

Contaminación de las Aguas Subterráneas por Arsénico (As) el caso del distrito de Juliaca – Perú

Groundwater Polluted by Arsenic (As) as the case in Juliaca district - Peru

Wile Mamani Navarro

wmamani@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca. Juliaca

Resumen

La contaminación por arsénico (As), mediante el consumo de aguas subterráneas, es un problema de salud pública que afecta la vida de aquellas personas que no cuentan con servicio de abastecimiento de agua potable en la ciudad de Juliaca. En las aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca, se encontraron concentraciones de As con una media de $73.5 \mu\text{g L}^{-1}$; que supera el límite máximo de $10 \mu\text{g L}^{-1}$, establecido por la directriz de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Asimismo se determinaron medias de parámetros fisicoquímicos como pH de 7.595, CE de $1238.539 \mu\text{S cm}^{-1}$ y concentraciones medias de turbiedad 5.250 NTU , CaCO_3 $454.692 \text{ mg L}^{-1}$, Ca^{2+} $115.659 \text{ mg L}^{-1}$, Mg^{2+} 33.383 mg L^{-1} , SO_4^{2-} 80.981 mg L^{-1} y Cl^- $146.037 \text{ mg L}^{-1}$; estos valores se ubicaron dentro de los estándares nacionales e internacionales. Sin embargo, la ingesta diaria de agua subterránea contaminada en la ciudad de Juliaca puede ser la principal vía de exposición al As, que conlleva consecuencias graves y efectos adversos en la salud de los pobladores. Por lo tanto, el agua subterránea utilizada para el consumo público debe someterse a pruebas periódicas de As y otros elementos para garantizar que su inocuidad se encuentre dentro de los lineamientos nacionales establecidos. Finalmente se requiere una atención inmediata por parte de las autoridades locales.

Palabras claves: *Contaminación de agua subterránea, metales pesados, riesgo a la salud humana, Arsénico.*

Abstract

Arsenic contamination (As), through the consumption of underground water, is a public health problem that affects the lives of those who do not have drinking water supply service in Juliaca city. In groundwater in Juliaca, concentrations of As have been found at an average of $73.5 \mu\text{g L}^{-1}$; which exceeds the maximum limit of $10 \mu\text{g L}^{-1}$, established by the guideline of the World Health Organization (WHO). Likewise, physicochemical parameter averages have been determined such as pH 7.595, EC of $1238.539 \mu\text{S cm}^{-1}$ as well as an average of turbidity concentrations of 5.250 NTU , CaCO_3 $454.692 \text{ mg L}^{-1}$, Ca^{2+} $115.659 \text{ mg L}^{-1}$, Mg^{2+} 33.383 mg L^{-1} , SO_4^{2-} were determined. 80.981 mg L^{-1} and Cl^- $146.037 \text{ mg L}^{-1}$; These values were located within national and international standards. However, the daily intake of contaminated groundwater in the city of Juliaca may be the main route of exposure to As, which has serious consequences and adverse effects on the health of the population. Therefore, groundwater used for public consumption must undergo periodic tests of As and other elements to ensure that its safety is within the established national guidelines. Finally, immediate attention is required from local authorities.

Keywords: *Groundwater pollution, heavy metals, risk to human health, Arsenic.*

Introducción

Históricamente, se cree que los suministros de agua subterránea son más seguros en términos de microorganismos patógenos que el agua de los pozos excavados abiertos y las aguas superficiales como ríos, arroyos, lagos y estanques (Yadav, Devi, & Singh, 2015). La contaminación por arsénico (As) geogénico en las aguas subterráneas de los acuíferos aluviales ha estado creando graves problemas de salud para millones de personas en todo el mundo (Paul et al., 2015); al punto que ha sido reconocida como un problema de proporciones catastróficas. El peligro toxicológico para la salud también se ha reportado durante muchos años, debido al reconocimiento de que el arsénico en bajas concentraciones en el agua potable provoca efectos no deseados en la salud humana (Choong, Chuah, Robiah, Gregory Koay, & Azni, 2007).

El arsénico es un metaloide tóxico, ampliamente distribuido, debido a las actividades naturales y antropogénicas en el medio ambiente. Ocurre en cuatro estados de oxidación (5+, 3+, 0 y 3-), aunque el arseniato (As V) y el arsenito (As III) son las formas más comunes y As III es más tóxico que As V (Smedley & Kinniburgh, 2002). La exposición prolongada al arsénico conlleva problemas de salud crónicos como hiperpigmentación y queratosis de las manos y los pies; también afecta la vejiga, pulmón, piel, riñón, hígado, y provoca cáncer de próstata (Mohora et al., 2014). En la actualidad casi no hay medicamentos para el envenenamiento crónico por arsénico (Chakraborti et al., 2016). El arsénico se produce naturalmente en las aguas subterráneas debido a la presencia de minerales de arsénico tales como arsenopirita (FeAsS), realgar (As_4S_4) y oropimente (As_2S_3) en los acuíferos o lechos de roca cristalina y sedimentos no consolidados (Möller, Sylvester, Shepard, & Morassi, 2009).

La contaminación natural por arsénico en aguas subterráneas ha llevado a extensos estudios sobre los factores que controlan su distribución, la geoquímica del arsénico en agua subterránea demuestran que la mayoría de las muestras contenían tanto As (III) y As (V) (Chauhan, Nickson, Chauhan, Iyengar, & Sankaramakrishnan, 2009), incluso en bajas concentraciones, lo que ha originado en la OMS (2003) una particular preocupación debido a la presencia de éste compuesto en el medio ambiente, siendo que la mayor amenaza para la salud humana es el consumo de agua potable contaminada por As, la misma que significa la principal vía de ingreso en el cuerpo humano, éste problema es considerado prioritario en el mundo (Andrade & Stigter, 2013).

Según estudios realizados por George et al., (2014), se ha revelado la contaminación generalizada por arsénico del agua subterránea utilizada para consumo humano en 12 distritos del Perú, incluidos Juliaca y Caracoto. Los hallazgos revelan una alarmante amenaza para la salud pública que debe abordarse de inmediato. Se encontraron concentraciones de arsénico (As) en la ciudad de Juliaca ($1,2 - 193,1 \mu\text{g L}^{-1}$) y detectaron altas concentraciones de As en el distrito de Caracoto ($31,9 - 113,1 \mu\text{g L}^{-1}$), todos superaron $10 \mu\text{g L}^{-1}$ límite recomendados por la OMS.

Sin embargo el agua subterránea utilizada para consumo público, tiene que ser monitoreado periódicamente, la concentración de As y otros elementos para asegurar la calidad del agua potable para que esté dentro de los lineamientos nacionales prescritos (Rahman, Dong, & Naidu, 2015).

Materiales y métodos

Materiales

Envases de polietileno de alta densidad, termómetro, espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP - OES), GPS de mano (Garmin - Montana 650), pipetas, vasos precipitados, Ácido sulfúrico (H_2SO_4 al 96 %) 0,02 N, etilendiaminotetraacetico (EDTA $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ al 99 %) 0,01 M, negro de eriochrome blakt (C.I. 14645), hidróxido de sodio (NaOH al 99%) 1 N, ácido clorhídrico al (HCl), heliantina, nitrato de plata (AgNO_3 al 99,8%) 0,01 M, solución buffer pH 10, los reactivos utilizados fueron de grado analítico.

Localización y entorno geográfico

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la ciudad de Juliaca, que se encuentra ubicada al sur del Perú, en el departamento de Puno, provincia de San Román, a $15^\circ 29' 40''$ de Latitud Sur y $70^\circ 07' 54''$ de Longitud Oeste, y a una altitud de $3,824 \text{ m s. n. m.}$

Muestreo de aguas subterráneas

Se seleccionaron un total de 20 pozos tubulares y las coordenadas geográficas de cada sitio de muestreo se registraron con una unidad GPS de mano, ver figura 1 (Güler, Kurt, Alpaslan, & Akbulut, 2012). Así mismo se consideró la profundidad de muestreo que osciló entre 4 a 16 m (Devic, Djordjevic, & Sakan, 2014). Todas las muestras se recolectaron en botellas de PVC de alta densidad, previamente lavados con agua desionizada (Kumar, 2014), y se preservaron con ácido nítrico de HNO_3 , hasta un pH menor a 2 y se mantuvieron refrigerados en una hielera a una temperatura de 4°C e inmediatamente se transportaron al laboratorio para su posterior análisis (Charlet et al., 2007; Devic et al., 2014). Posteriormente se determinó el arsénico total (As) mediante el espectro acoplado inductivamente espectrometría de emisión atómica de plasma ICP - OES (Bhowmick et al., 2013).

Resultados y discusión

La profundidad de los pozos osciló entre 4 - 20 m de profundidad (Tabla 1) todos ellos ubicados en la ciudad de Juliaca. Los pozos del cual se extrae el agua subterránea, comprenden excavaciones poco profundas, que constituyen la fuente principal de provisionamiento agua para consumo, en las familias urbano marginales de la ciudad.

Tabla 1
Pozos de área urbano marginal de Juliaca: Concentración de As total

Diciembre 2015		
Pozos	Profundidad (m)	As Total ($\mu\text{g L}^{-1}$)
1	12.0	72
2	18.0	41
3	12.0	52
4	15.0	<LOD*
5	15.0	115
6	20.0	25
7	7.4	24
8	4.0	17
9	18.0	134
10	15.0	107
11	16.0	146
12	4.5	31
13	15.0	60
14	10.0	74
15	20.0	62
16	10.0	83
17	14.0	134
18	14.0	61
19	13.0	77
20	18.0	81

* Límite de detección inferior del equipo.

De la Tabla 1, se aprecia que la mayor concentración de As fue registrada en el pozo 11 con $146 \mu\text{g L}^{-1}$ y el pozo 8 presenta la menor concentración con $17 \mu\text{g L}^{-1}$. Por otro lado, 19 de los 20 pozos presentaron una concentración promedio de $73.5 \mu\text{g L}^{-1}$, este valor es mayor a lo reportado por Kaur, Bhardwaj, & Arora (2017), con $11.01 \mu\text{g L}^{-1}$ en la India, pero muchísimo menos las concentraciones de hasta $700 \mu\text{g L}^{-1}$ de As halladas en muestras de agua en el oeste de la amazonia peruana (de Meyer et al., 2017). A pesar de ello, la Organización Mundial de la Salud (OMS), establece un límite máximo de $10 \mu\text{g L}^{-1}$ de As en agua, por lo que los valores reportados en los 19 pozos sobrepasan este límite. Los elevados niveles de As en este estudio podrían deberse a la evaporación del agua, ya que el clima en esta región es árido (Hundal, Kumar, Singh, & Singh, 2007); del mismo modo, la contaminación por As está fuertemente asociada a la presencia de altas concentraciones de hierro, fosfatos, iones de amonio y actividades antropogénicas (Kumar, Kumar, Ramanathan, & Tsujimura, 2010).

La OMS establece un límite de $0,01\text{mg L}^{-1}$ para As (WHO, 2008); sin embargo, queda una considerable ambigüedad sobre el riesgo real del agua potable con concentración de arsénico $<10 \mu\text{g L}^{-1}$.



Figura 1. Puntos de muestro de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca.

De acuerdo al resumen estadístico de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca presentado en la Tabla 2, la media de los valores del *pH* varió 7.595, lo que indica que el agua subterránea es de naturaleza ligeramente ácida a alcalina, siendo esto evidencia de concentraciones altas en aniones (Zhang, Wang, Ali, & DeLaune, 2016). Estos valores se encuentra dentro del límites establecido por la directriz de la Organización Mundial de la Salud para el *pH*, es decir 6.5 a 8.5 (WHO, 2011). Por otro lado, la media de los valores de la CE varió 1238,539 μ S cm^{-1} ; estos valores también se encuentran dentro de los límites establecidos por los estándares nacionales e internacionales. Asimismo, el valor medio de turbiedad fue de 5.250 NTU, encontrándose dentro de los parámetros establecidos por los estándares nacionales e internacionales. La dureza total media en forma de CaCO_3 resultó 454.692 mg L^{-1} , derivada de la presencia de calcio y magnesio; por otro lado, las concentraciones medias de Ca^{2+} variaron 115.659 mg L^{-1} que son más altas que las de Mg^{2+} 33.383 mg L^{-1} , además estos valores se encuentran dentro de los límites establecidos. Sin embargo, la OMS (2011) no reporta ningún valor de referencia basado en los efectos sobre la salud para la dureza del agua de uso y consumo humano. Asimismo, los valores media de sulfatos SO_4^{2-} variaron 80.981 mg L^{-1} , siendo estos valores hallados menores a lo establecido de 250 mg L^{-1} . Según Krishna Kumar et al. (2017), la concentración de carbonatos en aguas naturales es una función del dióxido de carbono disuelto, temperatura, *pH*, cationes y otras sales disueltas. Valores media de cloruro Cl^- 146.037 mg L^{-1} , estos valores no exceden los estándares nacionales e internacionales. El cloruro en el agua subterránea puede provenir de diversas fuentes, como la meteorización, la lixiviación de rocas y suelos sedimentarios y los efluentes domésticos y municipales (Krishna Kumar, Bharani, Magesh, Godson, & Chandrasekar, 2014).

Tabla 2.
Resumen estadístico de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca

Parámetros	Unidad	Diciembre 2015				Estándares Nacionales		Estándares Internacionales	
		Mínimo	Máximo	Media	Mediana	DIGESA (2011)	MINAM (2017)	OMS (2011)	BANGLADESH (2017)
<i>pH</i>	—	7.07	7,9	7.595	7.62	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	6.5 – 8.6	6.5 – 8.5
CE	μ S cm^{-1}	305.38	2254.2	1238.539	1298.735	1500	1500	1500	1000
turbiedad	NTU	2.00	18.0	5.250	4.5	5	5	5	—
CaCO_3	mg L^{-1}	119.20	818,4	454.692	422.305	500	500	500	—
Ca^{2+}	mg L^{-1}	29.52	215.0	115.659	101.39	75	—	75	75
Mg^{2+}	mg L^{-1}	2.78	77.4	33.383	29.635	125	—	125 - 500	30 - 35
SO_4^{2-}	mg L^{-1}	4.00	143.9	80.981	91.815	250	250	250	—
Cl^-	mg L^{-1}	39.94	267.6	146.037	145.775	250	250	250	—

Conclusiones

Las aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca, en las zonas urbano marginales se encuentra contaminada con arsénico, con una media de 73.5 $\mu\text{g L}^{-1}$ este valor excede los estándares nacionales e internacionales de 10 $\mu\text{g L}^{-1}$ de As en agua.

Las aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca son consideradas no aptas para consumo humano, por contener altas contracciones de As, que en lo posterior pueden traer consecuencias graves y efectos adversos en la salud de los pobladores que las consumen diariamente. Se requiere una atención inmediata por las autoridades locales.

Referencias bibliográficas

- Andrade, A. I. A. S. S., & Stigter, T. Y. (2013). The distribution of arsenic in shallow alluvial groundwater under agricultural land in central Portugal: Insights from multivariate geostatistical modeling. *Science of The Total Environment*, 449, 37–51. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.033>
- Bhowmick, S., Nath, B., Haider, D., Biswas, A., Majumder, S., Mondal, P., ... Chatterjee, D. (2013). Arsenic mobilization in the aquifers of three physiographic settings of West Bengal, India: Understanding geogenic and anthropogenic influences. *Journal of Hazardous Materials*, 262, 915–923. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.07.014>
- Chakraborti, D., Rahman, M. M., Ahamed, S., Dutta, R. N., Pati, S., & Mukherjee, S. C. (2016). Arsenic groundwater contamination and its health effects in Patna district (capital of Bihar) in the middle Ganga plain, India. *Chemosphere*, 152, 520–529. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.02.119>
- Charlet, L., Chakraborty, S., Appelo, C. A. J., Roman-Ross, G., Nath, B., Ansari, A. A., ... Mallik, S. B. (2007). Chemodynamics of an arsenic "hotspot" in a West Bengal aquifer: A field and reactive transport modeling study. *Applied Geochemistry*, 22(7), 1273–1292. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2006.12.022>
- Chauhan, V. S., Nickson, R. T., Chauhan, D., Iyengar, L., & Sankaramakrishnan, N. (2009). Ground water geochemistry of Ballia district, Uttar Pradesh, India and mechanism of arsenic release. *Chemosphere*, 75(1), 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.11.065>
- Choong, T. S. Y., Chuah, T. G., Robiah, Y., Gregory Koay, F. L., & Azni, I. (2007). Arsenic toxicity, health hazards and removal techniques from water: an overview. *Desalination*, 217(1–3), 139–166. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.015>
- de Meyer, C. M. C., Rodríguez, J. M., Carpio, E. A., García, P. A., Stengel, C., & Berg, M. (2017). Arsenic, manganese and aluminum contamination in groundwater resources of Western Amazonia (Peru). *Science of The Total Environment*, 607–608, 1437–1450. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.059>
- Devic, G., Djordjevic, D., & Sakan, S. (2014). Natural and anthropogenic factors affecting the groundwater quality in Serbia. *Science of The Total Environment*, 468–469, 933–942. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.011>
- George, C. M., Sima, L., Arias, M. H. J., Mihalic, J., Cabrera, L. Z., Danz, D., ... Gilman, R. H. (2014). Arsenic exposure in drinking water: an unrecognized health threat in Peru. *Bulletin of the World Health Organization*, 92(8), 565–572. <https://doi.org/10.2471/BLT.13.128496>
- Güler, C., Kurt, M. A., Alpaslan, M., & Akbulut, C. (2012). Assessment of the impact of anthropogenic activities on the groundwater hydrology and chemistry in Tarsus coastal plain (Mersin, SE Turkey) using fuzzy clustering, multivariate statistics and GIS techniques. *Journal of Hydrology*, 414–415, 435–451. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.021>
- Hundal, H. S., Kumar, R., Singh, K., & Singh, D. (2007). Occurrence and Geochemistry of Arsenic in Groundwater of Punjab, Northwest India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38(17–18), 2257–2277. <https://doi.org/10.1080/00103620701588312>
- Kaur, T., Bhardwaj, R., & Arora, S. (2017). Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes using hydrochemical studies in Malwa region, southwestern part of Punjab, India. *Applied Water Science*, 7(6), 3301–3316. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0476-2>
- Krishna Kumar, S., Bharani, R., Magesh, N. S., Godson, P. S., & Chandrasekar, N. (2014). Hydrogeochemistry and groundwater quality appraisal of part of south Chennai coastal aquifers, Tamil Nadu, India using WQI and fuzzy logic method. *Applied Water Science*, 4(4), 341–350. <https://doi.org/10.1007/s13201-013-0148-4>
- Krishna Kumar, S., Hari Babu, S., Eswar Rao, P., Selvakumar, S., Thivya, C., Muralidharan, S., & Jeyabal, G. (2017). Evaluation of water quality and hydrogeochemistry of surface and groundwater, Tiruvallur District, Tamil Nadu, India. *Applied Water Science*, 7(5), 2533–2544. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0447-7>
- Kumar, P. J. S. (2014). Evolution of groundwater chemistry in and around Vaniyambadi Industrial Area: Differentiating the natural and anthropogenic sources of contamination. *Geochemistry*, 74(4), 641–651. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2014.02.002>
- Kumar, P., Kumar, M., Ramanathan, A. L., & Tsujimura, M. (2010). Tracing the factors responsible for arsenic enrichment in groundwater of the middle Gangetic Plain, India: a source identification perspective. *Environmental Geochemistry and Health*, 32(2), 129–146. <https://doi.org/10.1007/s10653-009-9270-5>
- Mohora, E., Rončević, S., Agbaba, J., Tubić, A., Mitić, M., Klačnja, M., & Dalmacija, B. (2014). Removal of arsenic from groundwater rich in natural organic matter (NOM) by continuous electrocoagulation/flocculation (ECF). *Separation and Purification Technology*, 136, 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.09.006>
- Möller, T., Sylvester, P., Shepard, D., & Morassi, E. (2009). Arsenic in groundwater in New England — point-of-entry and point-of-use treatment of private wells. *Desalination*, 243(1–3), 293–304. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.016>
- Paul, D., Kazy, S. K., Banerjee, T. Das, Gupta, A. K., Pal, T., & Sar, P. (2015). Arsenic biotransformation and release by bacteria indigenous to arsenic contaminated groundwater. *Bioresource Technology*, 188, 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.02.039>

- Rahman, M. M., Dong, Z., & Naidu, R. (2015). Concentrations of arsenic and other elements in groundwater of Bangladesh and West Bengal, India: Potential cancer risk. *Chemosphere*, 139, 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.05.051>
- Smedley, P. ., & Kinniburgh, D. . (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17(5), 517–568. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00018-5)
- WHO. (2008). *Guidelines for Drinking-Water Quality* (3ra. Ed.). Geneva, Switzerland: World Health Organization. Recuperado de https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf
- WHO. (2011). *Guidelines for Drinking-Water Quality* (4ta. Ed.). Geneva, Switzerland: World Health Organization. Recuperado de <https://apublica.org/wp-content/uploads/2014/03/Guidelines-OMS-2011.pdf>
- Yadav, I. C., Devi, N. L., & Singh, S. (2015). Reductive dissolution of iron-oxyhydroxides directs groundwater arsenic mobilization in the upstream of Ganges River basin, Nepal. *Journal of Geochemical Exploration*, 148, 150–160. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.09.002>
- Zhang, Z., Wang, J. J., Ali, A., & DeLaune, R. D. (2016). Heavy metal distribution and water quality characterization of water bodies in Louisiana's Lake Pontchartrain Basin, USA. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(11), 628. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5639-y>

Agradecimientos

El autor expresa agradecimientos a LAS – Arequipa, Franz Zirena Vilca por la sugerencia en la redacción del manuscrito, a los estudiantes de la UNAJ: German Peralta Jullire y Reyder Sucapuca Mamani.