

CONTAMINACIÓN NATURAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS POR ARSÉNICO EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO CALLACAME, DESAGUADERO, PUNO

Apaza Campos Rolando. 1, Calcina Benique Miguel .1

(¹) Escuela Profesional de Ingeniería Geológica –UNAP, Puno. Av. Sesquicentenario s/n.; rocampos@usp.br, miguel.calcina@unap.edu.pe

RESUMEN

La presencia de arsénico en aguas subterráneas en una amplia zona de la cuenca baja del río Callacame, es un problema que pone en peligro la salud de las poblaciones rurales que habitan en toda la cuenca baja, siendo que se abastecen de aguas subterráneas para su consumo; las concentraciones de arsénico se encuentran por encima de los límites aceptables considerados por la USEPA y normas nacionales de 0.01mg/L. No obstante el buen potencial de aguas subterráneas del acuífero libre Y confinado, sin embargo la mala calidad fisicoquímica y organoléptica limita su uso para consumo humano por el alto contenido de sales disueltas en el acuífero libre y presencia de arsénico, gases de CO₂ y otros compuestos en el acuífero confinado que producen un sabor desagradable. Respecto a la procedencia de arsénico, no se ha determinado la fuente de donde proviene, sin embargo puede estar vinculado a la zona de las nacientes de la cuenca del río Callacame conformado por terrenos volcánicos de la Cordillera Occidental de los Andes, donde el arsénico está presente en diferentes especies de minerales, éstas al ser meteorizadas y lixiviadas son transportadas por flujos de agua superficial y subterránea sean en condiciones anóxicas u oxidantes. Se descarta posibilidades de una contaminación inducida por fuentes industriales u otros en el entorno de la zona investigada en razón de la ausencia de actividad minera local o próxima en las zonas de estudio.

INTRODUCCIÓN

Estudios hidrogeológicos realizados por Apaza (2009) en la parte baja de la cuenca del río Callacame en una extensión de 177 Km², y evaluación de Arsénico por la fundación Chijinaya con Suma Marca en el año 2009 y por EWB – UCB en 2012, dan cuenta de la presencia de arsénico hasta 0.5 mg/L (Engineer Without Borders USA. 2011).

El abastecimiento de agua para consumo doméstico de numerosas comunidades y sectores asentadas en la cuenca baja del río Callacame, se realiza mediante pozos artesanales de precaria condición constructiva y profundidades diferentes; ante la carencia de fuentes de agua de buena calidad, los habitantes dependen de las únicas fuentes disponibles en la zona; están expuestos a la ingesta de arsénico inorgánico en aguas de consumo en concentraciones superiores a 0.01mg/L que establece las normas nacionales (Ministerio de Salud 2011), condiciones que pone en riesgo la salud de los usuarios de una población aproximada de 2319 habitantes. (Padrón de comunidades del año 2010 de la Municipalidad distrital de Desaguadero)

En América Latina la presencia de arsénico en el ambiente y específicamente en las fuentes de agua para consumo humano se debe tanto a factores naturales de origen geológico en países como México, Argentina, Chile y Perú, como también a la explotación minera y refinación de metales por fundición en Chile, Bolivia y Perú (Sancha A.M. *et al.* 1998 IN: OPS/CEPIS, 2004). El arsénico es un elemento ampliamente distribuido en las formaciones geológicas se presenta formando sulfuros como FeAsS (arsenopirita) mineral muy común (WHO, 2001), La As₄S₄ (rejalgar) y As₄S₆ (oropimente) son los minerales más importantes que contienen azufre. (Lenntech, 2007).

Altas concentraciones de arsénico en aguas de bebida han sido reportadas en la costa sur del Perú, cuya población depende de las aguas provenientes de la Cordillera Occidental de los Andes, entre ellas, varias localidades del departamento de Tacna dan cuenta del problema. El proyecto Especial Tacna PET reporta concentraciones altas en las aguas de la laguna Casiri, Paucarani, Condorpuquio y los pozos de Ayro entre 0,07 a 0,12 mg/L de arsénico (DIGESA, 1999 y DIGESA, 2001). En Moquegua, el río Locumba con concentraciones de 0,5 mg/L (Castro de Esparza, 1989), evaluaciones recientes del año 2002 dan cuenta entre 0,4 a 0,2 mg/L (Castro de Esparza, 2004), así mismo el agua de abastecimiento de la ciudad de Ilo proveniente de la laguna de Aricota, OPS/CEPIS, (2004). En Arequipa las aguas del río Tambo presentan contaminación por arsénico, boro, manganeso (Rev.

Región Sur. La República 2014) y en el departamento de Puno aunque no se especifica el lugar, se conoce presencia de arsénico en pozos hasta de 0,18 mg/L OPS/CEPIS, (2004). A nivel mundial, casos de contaminación por arsénico más extendido se conoce de una amplia región que abarca partes de Bengala Occidental y Bangladesh (Das et al 1996; Smedley y Kinniburgh 2002; Kinniburgh et al 2002 In: Ondra, S. *et al.* 2004).

La movilidad del arsénico están controlados fundamentalmente por las condiciones redox Eh – pH y las condiciones del ambiente en que se encuentran (Moreno, M. 2003). Tanto el As^{+5} como el As^{+3} son móviles en el medio, aunque este último es el estado más móvil y de mayor toxicidad (Litter, M. *et al.*, 2008). Por tanto, la presencia de arsénico en aguas subterráneas puede estar relacionada a dos mecanismos de movilidad y transporte. Los ambientes reductores como son los acuíferos confinados permiten el transporte de arsénico en la forma de arsenito (As^{+3}) y ambientes oxidantes propios de acuíferos libres transportan en la forma de Arsenato (As^{+5}) donde el oxígeno disuelto está presente en concentraciones considerables debido a la poca profundidad de la superficie freática.

Según los fundamentos teóricos expuestos, se ha desarrollado el presente trabajo con el objetivo de dimensionar la ocurrencia de arsénico en aguas subterráneas de la cuenca baja del río Callacame frontera con Bolivia, para lo cual se ha caracterizado las condiciones hidrogeológicas de la zonas investigadas, configuración de los acuíferos, profundidad del nivel agua, dirección de flujo, evaluación de calidad de las agua con énfasis en los parámetros de arsénico, oxígeno disuelto, hierro total disuelto, pH, conductividad eléctrica y dureza.

MATERIALES Y MÉTODOS

La cuenca del Río Callacame afluente del río Desaguadero está localizada al sur de la ciudad de Puno en el Distrito de Desaguadero frontera con Bolivia, pertenece a la Provincia de Chucuito. (Fig. 1)

La geología de la cuenca baja del río Callacame está conformada por dos formaciones acuíferas de tipo libre y confinado, las cuales se encuentran emplazadas en depósitos aluviales recientes, y limitados por afloramientos del Grupos Barroso y Puno, Formaciones Capillune y Maure.

En la cuenca baja, se inventariaron las fuentes de captación de agua subterránea en una extensión de 177 Km² abarcando las comunidades campesinas de Santa cruz de Airihuas, Collpacotaña, y Carancas, cubriendo con levantamiento de información detallada los sectores con problema de la mala calidad de aguas. En esta zona se identificaron dos tipos de acuíferos según las infraestructuras de captación: *Captaciones de aguas de acuífero libre*, se registraron 35 pozos artesanales, de profundidades que varían entre 2.70 m hasta 8.80 m; *Captaciones de aguas de acuífero confinado*, fueron inventariadas 14 pozos tubulares profundos de diámetro de dos pulgadas, son de naturaleza surgente; las captaciones fueron construidos en los años 2005 y 2006, técnicamente son rudimentarias, la cual viene produciendo mezclas de agua de diferente calidad entre acuíferos.

Los trabajos de levantamiento de información se realizaron a escala 1:25000, con apoyo de GPS, instrumentos digitales de medición de parámetros físicos HANNA HI-8424.

RESULTADOS

CONTENIDO DE As EN AGUAS SUBTERRÁNEAS

Los muestreos realizados corresponden a captaciones emplazados en acuífero libre y acuífero confinado; de 12 pozos de acuífero libre, en 7 de ellas presentan concentraciones de arsénico entre 0.01 mg/L a 0.05 mg/L, en 5 pozos las concentraciones de arsénico son inferiores a 0.01 mg/L; las referidas captaciones presentan profundidades entre 3.82 m a 6.40 m. Las captaciones emplazadas en acuífero confinado, son de tipo surgente; los muestreos corresponden a 8 pozos de diámetro de dos pulgadas, tienen profundidades entre 30.00 m. a 45.00 m; en 6 captaciones el arsénico está presente en concentraciones entre 0.1 mg/L a 0.5 mg/L, y en 2 captaciones las concentraciones son inferiores a los estándares de aguas de consumo. En el cuadro N° 01 se presenta el resumen de datos de muestreo.

En cuanto a oxígeno disuelto y hierro total, en el cuadro N° 2 se presenta un resumen de datos de los acuíferos evaluados según niveles de concentración.

EVALUACIÓN DE CALIDAD DE LAS AGUAS

Así mismo se realizó evaluación de parámetros físicos de las fuentes inventariadas en los meses de enero y febrero de 2012. La Cuenca baja del río Callacame posee buena disponibilidad de aguas subterráneas presentes en acuífero libre, pero son de mala calidad fisicoquímica, debido a los niveles

altos de sales disueltas en las aguas, cuyos valores de conductividad eléctrica en varios pozos, sobre pasan los 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como se aprecia en el cuadro N° 03. En época de estiaje, las concentraciones sobrepasan los 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En profundidad el acuífero confinado, no obstante que presenta buena oferta de aguas subterráneas, la mala calidad fisicoquímica como organoléptica debido a la presencia de gases de CO_2 , arsénico y otros compuestos transportados por el agua, limita su capacidad de uso.

Cuadro1: Correlación de número de pozos por formación hidrogeológica y concentración de arsénico

Localidad	Formación hidrogeológica/N° de captaciones	Concentración de Arsénico Aproximada (mg/L)						
		0	0 - 0.01	0.01-0.025	0.025-0.05	0.05-0.1	0.1-0.025	0.025-0.5
Desaguadero Huanucollo Carancas	Acuífero confinado / N° de pozos	0	2	0	0	0	1	5
	Acuífero libre / N° de pozos	1	4	3	4	0	0	0

Fuente: Engineer Without Borders 2012

Cuadro2: Resultados de evaluación de oxígeno disuelto y Hierro total.

Desaguadero Huanucollo Carancas	Oxígeno Disuelto OD en acuífero confinado (mg/L)	En 4 pozos Menor a 1 mg/L y en 1 pozo 1.71 mg/l			
	Rangos de Fe total (mg/L) *	0 a 0.1 mg/L	0.1 -0.2 mg/L	0.2 -0.3 mg/L	> 0.3 mg/L
	N° de pozos según rangos de Fe ACUIFERO LIBRE	6	5	1	
	N° de pozos según rangos de Fe ACUIFERO CONFINADO	2	0	2	7

Cuadro 3: Evaluación de Conductividad Eléctrica del acuífero libre – zona de Carancas.

CE $\mu\text{S}/\text{cm}$	Número de pozos				Total
	Huanucollo	Irpa Circaya	Centro Circaya	Llacasilla y Patani	
0 -250	0	0	0	1	1
250 - 750	0	3	4	5	12
750 - 1500	2	8	2	2	14
>1500	4	3	1	0	8

Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN

La figura N° 2 muestra correlación de arsénico en función de oxígeno disuelto, donde se observa que a valores bajos de oxígeno disuelto se presentan altas concentraciones de arsénico, evidenciando condiciones de ambiente reductor del acuífero confinado; así mismo se estableció una correlación entre hierro disuelto y arsénico como se muestra en la figura N° 3, donde se observa que los valores altos de arsénico provenientes de acuífero confinado están acompañados de niveles altos de hierro disuelto, la cual es concordante con la hipótesis de condiciones reductoras del acuífero confinado. En éstas condiciones según Calvo-Revuelta *et al.* (2003), el arsénico presente en el agua, es liberado de los óxidos de hierro cuando las condiciones del medio son reductoras. El proceso empieza con el consumo de oxígeno y el aumento de CO_2 disuelto procedente de la descomposición de la materia orgánica. Después, los nitratos se reducen a nitritos. Los hidróxidos de hierro se solubilizan como Fe^{2+} . Los sulfatos se reducen a sulfuros que al reaccionar con el hierro disponible formando FeS y piritita (FeS_2). La reducción del (As^{+5}) se supone que tiene lugar después de la reducción del hierro, pero antes de la formación de sulfuros. Cuando los hidróxidos de hierro se solubilizan, el nivel de este elemento en agua aumenta drásticamente desde niveles inferiores a 0,10 mg/L hasta 30 mg/L. Las planicies de la zona de estudio está compuesto por arenas y limos de color rojizo con alto contenido de óxido de hierro. Así mismo, las aguas de acuífero confinado presentan contenidos de óxidos de hierro transportando el arsénico en la forma de As^{+3} .

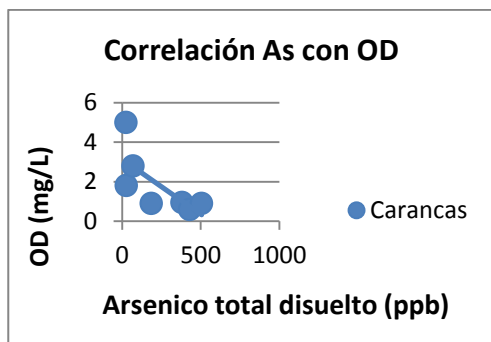


Figura 2. Arsénico disuelto total en relación con Oxígeno disuelto

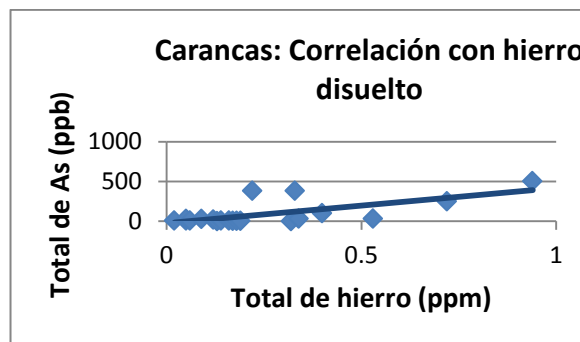


Figura 3: Relación de Arsénico en función de Hierro total disuelto.

Fte: Engineer Without Borders USA (2011).

CONCLUSIONES

- Según los indicadores analizados e interpretados en función de las condiciones hidrogeológicas de la cuenca baja del río Callacame, la movilidad de arsénico en aguas subterráneas está relacionado a un ambiente reductor del acuífero confinado, muestra que a valores bajos de oxígeno disuelto (menores a 1 mg/L) se presentan altas concentraciones de arsénico hasta de 0.5mg/L evidenciando condiciones de ambiente reductor; los valores altos de arsénico están acompañados de niveles altos de hierro disuelto mayores a 0.3mg/L.
- En la zona de estudio están presentes en dos formaciones acuíferas: el acuífero libre con buena disponibilidad de aguas subterráneas, pero de mala calidad fisicoquímica, por los niveles altos de sales disueltas que sobre pasan los 1500 μ s/cm y bajo contenido de arsénico menor a 0,05 mg/l. en profundidad se presenta el acuífero confinado con aguas de mala calidad fisicoquímica y organoléptica con sabor y olor desagradable portadora de arsénico en concentraciones entre 0.1 a 0.5 mg/l.

REFERENCIAS

1. Apaza, R. 2009. Estudio hidrogeológico para la captación de aguas subterráneas en la zona de Huata, Puno (Informe técnico) 56 p.
2. Calvo-Revuelta, C., Alvarez- Bendi,J., Anadrade benitez,M., Marinero Diaz. P., Bolado Rodriguez,S. (2003). Contaminación con Arsénico en aguas subterráneas en la provincia de Valladolid; variaciones estacionales. Estudio de la zona no saturada del suelo, VI, 91-98.
3. Castro de Esparza, M. L. (2004). *Presencia de arsénico en el agua de bebida en America Latina y su efecto en la salud Publica*. Lima, Perú. CEPIS/OPS. Hoja de divulgación técnica HDT N° 95. 12 p [en línea]. Última. [Visitado en: Abril 2014]. Organizacion Panamericana de la Salud (OPS), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS/OPS. URL: <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/hdt/hdt95/hdt95.pdf>.
4. Castro de Esparza, M. L. (1998). Abatimiento de arénico en aguas subterráneas para zonas rurales. XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería sanitaria y ambiental. Lima 1998.
5. CIP TACNA 2013.- Conclusiones del Forum Técnico "Calidad del Agua de Consumo Poblacional". 15
6. DIGESA 1999, 2001. Resultados de análisis realizados a las muestras del río Sama y confluencias. 19 y 20 de agosto de 1999; interpretación de resultados DIRSA Tacna, mayo 2001
7. Engineer Without Borders USA. (2011). Documento 523 - Informe de Análisis de alternativas Sección Estudiantil UC Berkeley, Huatta y Carancas, Perú. Tratamiento de arsénico del Agua subterránea en el Altiplano, Perú. Rev 09-2011. 40p.
8. Lenntech, R. (2007). Arsénico, propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente. Holanda. Accesado: 17-03-2014. <http://www.lenntech.com/espanol.htm>.
9. Litter, M.; A. Pérez; M. Morgada; O. Ramos; J. Quintanilla, & A. Fernández. (2008). *Capitulo 2. Formas presentes de arsénico en agua y suelo*. En: Distribución del Arsénico en las Regiones Ibérica e Iberoamericana IBEROARSEN. CYTED ed.
10. Ministerio de Salud Perú (2011). Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano. DS N° 031-2010-SA. 44p.
11. Ondra Sracek, Prosun Bhattacharya, Gunnar Jacks, Jon Peter Gustafsson, Matthias von Bromsen, 2004. Behavior of arsenic and geochemical modeling of arsenic contamination. Vol 19 pp 169-180. Applied Geochemistry/pii /S0883292703001744 Accesado 20-12-13

12. OPS/CEPIS/05/134 (LAB) (2004) Anexo 10 Estudio Sobre arsénico en el agua de bebida en América Latina y Aspectos de Salud. 75- 91pag.

