



Hidrogeoquímica de las aguas minero medicinales de la provincia de Melgar, Puno-Perú

Hydrogeochemistry of medicinal mineral waters from the province of Melgar, Puno-Peru

Hidrogeoquímica de águas minerais medicinais da província de Melgar, Puno-Peru

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i19.208>

Heber Nehemias Chui Betancur
hchui@unap.edu.pe

Katia Pérez Argollo
kperez@unap.edu.pe

Edgar Octavio Roque Huanca
eroque@unap.edu.pe

Edgar Darío Callohuanca Ávalos
ecallohuanca@unap.edu.pe

Lily Maribel Trigos Sánchez
lilytrigos@unap.edu.pe

Javier Elias Mamani Gamarra
javierem@unap.edu.pe

Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú

Artículo recibido el 10 de noviembre 2022 / Arbitrado el 19 de diciembre 2022 / Publicado el 19 de abril 2023

RESUMEN

Las aguas minero-medicinales de la provincia de Melgar de la región de Puno en Perú, se encuentran ubicadas a gran altitud, con utilidad medicinal y/o de recreación, por lo que es necesario conocer sus características, en tal sentido el estudio tuvo el propósito de identificar las características hidrogeoquímicas de las aguas minero medicinales de la provincia de Melgar, Puno en Perú. Para el estudio se ha recolectado información de los parámetros físicos y químicos de los pozos minero medicinales de la provincia de Melgar, Puno. Se aplicó la técnica de los diagramas de Piper con la finalidad de caracterizar los tipos de agua minero medicinales. Los resultados indicaron que, el catión predominante en las pozas de Pasanoccollo; Santa Rosa; Huamanruro; Andaymarca y Pojcpoquella, fue el ión Na⁺, con 84,33%; 56,35%; 50,60%; 64,16% y 73,97% de presencia, respectivamente, mientras que, en la poza de Macarí el catión que más predominó es el Ca²⁺ con 42,54%. Con respecto a los aniones el SO₄²⁻ y el Cl⁻ son los aniones que predominaron. El Cl⁻ fue el anión predominante en las pozas de Santa Rosa; Huamanruro; Macarí; Andaymarca y Pojcpoquella con 74,43%; 67,22%; 58,57%; 58,34% y 70,79% de presencia, respectivamente, mientras que en la poza de Pasanoccollo el anión que predominó es el SO₄²⁻ con un 58,37%, de estos resultados se llega a la conclusión que las pozas se encuentran en un marco estratigráfico y estructural de las aguas minero medicinales, está formado por areniscas rojas y rocas conglomeradas.

Palabras clave: Aguas minero medicinales; Pozas; Cátion; Anión

ABSTRACT

The medicinal mining waters of the province of Melgar in the region of Puno in Peru, are located at high altitude, with medicinal and / or recreational use, so it is necessary to know their characteristics, in this sense the study had the purpose to identify the hydrogeochemical characteristics of medicinal mineral waters from the province of Melgar, Puno in Peru. For the study, information has been collected on the physical and chemical parameters of the medicinal mining wells in the province of Melgar, Puno. The technique of Piper diagrams was applied in order to characterize the types of medicinal mineral water. The results indicated that the predominant cation in the Pasanoccollo pools; Santa Rosa; Huamanruro; Andaymarca and Pojcpoquella, was the Na⁺ ion, with 84.33%; 56.35%; 50.60%; 64.16% and 73.97% presence, respectively, while in the Macarí pool the cation that predominated the most is Ca²⁺ with 42.54%. Regarding the anions, SO₄²⁻ and Cl⁻ are the anions that predominated. Cl⁻ was the predominant anion in the Santa Rosa pools; Huamanruro; Macarí; Andaymarca and Pojcpoquella with 74.43%; 67.22%; 58.57%; 58.34% and 70.79% presence, respectively, while in the Pasanoccollo pool the predominant anion is SO₄²⁻ with 58.37%, from these results we can conclude that the pools are in a framework stratigraphic and structural of the medicinal mining waters, is formed by red sandstones and conglomerate rocks.

Key words: Medicinal mining waters; Pools; Cation; Anion

RESUMO

As águas mineiras medicinais da província de Melgar na região de Puno no Peru, estão localizadas em altitude, com uso medicinal e/ou recreativo, por isso é necessário conhecer suas características, nesse sentido o estudo teve como objetivo identificar as características hidrogeoquímicas das águas minerais medicinais da província de Melgar, Puno no Peru. Para o estudo, foram coletadas informações sobre os parâmetros físicos e químicos dos poços de mineração medicinal na província de Melgar, Puno. A técnica dos diagramas de Piper foi aplicada para caracterizar os tipos de águas minerais medicinais. Os resultados indicaram que o cátion predominante nas piscinas de Pasanoccollo; Santa Rosa; Huamanruro; Andaymarca e Pojcpoquella, foi o ión Na⁺, com 84,33%; 56,35%; 50,60%; 64,16% e 73,97% de presença, respectivamente, enquanto no reservatório Macarí o cátion que mais predominou é o Ca²⁺ com 42,54%. Em relação aos ânions, SO₄²⁻ e Cl⁻ são os ânions que predominaram. Cl⁻ foi o ânion predominante nas poças de Santa Rosa; Huamanruro; Macarirã; Andaymarca e Pojcpoquella com 74,43%; 67,22%; 58,57%; 58,34% e 70,79% de presença, respectivamente, enquanto na poça Pasanoccollo o ânion predominante é SO₄²⁻ com 58,37%, a partir destes resultados podemos concluir que as poças estão em um quadro estratigráfico e estrutural da medicina águas mineiras, é formado por arenitos vermelhos e rochas conglomeradas.

Palavras-chave: Águas medicinais de mineração; Poças; Cátion; Anion

INTRODUCCIÓN

Las aguas termales, en algunos casos aguas con características medicinales son parte de la energía geotérmica que se observa en todas las partes de nuestro planeta (1–3). La exploración, y aprovechamiento de los recursos de aguas termales con aplicaciones medicinales se han incrementado desde el siglo XIX (4,5), sin embargo, las investigaciones biológicas de las aguas termales comenzaron mucho antes de la década de los años 50 (6). La energía geotérmica en el planeta es un tipo de energía limpia caracterizada por la amplia distribución continental, debido a los bajos niveles de contaminantes y utilidad directa los cuales son aplicadas con múltiples propósitos como: curativos y de diversión. El desarrollo de la energía geotérmica comenzó rápidamente a partir de la década de los años 70 (7,8), en respuesta a los graves problemas como la expansión de la población, la contaminación ambiental, la escasez y demanda de la energía en todas las partes del mundo. La energía geotérmica es una fuente de energía alternativa con mayor atención dado que tiene diversas aplicaciones medicinales y también favorece la diversión (3), por ejemplo en China existen 4000 pozas de aguas termales con temperaturas superiores a los 25°C (9), los recursos geotérmicos empleados equivalen a $2,5 \times 10^{22}$ J, suficiente para satisfacer las demandas de muchos la cantidad de energía geotérmica aprovechable es de aproximadamente $7,5 \times 10^{21}$ J (10), la energía geotérmica que se explota en China es de 1,8

$\times 10^{19}$ J, lo que equivale a una reducción de $1,4 \times 10^8$ t de emisión de CO_2 por lo que es sumamente necesario su implementación, dado que es amigable al ambiente (10).

Las aguas termales ubicadas al rededor del mundo han sido debidamente ubicadas, estudiadas e identificadas, como ejemplo mencionamos, al sureste de China, en Chongqing lugar donde se ubican acuíferos de rocas carbonatadas en cuyas aguas termales predominan los elementos químicos como Ca-Mg- SO_4 y Ca- SO_4 con altas concentraciones de Ca^{+2} y SO_4^{-2} que se derivan de la disolución de rocas carbonatadas presenten en el lugar (11). Por otro lado, en el norte de Irán, en Teherán, en Chagal los manantiales termales son del tipo Na, Cl y CaSO_4 , caracterizados por las rocas calizas y carbonatadas de Asmari (12,13), la alta concentración de Na, Ca y Mg en los manantiales termales se debe a las interacciones agua-roca y al intercambio de cationes en las rocas carbonatadas (12), mientras que la hidrogeoquímica de las aguas termales de Birdsville, ubicadas en el noreste de Australia, tiene una composición de tipo Na- HCO_3 -Cl (14). Las aguas termales de Pamukkale en Turquía, se pueden dividir en dos grupos: grupo 1A: Ca- HCO_3 y grupo 1B: Ca- SO_4 , la concentración de estos elementos se debe a la interacción agua-rocas metamórficas basales (15). Es importante conocer las características de las pozas a fin de brindar aplicaciones principalmente medicinales y de recreación. Numerosas investigaciones reportan el efecto positivo de las aguas termales

medicinales en la salud física y mental, estas investigaciones han reportado que el agua de estas pozas alivia el dolor físico (16,17), también los efectos relajantes y sedantes (18,19) y el alivio de la artritis reumatoide (20), por lo que es importante conocer la composición química y física de las aguas termo medicinales.

En los distritos de Ayaviri, Macarí, Nuñoa, Ilalli, Santa Rosa de la provincia de Melgar de la región de Puno, Perú, existen diversas pozas con aplicaciones principalmente medicinales y de recreación identificados como: Pasanocollo; Macarí, Santa Rosa; Huamanruro; Andaymarca y Pojcpoquella, con características medicinales, donde los lugareños y visitantes aprovechan de las aguas para curar diversas enfermedades como la artritis. También es aprovechada para la natación y diversión de las personas que visitan el lugar, ya que el agua se encuentra a temperatura promedio de 27 °C (17), por lo tanto, el propósito de este estudio, fue identificar las características hidrogeoquímicas de las aguas minero medicinales de la provincia de Melgar, Puno en Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las aguas termales, se encuentran a una altitud promedio de 3864 metros sobre el nivel del mar, la zona tiene una humedad relativa del 78% en promedio. Las aguas mineromedicinales analizados en este estudio fueron: Pasanocollo; Santa Rosa; Huamanruro; Macarí; Andaymarca y Pojcpoquella (Tabla 1), con aplicaciones medicinales a las que se les atribuye la cura del reumatismo, artritis e infecciones al igual que otras aguas termales y también con propósitos recreacionales (17). En este estudio, se recolectó información de: temperatura (°C), conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH, HCO_3^- (mg/L), CO_3^{2-} (mg/L), SO_4^{2-} (mg/L), Cl^- (mg/L), Na^+ (mg/L), Ca^{2+} (mg/L), Mg^{2+} (mg/L), K^+ (mg/L), parámetros recolectados del informe del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las pozas en estudio.

Muestra	Altitud	Coordenadas
Pasanocollo	3 860	14°34'06"S 70°30'19"W
Santa Rosa	3 870	14°42'32"S 70°45'16"W
Huamanruro	3 870	14°43'02"S 70°45'24"W
Macarí	3 865	14°44'02"S 70°45'04"W
Andaymarca	3 880	14°52'59"S 70°38'19"W
Pojcpoquella	3 840	14°53'10"S 70°34'47"W

En este estudio se utilizaron gráficos de Piper (21), de los principales cationes y aniones para mapear las facies hidrogeoquímicas de las muestras de estudio y para demostrar diferentes tipos de agua hidroquímica. Los diagramas triangulares de Piper se utilizaron con la finalidad de representar la proporción de tres componentes en la composición de un conjunto o de una sustancia, según sea el caso. La regla utilizada en la interpretación del gráfico es que la suma de los tres componentes siempre, debe representar el 100% de la composición considerada. Por ejemplo, si un vértice representa el 100% del componente analizado, entonces por el lado contrario, los puntos que contengan 0% de ese componente estarán en el lado opuesto al vértice correspondiente.

Para el análisis con los diagramas de Piper se utilizó el aplicativo en Excel, Easy_Quim v5.0, este aplicativo fue diseñado por el Grupo de Hidrología Subterránea, del Departamento de Ingeniería del Terreno de la Universitat Politècnica de Catalunya - UPC. Con la finalidad de realizar los balances químicos en análisis de agua y su representación gráfica, como los diagramas de Piper.

RESULTADOS

La temperatura de las pozas de estudio fue de 15 °C a 75 °C; el rango de pH fue de 6,0 a 7.1 y la conductividad eléctrica fue de 600 a 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los principales cationes y aniones presentes en las aguas minero medicinales de la provincia de Melgar en la región de Puno, Perú fueron: (K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} y Na^+) and (HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} y Cl^-) respectivamente, según zonas de estudio (Tabla 2), las principales concentraciones de los cationes los Na^+ and Ca^{2+} , se puede apreciar que existe 1 688,00 mg/L de Na^+ en la poza de Pasanocollo; 1055,00 mg/L de Na^+ en la poza de Santa Rosa y 2124,00 mg/L de Na^+ en la poza de Pojcpoquella. Mientras que los principales aniones presentes en las muestras son: HCO_3^- ; SO_4^{2-} y Cl^- . El anión con mayor concentración es el Cl^- , con concentraciones de: 1 885,30 mg/L de Cl^- en la poza de Santa Rosa; 1 035,10 mg/L de Cl^- en la poza de Macarí; 2 956,00 mg/L de Cl^- en la poza de Pojcpoquella. Por otro lado tenemos la presencia importante de SO_4^{2-} con una concentración de 2 408,60 mg/L en la poza de Pasanocollo (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros físico-químicos de las muestras de agua mineromedicinales concentración de cationes y aniones en mg/L.

Muestra	T	CE ($\mu S/cm$)	pH	HCO_3^- mg/L	SO_4^{2-} mg/L	Cl^- mg/L	NO_3^{2-} mg/L	Na^+ mg/L	K^+ mg/L	Ca^{2+} mg/L	Mg^{2+} mg/L
Pasanocollo	75 °C	600	7,1	495,50	2 408,60	981,80	0,63	1 688,00	91,00	174,00	31,60
Santa Rosa	16 °C	1100	6,3	772,70	267,50	1 885,30	0,1	1 055,00	64,00	473,00	124,00
Huamanruro	15 °C	600	6,0	395,20	95,90	618,90	1,51	340,00	28,00	198,00	46,20
Macarí	15 °C	900	6,4	920,20	265,90	1 035,10	0,1	614,00	25,00	548,00	117,00
Andaymarca	24 °C	600	6,3	395,20	303,80	636,70	0,1	531,00	20,00	175,00	44,00
Pojcpoquilla	36 °C	400	6,4	908,40	934,30	2 956,00	0,1	2 124,00	67,00	396,00	133,00

De acuerdo a los diagramas de Piper (Figura 1), las aguas minero medicinales de la provincia de Melgar presentan como principales cationes con mayor porcentaje al Na^+ y Ca^{2+} . En las pozas de Pasanocollo; Santa Rosa; Huamanruro;

Andaymarca y Pojcpoquella el catión que más predomina es el Na^+ con 84,33 %; 56,35 %; 50,60 %; 64.16 % y 73.97 %, respectivamente, mientras que en la poza de Macarí el catión que más predomina es el Ca^{2+} con 42.54 %.

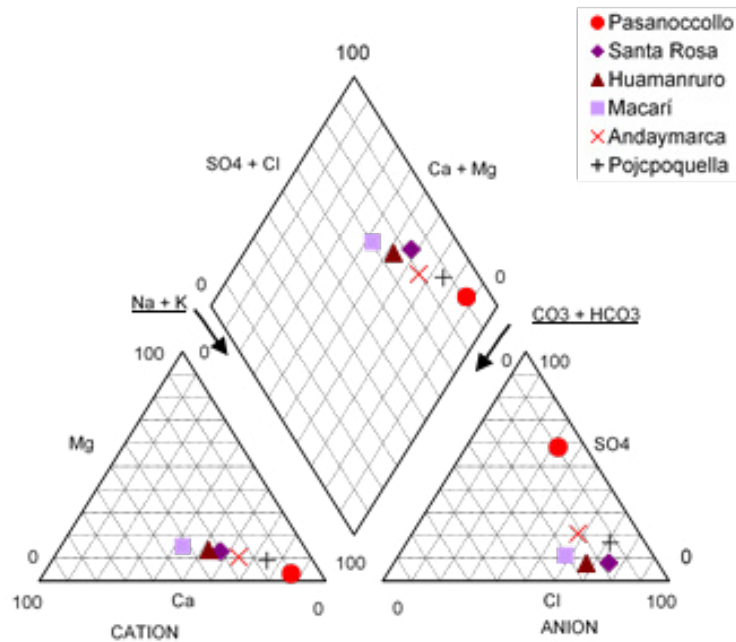


Figura 1. Diagrama de Piper para las muestras de aguas minero medicinales de la provincia de Melgar.

Respecto de los aniones presentes en las pozas de estudio de las aguas minero medicinales de la provincia de Melgar, se observa que los aniones con mayor presencia son: SO_4^{2-} y el Cl^- . El Cl^- es el anión predominante en las pozas de Santa Rosa, Huamanruro, Macarí, Andaymarca y Pojcpoquella, con 74.43 %; 67.22 %; 58.57 %; 58.34 % y 70.79 %, respectivamente, mientras que en la poza de Pasanocollo el anión más dominante es el SO_4^{2-} con un 58.37 % de concentración.

DISCUSIÓN

Según el análisis desarrollado con los diagramas de Piper, se puede afirmar que el catión predominante es el Na^+ en las pozas de Pasanocollo; Santa Rosa; Huamanruro; Andaymarca y Pojcpoquella, mientras que en la poza de Macarí el catión que más predomina es el Ca^{2+} . El anión predominante en las pozas de Santa Rosa, Huamanruro, Macarí, Andaymarca y Pojcpoquella, es el Cl^- con excepción de la poza de Pasanocollo es el SO_4^{2-} . En comparación con

las aguas termales medicinales de Venezuela, la alta concentración de iones SO_4^{2-} y Ca^{2+} son características de las aguas minero medicinales que son generalmente salobres (22), además, es importante señalar que la presencia de los iones como: SO_4^{2-} y Ca^{2+} generalmente, se derivan de la disolución de evaporados como yeso y anhidrita (11,23) lo que implica que las pozas analizadas tendrían como compuesto principal de las rocas al yeso y la anhidrita, que implica la disolución de estos minerales presentes en las rocas (13,24,25). La producción de Ca^{2+} se formaría por medio de la disolución de yeso y anhidrita (26,27). Además, se puede indicar que las aguas termales de la provincia de Melgar, en el suroeste de Perú, están formadas por rocas de arenisca roja y conglomerados y una secuencia gruesa de rocas del Cretácico de carbonato respectivamente (25).

CONCLUSIONES

Las aguas termales de la provincia de Melgar, en el suroeste de Perú, están formadas por: roca arenisca roja, conglomerados y una secuencia gruesa de rocas como el: Cretácico, carbonato respectivamente, cuyas aguas provendría de la disolución de los minerales como el yeso y la anhidrita. iones principales son Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- y SO_4^{2-} , de acuerdo a los diagramas de Piper.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran no tener conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Horikiri Y, Shimodouzono M, Wong XJ, Sudou K, Hayashi K, Tanaka N. effects of high concentration mineral water bathing on deep body temperature and circulatory function. *Jpn Assoc Phys Med Balneol Climatol.* 2000; 63:181–186. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/wpr-372828>
2. Lopes E. El desarrollo turístico de la región de aguas termales de Goiás, Brasil. *Cuadernos de Turismo.* 2005; (16):105–21. <http://revistas.um.es/turismo/article/view/18361>
3. Arévalo GJ, Guerrero HR. Turismo de salud por medio del aprovechamiento de aguas termales Caso de la Ruta de la Salud Michoacán. *Economía y Sociedad.* 2014; 18(31):121–43. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=51033723007>
4. Fournier RO, Truesdell AH. An empirical Na, K y Ca geot hermometer for natural waters. *Geochim Cosmochim Acta.* 1973; 37(5):1255–75. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(73\)90060-4](https://doi.org/10.1016/0016-7037(73)90060-4)
5. Gómez J, Delgado FJ. La ciudad de Aguascalientes, sus aguas termales y la higiene pública. Los baños de Los Arquitos, 1821-1994. *Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.* 2017;25(72):93–117. <https://n9.cl/g92ju>
6. Marsh CL, Larsen DH. Characterization of some thermophilic bacteria from the Hot Springs of Yellowstone National Park. *J Bacteriol.* 1953; 65:193–197. <https://doi.org/10.1128/jb.65.2.193-197.1953>
7. Lund JW, Freeston DH, Boyd TL. Direct utilization of geothermal energy 2010 worldwide review. *Geothermics.* 2011;40 159–180. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2011.07.004>
8. Peñuela LA, Carrillo JJ. Definición de zonas de recarga y descarga de agua subterránea a partir de indicadores superficiales: Centro-sur de la Mesa Central, México. *Investigaciones Geograficas.* 2013; 81:18–32. <https://n9.cl/dbb5z>

9. Zhao X, Wan G. Current situation and prospect of China's geothermal resources. *Renew Sustain Energy Rev.* 2014; 32:651–661. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.057>
10. Kong Y, Pang Z, Shao H, Hu S, Kolditz O. Recent studies on hydrothermal systems in China: a review. *Geotherm Energy.* 2014;2(19):1–19. <https://n9.cl/vvam5>
11. Yang P, Cheng Q, Xie S, Wang J, Chang L, Yu Q, et al. Hydrogeochemistry and geothermometry of deep thermal water in the carbonate formation in the main urban area of Chongqing, China. *J Hydrol (Amst).* 2017; 549:50–61. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.054>
12. Mohammadi Z, Bagheri R, Jahanshahi R. Hydrogeochemistry and geothermometry of Changal thermal springs, Zagros region, Iran. *Geothermics.* 2010; 39:242–9. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2010.06.007>
13. Rafighdoust Y, Eckstein Y, Harami RM, Gharaié MHM, Griffith EM, Mahboubi A. Isotopic analysis, hydrogeochemistry and geothermometry of Tang-Bijar oilfield springs, Zagros region, Iran. *Geothermics.* 2015; 55:24–30. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2015.01.001>
14. Pirlo MC. Hydrogeochemistry and geothermometry of thermal groundwaters from the Birdsville Track Ridge, Great Artesian Basin, South Australia. *Geothermics.* 2004;33(6):743–74. <https://n9.cl/gkzmu>
15. Alçiçek H, Bülbül A, Yavuzer İ, Cihat Alçiçek M. Origin and evolution of the thermal waters from the Pamukkale Geothermal Field (Denizli Basin, SW Anatolia, Turkey): Insights from hydrogeochemistry and geothermometry. *Journal of Volcanology and Geothermal Research.* 2018; <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US202000094158>
16. Verhagen AP, Bierma SM, M. Boers JR, Cardoso J, Lambeck J, de Bie RA, et al. Balneotherapy for osteoarthritis, *Cochrane Database Syst Rev.* 2007; 4(2):64–8. <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2017.01.001>
17. Rodríguez LM. Water. Therapeutic effects of water according to its composition. *Fisioterapia.* 1996; 29(9):64–6. <https://www.elsevier.es/es-revista-fisioterapia-146-resumen-agua-efectos-terapeuticos-las-aguas-S0211563801730246>
18. Maxe RM. Estudio de la calidad físico-química y mineromedicinal del agua termal de los Baños del Inca. *Revista de Investigación y Cultura.* 2015;4(1):38–42. <https://revistas.ucv.edu.pe/index.php/ucv-hacer/article/view/686>
19. Najjar IN, Sherpa MT, Das S, Das S, Thakur N. Microbial ecology of two hot springs of Sikkim: Predominate population and geochemistry. *Science of the Total Environment.* 2018;637–638:730–45. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.037>
20. Verhagen AP, Bierma SM, Boers M, Cardoso JR, Lambeck J, Bie RA de, et al. Balneotherapy (or spa therapy) for rheumatoid arthritis. *Cochrane Database Syst.* 2015; 4(2):51–8. <https://n9.cl/vwx0r>
21. Piper AM. graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Trans Am Geophys Union.* 1944; 25:914–928. <https://n9.cl/r0qb4>
22. Benitez J, Monstue M, Lopez M. Estudio físico-químico e isotópico de aguas termales del municipio Libertador del Estado Sucre, Venezuela. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente.* 2015;27(1):94–101. <https://n9.cl/cn6n4>
23. Grasby SE, Hutcheon I, Krouse HR. The influence of water-rock interaction on the chemistry of thermal springs in western Canada. *Appl Geochem.* 2000;15(4):439–454. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(99\)00066-9](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(99)00066-9)
24. Giggenbach WF. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers. *Geochim Cosmochim Acta.* 1988;52(12):2749–65. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0016703788901433>

25. Huamaní A, Valenzuela G. Aguas termales y minerales en el oriente central del Perú. 2003;156. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/339>

26. Bischoff JL, Juliá R, Shanks III WC, Rosenbauer RJ. Karstification without carbonic-acid: bedrock dissolution by gypsum-driven dedolomitization. Geol. 1994;22(11):995–998. <https://n9.cl/rxgz6>

27. Goldscheider N, Mádl-Szőnyi J, Erőss A, Schill E. Review: Thermal water resources in carbonate rock aquifers. Hydrogeol J. 2010;18(6):1303–18. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10040-010-0611-3>