–[4]. Las reservas de agua de esta zona son esenciales para las comunidades locales, como la comunidad rural de Ñahuinpuquio y Matapuquio

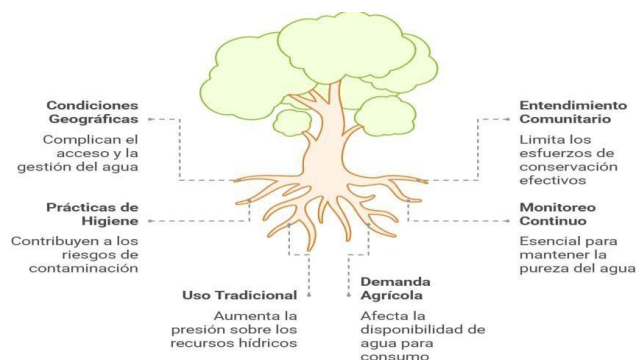


Fig. 1 Desafíos de la evaluación de calidad de agua en el manantial Virgen de Cocharcas de Matapuquio

Así pues, la valoración y conservación de su calidad son fundamentales para la salud pública y la sostenibilidad del medio ambiente, necesitando un seguimiento continuo de la fuente [4]–[6]. Se evaluó la calidad del agua del manantial de Virgen de Cocharcas de Matapuquio mediante varios parámetros físicos, químicos y biológicos, entre ellos la turbidez, el pH y la existencia de contaminantes como nitratos y metales pesados, comparables a las contribuciones relevantes de [6]–[9].

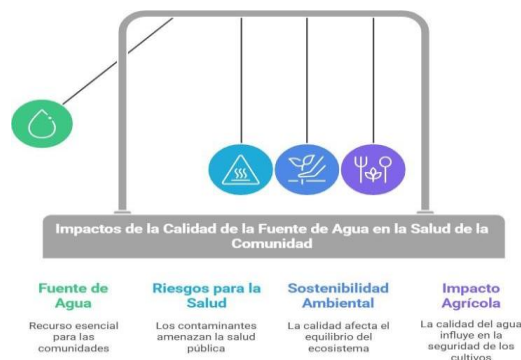


Fig. 2 Impactos de la calidad de la fuente de agua en la salud de la comunidad de Matapuquio

Es imprescindible llevar a cabo un monitoreo y evaluación regulares para tratar los potenciales peligros sanitarios que representan los contaminantes, los cuales pueden originarse de escorrentías agrícolas, empleo de sustancias químicas, residuos animales e infraestructuras

antiguas que han sido colonizadas por plantas, musgos, algas, entre otros [2], [10], [11]. En el caso particular del manantial: Virgen de Cocharcas de Matapuquio, se han hecho cambios en su trayecto, incluyendo áreas de empozamiento, caídas y accesos para el público en general. Esto, a pesar de ser necesario para el desarrollo de la zona, podría poner en riesgo su integridad.

Las principales controversias sobre la calidad del agua en el distrito de Chupaca generalmente están vinculadas con el efecto de las prácticas turísticas, especialmente la utilización de jabones, champús, detergentes, entre otros, que los turistas del manantial suelen hacer uso. Estas actividades pueden causar contaminación debido a la escasez o sobreabundancia de nutrientes y favorecer la emergencia de algas perjudiciales y especies invasoras [3], [12], [13], [48]. Además, provocarían un cambio microbiológico a través de la variación del pH a causa del empleo de estos materiales, modificando el ecosistema microbiológico del manantial [9], [14]–[16].



Fig. 3 Contaminación del agua en el distrito de Chupaca, Perú

Es fundamental la utilización consciente de esta fuente para asegurar el acceso al agua potable, no solo para evitar enfermedades en la comunidad de Matapuquio, sino también para mejorar las condiciones socioeconómicas globales de la comunidad de Ahuac. Los problemas relacionados con la calidad del agua pueden intensificar las disparidades en el ámbito de la salud y agotar los recursos de salud de las comunidades cercanas.

Se propuso como problema principal: ¿Qué características microbiológicas y fisicoquímicas tiene el agua destinada para el consumo humano en el manantial de Virgen de Cocharcas de Matapuquio situado en Huancayo, Perú? La meta/objetivo consistió en valorar la calidad microbiana y fisicoquímica del agua destinada para el consumo humano en el manantial de Virgen de Cocharcas de Matapuquio, considerando la existencia de coliformes fecales, coliformes totales, conductividad, existencia de *Escherichia coli*, pH, salinidad y sólidos totales disueltos.

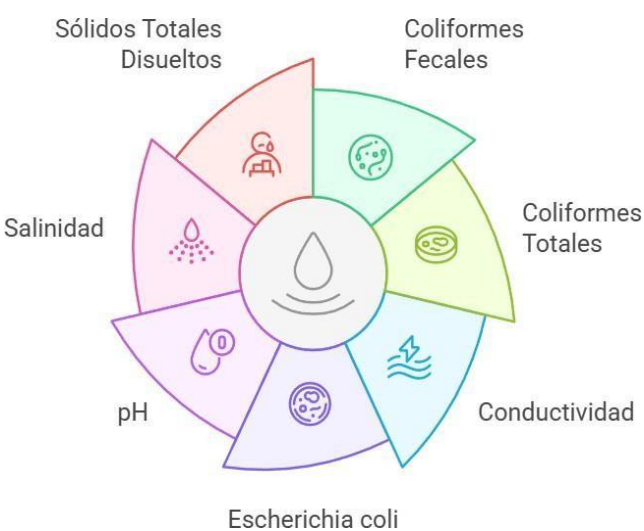


Fig. 4 Parámetros para la evaluación de la calidad del agua para consumo humano del manantial de Virgen de Cocharcas de Matapuquio, Perú

También se tomaron en cuenta estos parámetros de investigaciones similares, resaltando su relevancia para la salud de una fuente de agua [1]–[3], [5], [7], [11], [17].

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la provincia de Chupaca, concretamente en el distrito de Ahuac, en la ruta que conecta su plaza del distrito con la laguna de Ñahuinpuquio, con una duración media de 10-15 minutos por vía terrestre por vehículo. En este camino se ubica el Manantial de Virgen de Cocharcas de Matapuquio, el cual fue el foco de estudio.

TABLA I  
PUNTOS DE MUESTREO Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA

| Puntos de muestreo | Ubicación             |
|--------------------|-----------------------|
| Punto (01)         | 12°05'05"S 75°19'38"W |
| Punto (02)         | 12°05'05"S 75°19'37"W |
| Punto (03)         | 12°05'04"S 75°19'37"W |
| Punto (04)         | 12°05'03"S 75°19'37"W |

Las muestras se recogieron y examinaron en un estado de conservación adecuado. Los estudios se realizaron en noviembre – diciembre del 2024, utilizando los siguientes criterios: Fecales y Coliformes Totales, se tomaron muestras que luego fueron analizadas en laboratorio donde se aplicó el método de filtro de membrana para detectar y medir estos microorganismos a través de un medio de cultivo particular. En relación con *Escherichia coli*, así también se llevó a cabo una filtración de membrana utilizando medio EC-MUG, para facilitar la identificación de *E. coli* mediante fluorescencia bajo la luz UV.

TABLA II  
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS UTILIZADOS

| Parámetro Analizado     | Coliformes Fecales (Termotolerantes)                               | Coliformes Totales                                                 | <i>Escherichia coli</i>                                                       |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Método/Técnica          | Filtro de membrana, SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 9222 D, 24ª Ed. 2023 | Filtro de membrana, SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 9222 B, 24ª Ed. 2023 | Filtro de membrana con EC-MUG, SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 9222 H, 24ª Ed. 2023 |
| Instrumento de Medición | Filtrador de membrana y medios de cultivo selectivos               | Filtrador de membrana y medio Endo                                 | Filtrador de membrana y medios de cultivo selectivos (EC-MUG)                 |

Específicamente para la conductividad y la salinidad: Se realizó una medición utilizando un conductímetro, vinculando la conductividad con el número de sales disueltas. Respecto al pH: Se realizó una medición electrométrica, utilizando un potenciómetro para establecer si la muestra es ácida o alcalina. Para Sólidos Totales Disueltos, por último: La muestra filtrada fue secada a 180°C en un horno para determinar la diferencia de peso entre los sólidos disueltos.

TABLA III  
PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS UTILIZADOS

| Parámetro Analizado     | Conductividad                                                                            | pH                                                                       | Sólidos Totales Disueltos                                      |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Método/Técnica          | Método de laboratorio para conductividad, SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 2510 B, 24ª Ed. 2023 | Método electrométrico, SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 4500-H+ B, 24ª Ed. 2023 | Secado a 180°C, SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 2540 C, 24ª Ed. 2023 |
| Instrumento de Medición | Conductímetro                                                                            | Potenciómetro (pH-metro)                                                 | Horno de secado y balanza analítica                            |

Se empleó Google Earth para la ubicación de los puntos de muestreo, Excel 2013 para documentar los resultados, mientras que para la obtención de tablas se empleó el software estadístico Jamovi Desktop - 2.3.28 solid.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los descubrimientos más relevantes de esta investigación se centran en la forma de recolección, ya que cuatro muestras recolectadas en el Manantial de Virgen de Cocharcas de Matapuquio, son de acceso libre, pero que ha experimentado varias modificaciones por parte de la población para su uso y consumo como lo evidencian otras investigaciones estos cambios pueden influir en variaciones de los microecosistemas en su recorrido [13], [18], [19]. Estos incluyen causas, construcción de estructuras, empozamiento y otros que han modificado la escorrentía natural para su uso

humano. Aunque es algo habitual en sitios donde habitan personas [20]–[22], es imprescindible proteger este manantial en particular que no solo es empleado por los residentes, sino también por visitantes con propósitos de esparcimiento y medicina.



Fig. 5 Factores que afectan el manantial de Virgen de Cocharcas de Matapuquio, Perú

TABLA IV  
RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

| Ensayo    | Coliformes Fecales (Termotolerantes) | Coliformes Totales | <i>Escherichia Coli</i> |
|-----------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|
| Unidad    | UFC/100mL                            | UFC/100mL          | UFC/100mL               |
| L.C.M.    | 1,0                                  | 1,0                | 1,0                     |
| Punto (1) | <1,0                                 | <1,0               | <1,0                    |
| Punto (2) | <1,0                                 | <1,0               | <1,0                    |
| Punto (3) | <1,0                                 | <1,0               | <1,0                    |
| Punto (4) | <1,0                                 | <1,0               | <1,0                    |

En los cuatro lugares de muestreo, los índices de coliformes fecales y totales se encuentran por debajo del límite de cuantificación del método (<1,0 UFC/100mL) [23]–[27], lo que señala la falta de estos contaminantes y es positivo para el consumo humano. Con relación a los coliformes totales, no se percibe contaminación en las heces. En cambio, en ninguna muestra estudiada se observó la presencia de *Escherichia Coli* (<1,0 UFC/100mL), lo que sugiere al momento de la medición que la seguridad del agua es adecuada para su consumo [18], [28], [29].

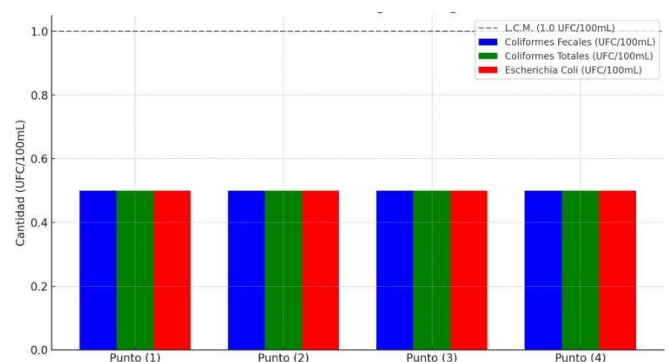


Fig. 6 Resultado del análisis en los puntos de medición respecto a coliformes fecales, coliformes totales y *Escherichia coli*

TABLA V  
RESULTADOS FÍSICOQUÍMICOS

|           | Conductividad    | pH           | Salinidad | Sólidos Totales Disueltos |
|-----------|------------------|--------------|-----------|---------------------------|
| Unidad    | $\mu\text{S/cm}$ | Unidad de pH | ppt       | mg/L                      |
| L.C.M.    | 0,01             | 0,01         | 0,01      | 500                       |
| Punto (1) | 348,00           | 7,95         | 0,16      | 235                       |
| Punto (2) | 347,00           | 7,89         | 0,17      | 235                       |
| Punto (3) | 348,00           | 8,10         | 0,16      | 236                       |
| Punto (4) | 347,00           | 8,00         | 0,17      | 235                       |

Respecto a la conductividad eléctrica, los hallazgos fluctuaron entre 347 y 348  $\mu\text{S/cm}$  en los ensayos. Este indicador contribuye a describir el contenido de sales en el agua, señalando niveles bajos de sales disueltas, lo que se considera apropiado para el agua para consumo [3], [11], [30], [31].

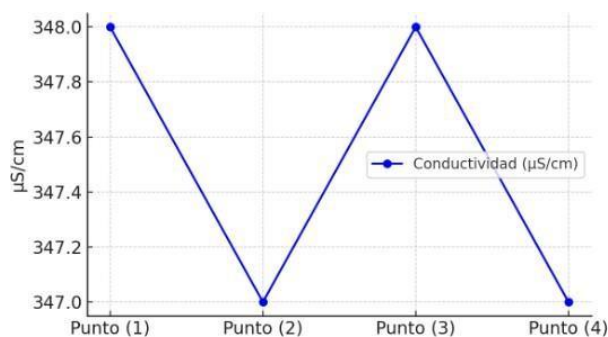


Fig. 7 Resultado del análisis de conductividad eléctrica en los puntos de medición

De la misma manera, los valores de pH oscilan entre 7,95 y 8,10, en el rango de neutral a levemente básico, lo que resulta apropiado para el consumo humano y está dentro del rango sugerido para el agua. Esto también se considera un indicador crucial, ya que permite o limita el ingreso de plantas y microorganismos colonizadores en el manantial.

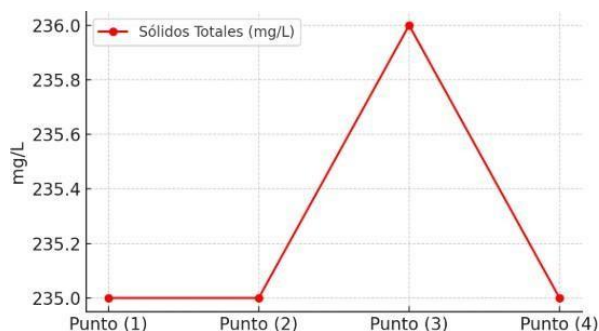


Fig. 8 Resultado del análisis de sólidos totales en los puntos de medición

La salinidad resultó entre 0,16 a 0,17 ppt en todas las muestras, lo que señala una escasez de sales disueltas, lo que resulta beneficioso para el uso y consumo humano.

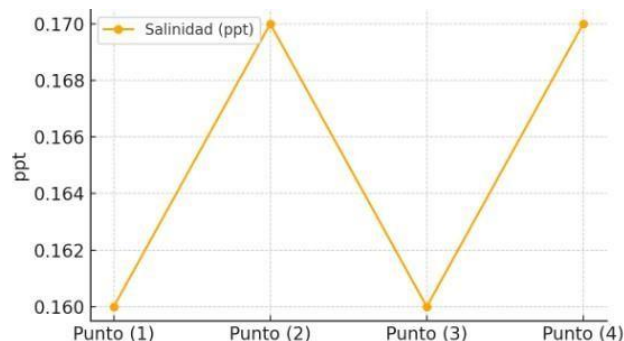


Fig. 9 Resultado del análisis de salinidad en los puntos de medición

Finalmente, los resultados de TDS en las 4 muestras se mantuvieron estables entre 235 a 236 mg/L en todas, lo que se encuentra dentro de los límites habituales recomendados para agua potable, lo que sugiere que no existe una carga considerable de sólidos disueltos [5], [7], [32].

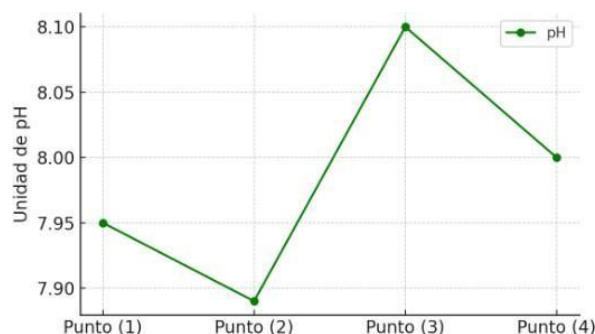


Fig. 10 Resultado del análisis de potencial de hidrógeno en los puntos de medición

En el departamento de Junín, particularmente en Huancayo y sus zonas circundantes, a ciertos manantiales se les atribuyen propiedades medicinales y terapéuticas, a pesar de que no se verifiquen totalmente. Estos recursos se emplean de manera empírica para tratar enfermedades como el "mal de susto" o trastornos del sistema nervioso. Esta creencia, unida a elementos religiosos y de turismo, capta la atención de visitantes y residentes locales, quienes se bañan e ingieren el agua. A pesar de que investigaciones a nivel mundial señalan que esta característica es frecuente [12], [33]–[37], no existen estudios que corroboren estos beneficios. Así pues, es necesario un estudio detallado para garantizar un uso seguro y sostenible de estas fuentes de agua [2], [9], [11], [29].

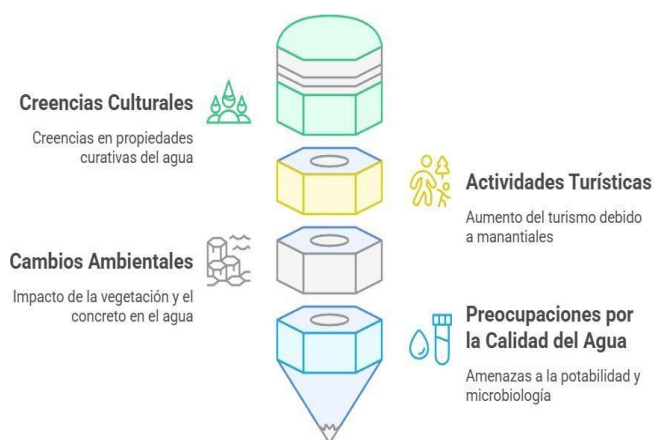


Fig. 11 Desafíos para la gestión hídrica del manantial de Virgen de Cocharcas de Matapuquio, Perú

Los hallazgos posibilitan definir parámetros para evaluar de manera continua este Manantial, dado que en esta región se observa un aumento en la cantidad de viviendas, así como en el flujo de turistas que buscan visitar la laguna de Ñahuinpuquio y ruinas cercanas como Arwaturu, y/o llevan a cabo tours constantes, lo que se ha convertido en un paso obligatorio para estos recorridos.

En esta zona, para el servicio turístico, se ha realizado una modificación para realización de ritos religiosos y sociales, que han incrementado el uso del manantial. En relación con esto, es importante destacar que, con el transcurso del tiempo, los accesos y caminos han sido invadidos por concreto, piedras, plantas, algas y musgos. Estos agentes biológicos tienen la capacidad de modificar la microbiología del agua.

Además de la ausencia de descolmatación, cambios sin consideración ambiental e incrementar su trayecto amenazan su potabilidad e integridad [1], [32], [48]. Además, la persistencia de ciertas bacterias que pueden ser traídas de manera invertida por turistas y animales podría impactar la ecología endémica del manantial y potencialmente poner en riesgo su consumo.



Fig. 12 Problemática del posible deterioro de la calidad de agua en el manantial de Virgen de Cocharcas de Matapuquio, Perú

Otro factor para tener en cuenta es el aumento en el uso de productos químicos como jabones, champús y otros productos de limpieza que los habitantes y visitantes emplean para su higiene personal (duchas improvisadas en las fuentes), lavado de vehículos, ropa, entre otros. Afectarían considerablemente la calidad fisicoquímica [34], [39]–[42], aunque es verdad que no se mantienen en este lugar específico debido a la inclinación del agua, pero afectan todo su trayecto, incluso los restos de estos compuestos químicos pueden encontrarse en estas áreas de empozamiento [7], [10], [14], [48].

Por otro lado, este incremento en la población y consecuentemente en el número de visitas han generado una demanda de agua para el aseo personal, uso doméstico, animal y agrícola, entre otros, que pueden provocar alteraciones físicas y químicas, pudiendo influir en el pH, que al aumentar podría aumentar la presencia de ciertas algas y bacterias dañinas [10], [41], [1], [48], [43]–[45]. Por ende, investigaciones futuras en la región deben tratar de monitorear constantemente y/o por periodos según las estaciones del año las fuentes de agua, también se debería incrementar el análisis a presencia de metales pesados.

#### IV. CONCLUSIONES

En cuanto a los coliformes totales, no señalan contaminación en las heces. Por otro lado, no se registró ninguna presencia de *Escherichia Coli* (<1,0 UFC/100mL), lo que sugiere que, en el momento de la medición, la seguridad del agua es adecuada para el consumo humano.

En los lugares seleccionados para el muestreo en el manantial de Virgen de Cocharcas de Matapuquio, los niveles de coliformes fecales y totales se encuentran por debajo del límite de cuantificación del método (<1,0 UFC/100mL), lo que sugiere la falta de estos contaminantes y es apto para el consumo humano.

Respecto a la conductividad eléctrica, los hallazgos fluctuaron entre 347 y 348  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en las muestras. Esto sugiere una escasa presencia de sales disueltas, siendo considerado apropiado para el agua potable. Además, los valores de pH oscilaron entre 7,95 y 8,10, dentro del rango de neutral a levemente básico, apto para el consumo humano.

La salinidad resultó ser entre 0,16 a 0,17 ppt en todas las muestras, lo que señala una escasez de sales disueltas, siendo apta para el consumo humano.

Las muestras mostraron un resultado de TDS estable entre 235 a 236 mg/L, lo que se encuentra dentro de los parámetros para ser considerada agua potable.

Finalmente se estableció que las características del manantial de Virgen de Cocharcas de Matapuquio es adecuado para el consumo humano, sin embargo, se advierte que las modificaciones realizadas y las venideras tanto como estructuras de concreto y piedra, desvíos para zonas de empozamiento o reservorios, creación espacios de recreación al público, implementación de espacios de lavado de autos, creación de escalinatas, caías de agua y balcones para ritos religiosos y también la ampliación en inmediaciones para aparcamiento de vehículos para el uso de turistas y pobladores podrían afectar en gran medida la integridad del

manantial de Virgen de Cocharcas de Matapuquio, se recomienda una asesoría ambiental a la comunidad y un plan para el mantenimiento con monitoreos constantes para mantener su calidad e integridad como fuente de agua para consumo humano.

#### AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento especial a la Universidad Tecnológica del Perú - campus Huancayo por su respaldo en la administración y financiación de este proyecto.

De igual forma, agradecemos a los residentes de la comunidad de Matapuquio por su respaldo y la posibilidad de llevar a cabo este estudio.

#### REFERENCIAS

- [1] R. E. Miguel and J. V. González Ribot, "Sustentabilidad de la explotación de agua subterránea en la Cuenca Guanchín-Sañogasta, Chilecito, La Rioja," *Rev. Estud. Ambient. - Environ. Stud. J.*, vol. 10, no. 2, 2022, doi: 10.47069/estudios-ambientales.v10i2.1612.
- [2] L. Bouchaou, A. Mangin, and P. Chauve, "Turbidity mechanism of water from a karstic spring: example of the Ain Asserdoune spring (Beni Mellal Atlas, Morocco)," *J. Hydrol.*, vol. 265, no. 1–4, pp. 34–42, Aug. 2002, doi: 10.1016/S0022-1694(02)00098-7.
- [3] R. Pedron *et al.*, "Microbiome characterization of alpine water springs for human consumption reveals site- and usage-specific microbial signatures," *Front. Microbiol.*, vol. 13, p. 946460, Oct. 2022, doi: 10.3389/FMICB.2022.946460/BIBTEX.
- [4] W. Gonzales Saenz *et al.*, "Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo humano en seis comunidades rurales altoandinas de Huancavelica-Perú," *Rev. Investig. Altoandinas*, vol. 25, no. 1, pp. 23–31, Jan. 2023, doi: 10.18271/RIA.2023.486.
- [5] O. S. Antesano Chávez, M. E. Rosas Poma, and N. J. Zavala Figueroa, "Impacto del turismo en la calidad del agua de una laguna del Valle del Mantaro," *Rev. la Univ. del Zulia*, vol. 14, no. 39, 2023, doi: 10.46925/rdluz.39.10.
- [6] D. Choque-Quispe *et al.*, "Insights from Water Quality of High Andean Springs for Human Consumption in Peru," *Water 2021, Vol. 13, Page 2650*, vol. 13, no. 19, p. 2650, Sep. 2021, doi: 10.3390/W13192650.
- [7] M. Salari *et al.*, "Quality assessment and artificial neural networks modeling for characterization of chemical and physical parameters of potable water," *Food Chem. Toxicol.*, vol. 118, pp. 212–219, Aug. 2018, doi: 10.1016/J.FCT.2018.04.036.
- [8] S. Menchaca Dávila, A. Calva-Maldonado, G. Jiménez-Windsor, and S. F. Juárez-Cerrillo, "Disponibilidad hídrica del manantial 'Ojo de Agua' ubicado en la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz, México," *UVserva*, no. 14, 2022, doi: 10.25009/uvs.vi14.2890.
- [9] G. K. Chalco Jimenez, "Determinación de la calidad del agua para consumo humano del manantial Marampampa distrito de Ocobamba, Cusco 2023," *Univ. Priv. San Carlos*, May 2023, Accessed: Jul. 11, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/532>
- [10] M. B. Addisie, "Evaluating Drinking Water Quality Using Water Quality Parameters and Esthetic Attributes," *Air, Soil Water Res.*, vol. 15, Feb. 2022, doi: 10.1177/11786221221075005/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177\_11786221221075005-FIG2.JPEG.
- [11] M. Lewoyehu, "Evaluation of Drinking Water Quality in Rural Area of Amhara Region, Ethiopia: The Case of Mecha District," *J. Chem.*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/9911838.
- [12] P. R. Sharma *et al.*, "Unveiling the Elemental Composition and Categorization of Sikkim Hot-Spring Water with Laser-Induced Breakdown Spectroscopy and Advanced Analytical Techniques," *Energy Environ. Focus*, vol. 7, no. 2, 2024, doi: 10.1166/eeef.2023.1282.
- [13] A. Muzirafuti, "Remotely Sensed and Field Data for Geomorphological Analysis of Water Springs: A Case Study of Ain Maarouf," *Geosci.*, vol. 14, no. 2, 2024, doi: 10.3390/geosciences14020051.
- [14] F. Arroyo-Díaz *et al.*, "PTE and multi-isotope assessment of spring water used for human consumption in the historical mining region of Taxco de Alarcón in southern Mexico," *J. South Am. Earth Sci.*, vol. 116, p. 103811, Jun. 2022, doi: 10.1016/J.JSAMES.2022.103811.
- [15] B. Alcca Chahuare, "Calidad del agua para consumo humano de los manantiales Quipata- Totopujo, Plaza, Estadio y Jjaquejhuata distrito de Platería – Puno - 2022," *Univ. Priv. San Carlos*, Apr. 2023, Accessed: Jul. 11, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/499>
- [16] C. S. Villagómez Villacrés, "Evaluación de la calidad microbiológica del agua de consumo humano de la comunidad el Quinche," Mar. 2023, Accessed: Apr. 08, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/37810>
- [17] C. E. Humphrey, P. M. Gardner, L. E. Spangler, N. C. Nelson, L. Toran, and D. K. Solomon, "Quantifying stream-loss recovery in a spring using dual-tracer injections in the Snake Creek drainage, Great Basin National Park, Nevada, USA," *Hydrogeol. J.*, 2023, doi: 10.1007/s10040-023-02619-4.
- [18] L. A. Méndez, "Calidad y estado sanitario del agua distribuida para consumo humano en Guatatoya, El Progreso," *Rev. Científica Int.*, vol. 6, no. 1, pp. 23–34, Mar. 2023, doi: 10.46734/REVCIENTIFICA.V6I1.60.
- [19] Y. Ke, X. Song, L. Yang, and S. Yang, "River–Spring Connectivity and Hydrogeochemical Processes in a Karst Water System of Northern China: A Case Study of Jinan Spring Catchment," *Water (Switzerland)*, vol. 16, no. 6, 2024, doi: 10.3390/w16060829.
- [20] A. Y. S. Pribawanto, N. H. Pandjaitan, and S. Sutoyo, "Spring Water Catchment Building and Water Distribution System for Domestic Needs," *J. Tek. Pertan. Lampung (Journal Agric. Eng.)*, vol. 13, no. 1, 2024, doi: 10.23960/jtep-l.v13i1.1-11.
- [21] F. U. Nisa and R. Umar, "Spring water system classifications and their methods of study: An overview of the current status and future perspectives," *Journal of Earth System Science*, vol. 133, no. 1. 2024, doi: 10.1007/s12040-023-02218-7.
- [22] K. Wei, Y. Jiao, G. Zhang, Y. Wang, and H. Zhang, "Influence of Spring Water Residence Time on the Irrigation Water Stability in the Hani Rice Terraces," *Water (Switzerland)*, vol. 16, no. 6, 2024, doi: 10.3390/w16060804.
- [23] M. Pant, S. Singh, and J. Singh, "Seasonal behavior and spatial variations of water quality index and micro-biological changes in the springs of Indian Himalayan Region," *Environ. Dev. Sustain.*, 2024, doi: 10.1007/s10668-024-04624-3.
- [24] M. R. Upreti, S. P. Kayastha, and C. Bhuiyan, "Water quality, criticality, and sustainability of mountain springs—a case study from the Nepal Himalaya," *Environ. Monit. Assess.*, vol. 196, no. 1, 2024, doi: 10.1007/s10661-023-12186-6.
- [25] R. Kowalik, M. Widlak, M. Metryka-Telka, R. Stoińska, and G. Czerwinka, "Application of multi-species microbial bioassay for toxicity risk assessment LumiMARA luminometric tests and chemical analyses to assess water quality in the świętokrzyskie voivodeship," *Desalin. Water Treat.*, vol. 317, 2024, doi: 10.1016/j.dwt.2024.100003.
- [26] A. K. Taloor, S. Sharma, R. A. Pir, and K. Kumar, "Appraisal of health risks associated with exposure of fluoride and nitrate contaminated springs in the Doda Kishtwar Ramban (DKR) region of Jammu and Kashmir, India," *J. Geochemical Explor.*, vol. 257, 2024, doi: 10.1016/j.gexplo.2023.107380.
- [27] A. T. Yanuar, Z. Pramudia, Y. A. Dwi Susanti, and A. Kurniawan, "Analysis of microplastics in spring water," *Emerg. Contam.*, vol. 10, no. 1, 2024, doi: 10.1016/j.emcon.2023.100277.
- [28] F. De Arquitectura, E. Bautista, and I. Lucero, "La bioconstrucción en la revitalización del ecoturismo en el Santuario Arqueológico de Wari Willka del Distrito de Huancán - Huancayo," *Univ. Nac. del Cent. del Perú*, 2019, Accessed: Jul. 12, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6108>
- [29] F. Daniel *et al.*, "Bacterial biodiversity in medicinal mineral spa waters of Ecuador and Venezuela," *FIGEMPA Investig. y Desarrollo. ISSN-e 2602-*

- 8484, Vol. 15, No. 1, 2023 (Ejemplar Dedic. a Cienc. Abierta), págs. 56–78, vol. 15, no. 1, pp. 56–78, 2023, doi: 10.29166/revfig.v15i1.4368.
- [30] M. Hanif, Parji, E. S. Maruti, and R. S. Wahyuni, “Cultural resilience study: the role of the temanten mandi ritual in Sendang Modo on the survival of the surrounding community,” *Cogent Arts Humanit.*, vol. 11, no. 1, 2024, doi: 10.1080/23311983.2024.2304401.
- [31] M. Jalali, M. Shademani, M. Paripour, and M. Jalali, “Assessment of water quality for mountainous high-elevated spring waters using self-organized maps,” *Groundw. Sustain. Dev.*, vol. 24, 2024, doi: 10.1016/j.gsd.2024.101082.
- [32] L. Nunes Martins de Lima, M. Aparecida Ribeiro Santana, and L. Naiara Gonçalves dos Reis, “Impactos socioambientais da ocupação urbana em área de proteção permanente no Parque Alvorada, Itapuranga (go) – brasIL,” *Papeles Geogr.*, no. 68, 2023, doi: 10.6018/geografia.522651.
- [33] P. He *et al.*, “Geological and hydrochemical controls on water chemistry and stable isotopes of hot springs in the Three Parallel Rivers Region, southeast Tibetan Plateau: The genesis of geothermal waters,” *Sci. Total Environ.*, vol. 906, 2024, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.167648.
- [34] P. Hartanto *et al.*, “Multivariate Data Analysis to Assess Groundwater Hydrochemical Characterization in Rawadanau Basin, Banten Indonesia,” *Rud. Geol. Naft. Zb.*, vol. 39, no. 1, 2024, doi: 10.17794/rgn.2024.1.12.
- [35] Ş. Turhan, A. Kurnaz, and E. Aydın, “Assessment of internal radiation exposure caused by radon in commercially bottled spring waters consumed in Turkey,” *Int. J. Environ. Health Res.*, vol. 34, no. 2, 2024, doi: 10.1080/09603123.2023.2211948.
- [36] B. J. Hibbs, C. J. Eastoe, and M. Merino, “Issues of Bias in Groundwater Quality Data Sets in an Irrigated Floodplain Aquifer of Variable Salinity,” *Geosci.*, vol. 14, no. 3, 2024, doi: 10.3390/geosciences14030066.
- [37] L. Quiñones Huatangari and J. A. Delgado Soto, “Características Físicoquímicas y Microbiológicas del Agua Superficial del Bosque de Chinchiquilla, Nueva Libertad, Chirinos, Cajamarca,” *Rev. Científica Pakamuros*, vol. 4, no. 1, 2024, doi: 10.37787/50jh9q32.
- [38] B. Jesús Clover Torres Díaz and G. Alejandro Chávez Santa Cruz, “Calidad bacteriológica del agua de consumo humano de la comunidad de Cuchacmalca, distrito de Cochabamba - 2020.,” Apr. 2023, Accessed: Jul. 11, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/387>
- [39] V. H. T. Pham, V. H. Ho, D. D. Tran, T. D. Pham, D. N. Huynh, and N. X. Q. Chau, “Impact of water resources variation on winter–spring rice yield in the upper Vietnamese Mekong Delta: A case study of An Giang Province,” *Irrig. Drain.*, vol. 73, no. 2, 2024, doi: 10.1002/ird.2907.
- [40] S. Moscovitz, H. Glassner, R. M. Wokam NJOMGANG, E. D. Aflalo, O. Ovadia, and A. Sagi, “Community composition of invasive, outbreak, and non-pest snail species along a source spring-to-fishpond gradient in a spatially structured aquacultural region,” *J. Environ. Manage.*, vol. 351, 2024, doi: 10.1016/j.jenvman.2023.119653.
- [41] E. Manoutsoglou and E. S. Bei, “Incipient Salinization: A Case Study of the Spring of Asclepieion in Lentas (Ancient Lebena), Crete,” *Geosci.*, vol. 14, no. 3, 2024, doi: 10.3390/geosciences14030056.
- [42] S. A. Tashpulatova, O. M. Mamarakhimov, D. O. Azimova, Z. A. Abdurashidov, and N. A. Parmanova, “Determination and assessment of healing properties based on chemical analysis of spring waters in Jizzakh (Uzbekistan),” in *E3S Web of Conferences*, 2024, vol. 480. doi: 10.1051/e3sconf/202448002013.
- [43] S. Inan, H. Çetin, and N. Yakupoğlu, “Spring water anomalies before two consecutive earthquakes (Mw 7.7 and Mw 7.6) in Kahramanmaraş (Türkiye) on 6 February 2023,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol. 24, no. 2, 2024, doi: 10.5194/nhess-24-397-2024.
- [44] O. Bozkaya and Y. Aluç, “Physico-chemical characterization of food grade natural spring salt from the Central Anatolia region of Turkey and investigation of its microplastic content,” *J. Food Sci. Technol.*, vol. 61, no. 9, 2024, doi: 10.1007/s13197-024-05942-0.
- [45] L. Sailo, M. Das, and H. Vanlalhraua, “Geochemical Evolution of Spring Water Sources in West Phaileng, Mizoram,” in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2024, vol. 1061 LNEE. doi: 10.1007/978-981-99-4362-3\_9.
- [46] C. Li *et al.*, “Intense Human Activities Induce the Dynamic Changes of Interaction Pattern Between Karst Water-Quaternary Groundwater in the Basin-Mountain Coupling Belt Over the Past 60 Years,” *Water Resour. Res.*, vol. 60, no. 2, 2024, doi: 10.1029/2023WR035211.
- [47] N. Maharjan, S. P. Kayastha, and C. Bhuiyan, “Hydro-geochemical and microbial analysis of springs in Raghuganga rural municipality of Gandaki Province, Nepal,” *Environ. Earth Sci.*, vol. 83, no. 1, 2024, doi: 10.1007/s12665-023-11321-3.
- [48] O. S. Antesano Chávez, M. E. Rosas Poma, and N. J. Zavala Figueroa, “Evaluación microbiológica y fisicoquímica de un manantial para el consumo humano en Huancayo, Perú,” *Rev. Univ. Zulia*, 3ª época, vol. 16, no. 45, pp. 23–42, Jan.–Apr. 2025. doi: [10.5281/zenodo.14599952](https://doi.org/10.5281/zenodo.14599952).