

Estudio del comportamiento químico del agua termal de San Antonio de Putina-Puno-Perú, durante las cuatro estaciones del año

Jose Antonio LLAHUILLA QUEA⁽¹⁾

⁽¹⁾Laboratorio de Toxicología y Química Legal. Facultad de Farmacia y Bioquímica.
Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú
jllahuillaq@unmsm.edu.pe

Recibido: 08-08-19

Aceptado: 15-09-19

Resumen

Las aguas termominerales son usadas tradicionalmente por la población peruana para diversas enfermedades. Objetivo: Determinar y comparar los componentes químicos del agua termal de San Antonio de Putina-Puno durante las cuatro estaciones del año 2017. Materiales y métodos: diseño no experimental, realizado siguiendo las recomendaciones incluidas en el apartado 1060B de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater en su 21 edición, Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC) y Norma US (EPA). Se determinaron concentraciones de los metales por Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) y los no metales por cromatografía iónica (EPA 300.1993 rev.2.1) se aplicó el ANOVA considerando el $p < 0.05$ para la significancia. Resultados: Se analizaron 52 componentes químicos en cada estación del año, poseen un promedio de sodio 1604 mg/L, cloruro 1,829.83 mg/L sulfato 763.97 mg/L y potasio 74.92 mg/L: la concentración media en verano (85.23 mg/L), otoño (83.7 mg/dL), invierno (84.12mg/dL) y primavera (82.67 mg/L), no se encontraron diferencias significativas entre los valores de cada estación Conclusiones: los componentes químicos del agua termal de San Antonio de Putina-Puno tienen un promedio de las concentraciones más elevadas, sodio 1604 mg/L, cloruro 1,829.83 mg/L sulfato 763.97 mg/L y potasio 74.92 mg/L. y presentan la mayor concentración media en verano (85.23 mg/L) y la menor concentración media (82.67 mg/L) en primavera con tendencia de disminución durante las cuatro estaciones del año.

Palabras claves: agua termomineral, comportamiento químico

Study of the chemical behavior of the thermal water of San Antonio de Putina-Puno-Peru during the four seasons of the year

Abstract

Thermomineral waters are traditionally used by the Peruvian population for various diseases. Our Objective: To determine and compare the chemical components of the thermal water of

San Antonio de Putina-Puno during the four seasons of the year. Materials and methods: non-experimental design, for which it was carried out following the recommendations included in section 1060B of Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater in its 21st edition. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC), and US Standard (EPA). The concentrations of the metals by ICP-Masses and non-metals were determined by ion chromatography EPA 300.1993 rev.2.1 the ANOVA was applied considering the $p < 0.05$ for the significance. Results: The components and chemical concentration of the thermal water of San Antonio de Putina-Puno were determined in the four seasons of the year, being an average of, sodium 1604 mg / L, chloride 1,829.83 mg / L sulphate 763.97 mg / L and potassium 74.92 mg / L average concentration in summer (85.23 mg / L), autumn (83.7mg / dL), winter (84.12 mg / dL) and spring (82.67 mg / L) Conclusions: the chemical components of the thermal water of San Antonio de Putina-Puno have an average of the highest concentrations, sodium 1604 mg / L, chloride 1,829.83 mg / L sulfate 763.97 mg / L and potassium 74.92 mg / L and have the highest average concentration in summer (85.23 mg / L) and the lowest average concentration (82.67 mg / L) in spring with a tendency to decrease during the four seasons of the year

Key words: thermomineral water, chemical behavior

REFERENCIA NORMALIZADA

Llahuilla Quea JA. Estudio del comportamiento químico del agua termal de San Antonio de Putina-Puno -Perú, durante las cuatro estaciones del año. Bol Soc Esp Hidrol Med, 2020; 35(2): 155-162. DOI: 10.23853/bsehm.2020.0971

INTRODUCCIÓN

Las aguas termominerales con potencial terapéutico constituyen una alternativa farmacológica de interés en el tratamiento de muchas enfermedades (gastrointestinales, biliares, reumáticas), de ahí la importancia de realizar estudios de los componentes del agua y su comportamiento durante el año 2017 con el propósito de detectar posibles variaciones¹ En la actualidad existe poca información acerca de las concentraciones de metales y no metales de las aguas termominerales empleadas en la medicina alternativa o tradicional, como es el caso del agua termomineral de San Antonio de Putina -Puno, que se distribuye ampliamente en las diversas zonas de la ciudad y que es de elevado consumo no sólo por los lugareños. Además, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció en 1989, como recurso para tener en cuenta, el tratamiento de diversas afecciones por medio de las aguas termales, por considerar que se trata de una de las actividades de “salud” más importantes para mejorar lo que se denomina “calidad de vida” y lo ratifica el año 2013² por tanto resulta de especial interés evaluar la concentración de los metales y no metales con potencial terapéutico para el ser humano. El objetivo de este trabajo fue determinar y comparar las concentraciones de los componentes químicos del agua termal de San Antonio de Putina Puno en las cuatro estaciones del año.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolecto la muestra de agua de la fuente termal Huayna Putina, a una altitud de 3,810 m.s.n.m. 14°54'40" Latitud sur y 69° 51' 57" longitud oeste del meridiano de Greenwich de San Antonio de Putina-Puno. Para conservar y evitar su descomposición se transportó a una temperatura de 4-8°C hacia el laboratorio³⁻⁴.

Para realizar los análisis se siguió principalmente las técnicas de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater en su 21 edición (SM). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC), y Norma US (EPA)⁵.

Para determinar metales totales por ICP-MASAS, la muestra en forma líquida, es transportada por medio de una bomba peristáltica hasta el sistema nebulizador donde es transformada en aerosol gracias a la acción del gas argón, dicho aerosol es conducido a la zona de ionización que consiste en un plasma generado al someter un flujo de gas argón a la acción de un campo magnético oscilante inducido por una corriente de alta frecuencia. En el interior del plasma se pueden llegar a alcanzar temperaturas de hasta 8000 K. En estas condiciones, los átomos presentes en la muestra son ionizados. Los iones pasan al interior del filtro cuadripolar a través de una interfase de vacío creciente, allí son separados según su relación carga/masa. Cada una de las masas sintonizadas llegan al detector donde se evalúa su abundancia en la muestra⁶. La cromatografía de intercambio iónico es un proceso que permite la separación de iones y moléculas polares, basado en las propiedades de carga de las moléculas. Puede ser usada en casi cualquier tipo de molécula cargada, incluyendo grandes proteínas, pequeños nucleótidos y aminoácidos⁷. La solución que debe inyectarse es usualmente llamada "muestra" y los componentes separados individualmente son llamados analitos. En este caso, los analitos a analizar son aniones (cloruros, sulfatos). EPA 300.1993 rev. 2.1. Sulfuro de hidrogeno indisoluble Espectrofotometría, UV visible, EW_APHA4500S2BCD⁵.

La descripción de variables se expresa en medias y desviación estándar; la comparación estadística de grupos, mediante ANOVA de una vía seguido de una prueba post-hoc de Tukey, se consideró significativo con un $p < 0,05$ al intervalo de confianza de 95%. Se utilizó el programa estadístico SPSS versión 17.

RESULTADOS

En la Tabla 1, pueden observarse los resultados de las determinaciones analíticas de metales totales (cationes), durante las cuatro estaciones del año 2017, del agua termal de San Antonio de Putina Puno. En la Tabla 2 y Figura 1, la estadística descriptiva de los resultados de metales y en las Tablas 3 y 4, el promedio de valores de cationes y aniones, en mg/L, meq/L y % meq.

Tabla 1 – Metales totales del agua termal de San Antonio de Putina Puno, durante las cuatro estaciones

METALES TOTALES	LD	M1	M2	M3	M4
		verano	otoño	primavera	invierno
Aluminio mg/L	0.001	0.036	<0.001	<0.001	<0.001
Antimonio mg/L	0.00567	0.0064	0.00567	0.00517	0.00525
Arsénico mg/L	0.00003	0.04828	0.05111	0.04766	0.04952
Bario mg/L	0.0001	0.0382	0.0383	0.0381	0.0381
Boro mg/L	0.002	46.319	45.589	47.089	46.582
Cadmio mg/L	0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001
Calcio mg/L	0.003	231.731	225.329	222.03	221.076
Cesio mg/L	0.0001	2.5766	2.6632	2.6111	2.6832
Cobalto mg/L	0.00001	0.00039	0.00038	0.00041	<0.00001
Estroncio mg/L	0.0002	6.1224	5.7701	5.8301	5.7201
Germanio mg/L	0.0002	0.0111	0.0108	0.0113	0.0107
Litio mg/L	0.0001	22.3266	22.0742	21.9013	20.9051
Magnesio mg/L	0.001	52.593	53.643	52.985	53.876
Manganeso mg/L	0.00003	0.20385	0.18846	0.18397	0.09197
Mercurio mg/L	1	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Molibdeno mg/L	0.00002	0.00452	0.00402	0.00401	0.00393
Plomo mg/L	0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Potasio mg/L	0.04	78.2	75.59	71.42	74.49
Rubidio mg/L	0.0003	0.2785	0.2612	0.2607	0.2564
Selenio mg/L	0.0004	0.0025	0.0022	0.0029	0.0021
Silice mg/L	0.09	44.73	44.82	45.1	46.55
Silicio mg/L	0.04	20.91	20.95	21.08	21.76
Sodio mg/L	0.006	1,639.26	156,969	1,601.86	1,608.82
Talio mg/L	0.00002	0.00033	0.00032	0.00032	0.00026
Titanio mg/L	0.0002	0.0238	0.0227	0.0217	0.022

Tabla 2 – Estadística descriptiva del resultado de metales totales del agua termal de San Antonio de Putina Puno, durante las cuatro estaciones

Estación		Estadístico	P
Verano	Media	85.82	0,99*
	Mediana	0.0483	
	Mínimo	0	
	Máximo	1639.26	
Primavera	Media	82.67	
	Mediana	0.0511	
	Mínimo	0	
	Máximo	1569.69	
Otoño	Media	83.70	
	Mediana	0.0477	
	Mínimo	0	
	Máximo	1601.86	
Invierno	Media	84.12	
	Mediana	0.0495	
	Mínimo	0	
	Máximo	1608.82	

Figura 1 – Comportamiento anual de las concentraciones de metales

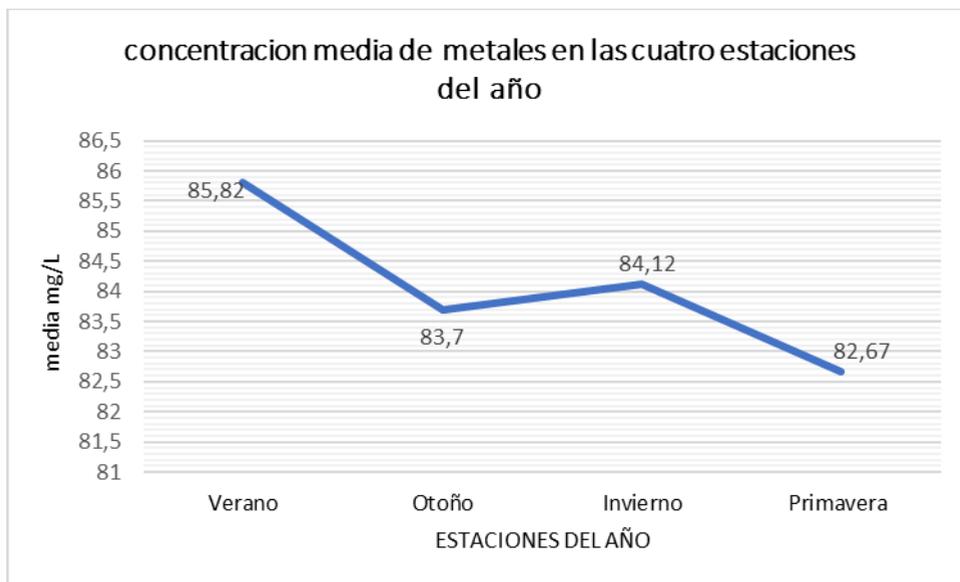


Tabla 3 – Promedio de los valores de cationes de las cuatro estaciones

Cationes	mg/L	meq/L	% meq
Na ⁺	1,604.91	69.78	77.1
K ⁺	74.925	1.94	2.14
Li ⁺	21.8	3.15	3.47
Ca ⁺⁺	225.04	11.23	12.41
Mg ⁺⁺	53.27	4.39	4.85
Totales	1,979.94	90.49	100

Tabla 4 – Promedio de los valores de aniones de las cuatro estaciones

Aniones	mg/L	meq/L	% meq
Cl ⁻	1,829.83	51.62	72
HCO ₃ ⁻	253.63	4.16	5.8
NO ₃ ⁻	0.04	0	0
SO ₄ ⁼	763.97	15.91	22.18
Totales	2,847.47	71.69	100

DISCUSIÓN

Según los estudios realizados para el análisis químico de las aguas termales de San Antonio de Padua Putina -Puno por Raimondi en el año 1902, que reporta la presencia de sulfato de soda 0,2871 g, cloruro de sodio 3,1955 g entre otras⁸. En el año 2000, la Municipalidad de san Antonio de Putina solicitó al laboratorio SGS el análisis químico de cuatro muestras de agua y según el informe de ensayo O/L ECO-200625-A, reporta lo siguiente potasio 57.69 mg/L, sodio 1350 mg/L⁹. Huamaní 2001, afirma que “*las aguas termales y minerales de san Antonio de Putina son cloruradas sódicas y sulfatadas*”¹⁰. Llahuilla en el año 2007 en su estudio de la evaluación químico toxicológico de litio encontró en el agua termal 15,95 mg/L de dicho elemento¹¹. Llahuilla en el año 2013 afirma que el agua termal de San Antonio de Putina Puno presenta: sodio 1693,50, cloruro 1985,83 y sulfato 849.58 mg/L¹², sin embargo en el estudio que se realizó se encontró sodio 1,829.83 mg/L, de sulfato 763.97 mg/L, potasio 74,92 mg/L, cloruro 1604 mg/L, con respecto a los estudios anteriores las concentraciones de sodio se incrementaron en 26 % y potasio en 23 % a través del tiempo, sin embargo las concentraciones de sulfatos disminu-

yeron en 10 % y cloruros en 19 % disminuyendo a medida que va transcurriendo el tiempo, probablemente se dé por la degradación de las rocas volcánicas entre otras.

En la Tabla 1 se puede apreciar los resultados de algunos metales totales por encima de los límites de detección (LD) de los 52 metales analizados, durante las cuatro estaciones del año 2017, resaltando algunos metales de interés toxicológico: arsénico, cadmio, mercurio, plomo, sodio y potasio pero al realizar las comparaciones de los valores en diferentes estaciones del año no hay diferencia significativa entre ellos.

En la Tabla 2 se puede observar que la media de los metales en la estación de verano es mayor y la media de los valores de los metales correspondientes a la primavera son más bajas y probablemente varíen con los movimientos telúricos, degradación de las rocas internas o en su defecto con las lluvias que arrastran minerales a la napa freática, sin embargo, esas diferencias no son significativas $p > 0,005$. en la Figura 1 se observa que los promedios de las medias de las concentraciones tienen tendencia a disminuir, sin embargo, esa diferencia no es significativa o la variación entre las estaciones del año estadísticamente con $p > 0.05$.

Además, en la Tabla 3 se puede apreciar los valores de las concentraciones de los elementos químicos que indican la clasificación de las aguas y su equivalente químico de interés bioquímico y terapéutico considerando que la concentración mayor a la concentración de 1 g/L u 80 meq/L tiene aplicabilidad terapéutica¹³⁻¹⁴, Cuando un ion es mayor que 20 mEq / L, esto le da al agua su nombre. Según la composición iónica predominante, las aguas minerales se clasifican en: aguas cloruradas, sulfatadas y sódicas¹⁵⁻¹⁶.

CONCLUSION

Los componentes químicos del agua termal de San Antonio de Putina-Puno tienen los siguientes promedios de las concentraciones más elevadas, sodio 1.604 mg/L (69,78 meq/L), cloruro 1.829 mg/L (51,62 meq/L), sulfato 763,97 mg/L (15,91 meq/L) y potasio 74,92 mg/L (1,94 meq/L) y presentan la mayor concentración media en verano (85,23 mg/L) y la menor concentración media (82,67 mg/L) en primavera con tendencia de disminución durante las cuatro estaciones del año.

BIBLIOGRAFIA

1. Aguas termales: la alternativa natural y saludable para combatir el estrés durante las vacaciones. Consultado el 17 de setiembre de 2018. Disponible en: <https://www.infobae.com/.../aguas-termales-la-alternativa-natural-y-saludable-para-co>.
2. Estrategia de la Organización Mundial de la Salud sobre medicina Tradicional 2013-2023. Consultado el 11 de febrero de 2019. Disponible en: <http://apps.who.int/medicinedocs/documents/s21201es.pdf>.

3. Estadística poblacional de San Antonio de Putina Puno. Disponible en: https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones.../Est/.../puno_21_3.xls.
4. Convenio N° 772-2017-INEI. Consultado el 17 de setiembre de 2018. Disponible en: <http://iinei.inei.gov.pe/DOCUMENTOS/CV2017772.pdf>.
5. Maraver F, Armijo F. Vademecum II de aguas mineromedicinales españolas. Madrid: Ed. Complutense, 2010.
6. Espectrometría de Masas de Plasma (ICP-MS) Universidad de Burgos. Consultado el 13 de enero de 2019. Disponible en <https://www.ubu.es/parque-cientifico-tecnologico/servicios-cientifico-tecnicos/espectrometria/espectrometria-de-masas-de-plasma-icp-ms>.
7. Fundamento científico cromatografía iónica (aniones y cationes). Consultado el 16 de mayo de 2019. Disponible en : http://ftp.murciaeduca.es/programas_educativos/Nuevo1/LIBROETSIA/23_analisis_de_aguas_cromatografa_inica_aniones_y_cationes.htm l.
8. Raimondi A. El Perú estudio mineralógico y geológico. Lima: Sociedad geográfica de Lima Perú, 1902 tomo IV p. 357.
9. Aparicio R. Informe de ensayo O/L ECO 200625-A análisis químico de las Aguas termales de San Antonio de Putina, SGS laboratorios del Perú SAC Callao Perú 2000 p.1-3.
10. Huamani H. Riesgo Volcánico e Hidrotermalismo en el Perú aguas minerales en el sur oriente del Perú (Dptos. Apurímac, Cuzco, Madre de Dios y Puno). INGEMET Lima-Perú. 2001; 24.
11. Llahuilla J. Efecto antioxidante y toxicidad aguda oral de las aguas termales de San Antonio de Putina [Tesis - Mg. en Toxicología] Escuela de Post-Grado, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, 2013.
12. Llahuilla J. Evaluación químico toxicológico de litio en la piscina termo medicinal de San Antonio de Putina (Puno) y en la orina de las personas que la utilizan. [Tesis Químico Farmacéutico] Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, 2007.
13. Torres Y. Análisis fisicoquímico de fuentes de Aguas Termo minerales del Callejón de Huaylas [tesis maestría] Facultad de Química, Universidad Católica, Lima, 2006.
14. Composición química de las aguas subterráneas naturales. Consultado el 7 de enero de 2019. Disponible en: aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/1_1.pdf.
15. Costantino M, Giuberti G, Caraglia M, Lombardi A, Misso G, Abbruzzese A, Ciani F, Lampa E. Possible antioxidant role of SPA therapy with chlorine-sulphur-bicarbonate mineral water. *Amino Acids*. 2009; 36(2): 161-5.
16. Mineral and Thermal Water Classification. Consultado el 4 de febrero de 2019. Disponible en: <http://www.cicosped.it/en/inhalation-therapies/thermal-water-classification.html>