

CONTAMINACIÓN NATURAL DE AGUAS SUBTERRANEAS POR ARSÉNICO EN LA ZONA DE CARANCAS Y HUATA, PUNO.

Rolando Apaza Campos; Miguel Elías Calcina Benique

Docentes Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional del Altiplano Puno - Perú.

INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Art. Recibido 02 de abril 2014
Art. Aceptado 20 de junio 2014
Publicado: 30 Junio del 2014

PALABRAS CLAVE:

* Contaminación
* subterráneos
* arsénico
* Agua
* Huata
* Carancas
* Puno

ARTICLE INFO

Article Received April 2, 2014
Article Accepted June 20, 2014
Published: June 30, 2014

KEY WORDS:

* Contamination
* underground
* arsenic water
* Carancas
* Huata Puno

RESUMEN

El artículo presenta la interpretación del problema de contaminación natural por arsénico en aguas subterráneas de las localidades de Carancas y Huata en el departamento de Puno. La ingesta prolongada de arsénico en aguas de consumo, pone en riesgo la salud de las poblaciones rurales que habitan en las referidas localidades. Las únicas fuentes disponibles de abastecimiento son las aguas subterráneas, estas son de mala calidad por el alto contenido de sales disueltas en Carancas, y aguas de alta dureza en la zona de Huata. Las concentraciones de arsénico en las zonas evaluadas alcanzan hasta 500 $\mu\text{g/L}$ por encima de los límites aceptables considerados por la USEPA y normas nacionales de 10 $\mu\text{g/L}$. En la zona de Carancas, las aguas subterráneas de acuíferos confinados presentan concentraciones de arsénico por encima de 10 $\mu\text{g/L}$, cuya ocurrencia y mecanismo de transporte se atribuye a condiciones reductoras. Mientras que en la localidad de Huata el arsénico se presenta en aguas subterráneas poco profundas de acuífero libre, cuya ocurrencia y mecanismo de transporte se atribuye a condiciones oxidantes. Respecto a la procedencia de arsénico, no se ha determinado la fuente de donde proviene, sin embargo puede estar vinculado a los 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 subterráneas sean en condiciones anóxicas u oxidantes. Se descarta posibilidades de una contaminación inducida por fuentes industriales u otro entorno de las áreas evaluadas en razón de la ausencia de actividad minera local o próxima en las zonas de estudio.

NATURAL CONTAMINATION WITH ARSENIC OF UNDERGROUND WATER IN CARANCAS AND HUATA IN PUNO REGION.

ABSTRACT

This paper presents an interpretation of natural Arsenic contamination of groundwater in the localities of Carancas and Huata in the department of Puno. Prolonged consumption of arsenic in drinking water is a health hazard for rural populations of the above-mentioned places. The only available local water sources are groundwater of poor quality because of the high content of dissolved salts in Carancas and very hard waters in Huata. Arsenic concentrations in the evaluated areas reach up to 500 $\mu\text{g/L}$ above the limits considered acceptable by the United States E.P.A and national Peruvian standards of 10 $\mu\text{g/L}$. In the Carancas area, underground water from confined aquifers has arsenic concentrations above 10 $\mu\text{g/L}$, occurrence and transport is attributed to conditions of reduction. In the community of Huata, arsenic is present in shallow groundwater from a free aquifer, whose occurrence and transport mechanism is associated with oxidizing conditions. The source of the Arsenic in groundwater is unknown, though it may be related to the geological conditions of the Western Cordillera of the Andes, where the lands are predominantly volcanic, and contain a varied mineralogy, including Arsenic. These minerals are carried by rains or leached by rivers, transported by superficial or groundwater by anoxic or oxidizing conditions. The possibility of contamination from industrial sources such as mining is discarded due to the absence of mining or other industries nearby the studied localities.

INTRODUCCION

El abastecimiento de agua para consumo doméstico en una amplia zona de las localidades de Huata y Carancas se realiza mediante pozos artesanales de diferente profundidad y de precaria condición constructiva. Las comunidades integrantes de las referidas localidades dependen de las únicas fuentes disponibles en el medio, están expuestos a la ingesta prolongada de arsénico inorgánico en aguas de consumo, en concentraciones superiores a 10ig/L que establece las normas nacionales (Ministerio de Salud 2011), condiciones que pone en riesgo la salud de los usuarios.

El arsénico es un elemento ampliamente distribuido en las formaciones geológicas se presenta formando sulfuros como FeAsS (arsenopirita), los arseniados y tioarseniados naturales son minerales muy comunes (WHO, 2001); los arseniuros metálicos como minerales FeAs₂ (loellingita), NiAs (nicolita), CoAsS (cobaltita), NiAsS (gersdorffita), As₄S₄ (rejalgar) y As₂S₆ (oropimente) son los minerales más importantes que contienen azufre. (Lenntech, Rivera, 2007).

Investigaciones sobre el tema, dan cuenta de la presencia de altos niveles de arsénico en aguas, suelos y cultivos en muchas regiones del mundo, que amenaza la salud humana (Kahlow et al., 2002, Farooqi et al., 2007, Carbonell-Barrachina et al., 2009). La exposición aguda o crónica de compuestos con arsénico puede dar lugar a distintos tipos de toxicidad (Goyer, R., 1991 In: *Casarett and Doull's*). El arsénico presente en aguas superficiales (ríos, lagos, embalses) y subterráneas (acuíferos) con frecuencia son utilizados como fuentes de abastecimiento para consumo humano, éstas se han convertido en una gran amenaza para la salud pública. La OMS, la USEPA establece como límite del contenido de arsénico en agua de consumo de 10(ig/L).

Estudios realizados por Apaza (2009), y evaluación de Arsénico por la fundación Chijinaya con Suma Marca en el año 2009 y por EWB – UCB en 2012, en las localidades de Huata y Carancas, reportan la presencia de arsénico hasta 500 ig/L (Engineer Without Borders USA. 2011). El problema de arsénico en la zona sur del Perú afecta una grande región. 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 70 a 120 ig/L de arsénico (DIGESA, 1999 y DIGESA, 2001). En Moquegua, el río Locumba con concentraciones de 500 ig/L (Castro de Esparza, 1998), evaluaciones recientes del año 2002 dan cuenta entre 400 a 200 ig/L (Castro de Esparza, 2006), 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 180 ig/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: Sracek, O. et al 2004).

El arsénico en las fuentes naturales suele encontrarse en las formas de oxidación +5 (arsenato) y forma reducida +3 (arsenito). En aguas superficiales con alto contenido de oxígeno, la especie más común es el arsénico pentavalente o arsenato (As⁺⁵). Bajo condiciones de reducción, generalmente en los sedimentos de los lagos o aguas subterráneas se presenta en la forma de arsénico trivalente o arsenito (As⁺³). En aguas naturales con pH entre 5 a 9, el arsenito se encuentra en solución como H₃AsO₃, H₂AsO₃, H₂AsO₄⁻ y H₂AsO₄⁻². El arsenato se encuentra en forma estable en aguas con altos niveles de oxígeno como H₃AsO₄ en un rango de pH de 2 a 13. La conversión de As⁺³ a As⁺⁵ o viceversa es bastante lento. Los compuestos reducidos de As⁺³ pueden encontrarse en medios oxidados y los compuestos oxidados de As⁺⁵ en medios reducidos (Smedley y Kinniburgh, 2002; Plant et al., 2003)

La movilidad del arsénico están controlados fundamentalmente por las condiciones de redox, pH y las condiciones del ambiente en que se encuentran (Moreno, M. 2003; Galindo, G. et al, 2005). 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 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 evaluado las condiciones hidrogeológicas de la zona de Huata y Carancas, características de los acuíferos, profundidad del nivel agua, dirección de flujo, evaluación de calidad de las agua (arsénico, oxígeno disuelto, hierro total disuelto, pH, conductividad eléctrica y dureza) con la finalidad de dimensionar la magnitud del problema.

MATERIALES Y METODOS

Carancas.- Está localizada al sur de la ciudad de Puno (frontera con Bolivia), pertenece a la jurisdicción del distrito de Desaguadero, provincia de Chucuito. Hidrogeológicamente la zona se encuentra sobre depósitos de la desembocadura del río Callacame. Según las exploraciones en la zona se encuentran dos acuíferos de características siguientes:

El acuífero libre.- Esta formación se presenta de un espesor que varía entre de 12 a 15 m, compuesto por una secuencia de sedimentos interestratificados de arenas, limos y arcillas, con horizontes de sales. La secuencia fue reconocido mediante perforaciones de diámetro de 2 pulgadas con saca-testigos. El nivel de agua subterránea se encuentra a una profundidad media de 2.10 m y varía según topografía del terreno En la base de la formación se presenta un estrato impermeable de arcillas, siendo éste el límite del acuífero libre.

Acuífero confinado.- Por debajo de la formación del acuífero libre se presentan una capa de material impermeable de 2 a 3 m de espesor compuesto de arcillas oscuras con contenido de materia

orgánica. Este paquete de arcillas constituye la formación confinante; la secuencia de materiales del acuífero confinado profundiza desde 18 m hasta el basamento rocoso de areniscas rojas del grupo Puno que se encuentra a 50 m de profundidad. La secuencia está compuesto por una intercalación de capas gruesas de arenas, limos, gravas con intercalación de materia orgánica de color oscuro mezclados con limos y arcillas.

Huata.- Es la capital del distrito del mismo nombre, pertenece a la provincia de Puno. Los estudios de evaluación y exploración hidrogeológica se realizaron en zonas adyacentes a la localidad de Huata, abarcando las comunidades y parcialidades de: Chuculla, Jiñari, Sector Juchi, Yasin, Jucallata, Pampa Faón, Collana Segundo, Pampas de Moro, Chinchera pampa, Cercapampa, en una extensión de 24 Km². Se realizaron exploraciones directas mediante perforaciones de diámetro de 2 pulgadas con saca-testigo hasta profundidades de 8 m, determinándose limos y arcillas calcáreas de baja conductividad hidráulica, en pequeñas áreas se localizó pequeños horizontes de arenas y gravas; de manera general es incipiente la formación de acuífero en toda el área. En zona resalta afloramientos de macizos rocosos de areniscas rojas del Grupo Puno y calizas grises de la Formación Ayavacas como un conjunto de cerros aislados.

El problema de contaminación natural por arsénico en aguas subterráneas de las dos zonas de interés, se realizaron en los siguientes aspectos:

Contenido de As en Aguas subterráneas. Se presenta datos de muestreo realizado por Engineer Without Borders del año 2012: En la zona de Carancas corresponden a información de 12 pozos artesanales emplazados en el acuífero libre de diámetro 1.20 m en promedio y profundidades entre 3.82 m a 6.40 m; en el acuífero confinado de esta área están emplazados 8 pozos de tipo surgente que alcanzan entre 30.00 m. a 45.00 m de profundidad. La siguiente área evaluada es la zona de Huata, la información corresponde a 21 pozos de profundidades entre 2.87 m a 10.57 m, y diámetro de 0.96 m en promedio.

Evaluación de oxígeno disuelto se realizó mediciones con medidor multiparámetro HANNA HI9828 en 5 pozos profundos de acuífero confinado de la zona de Carancas, en cuanto a hierro total corresponden a datos de puntos de muestreo realizados por Engineer Without Borders del año 2012.

Inventario de fuentes de agua en la zona de Carancas. Se inventariaron las fuentes de captación de agua subterránea existentes en la jurisdicción de la comunidad de Carancas como son: Sector de Huanucollo, Irpa Circaya, Centro Circaya, Llacasila y Patani. En la zona de la delta del río Callacame, se identificaron dos formaciones acuíferas; en cada una de ellas existen numerosas captaciones que fueron inventariadas:

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 2 pulgadas de diámetro, son de naturaleza surgente, extraen agua de acuífero confinado. Según información de los usuarios, éstas captaciones fueron construidos en los años 2005 y 2006. La evaluación de los parámetros físicos (Conductividad Eléctrica, Sólidos Totales Disueltos, pH), se realizó con instrumento digital HANNA HI-8424 en los meses de enero y febrero de 2012 cuyos resultados se muestran en la Tabla N° 03.

Inventario de fuentes de agua en la zona de Huata. Se realizó inventario de fuentes de agua existentes en una extensión de 24 Km², abarcando las comunidades de Chuculla, Jiñari, Sector Juchi, Yasin, Jucallata, Pampa Faón, Collana Segundo, Pampas de Moro, Chinchera pampa, Cercapampa, cubriendo los alrededores de la localidad de Huata. Se registró 53 pozos de profundidades entre 2.87 m a 10.57 m emplazados en sedimentos lacustres de la formación Azángaro y depósitos recientes formados por secuencia de limos, limos arcillosos intercalados con horizontes de arena fina. En los meses de marzo y abril del año 2009 se realizó evaluación in-situ de parámetros físicos de calidad de agua en todas las fuentes inventariadas. Los resultados se muestran en el Tabla N° 03; en cuanto a la evaluación de oxígeno disuelto, hierro total disuelto, dureza se determinó en pozos seleccionados, en número reducidos como se muestra en la Tabla 03

RESULTADOS

En la tabla N° 01 se presentan el resumen de datos de muestreo de las zonas de interés de estudio. En la zona de Carancas los muestreos corresponden a pozos emplazados en acuífero libre y acuífero confinado; de 12 pozos de acuífero libre, en 7 de ellas presentan concentraciones de arsénico entre 10 ig/L a 50 ig/L. Siendo que el estándar aceptable para aguas de consumo es de 10 ig/L, en 5 pozos las concentraciones de arsénico son inferiores a 10 ig/L; estas captaciones presentan profundidades variables 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 2 pulgadas de diámetro, y profundidades que alcanzan entre 30.00 m. a 45.00 m; en 6 captaciones el arsénico está presente en concentraciones entre 100 ig/L a 500 ig/L y en 2 captaciones las concentraciones son inferiores a los estándares de aguas de consumo.

En la zona de Huata, de 21 pozos muestreados, en 13 pozos de ellos presentan concentraciones de arsénico en un rango entre 10 ig/L a 250 ig/L, y en 8 pozos las concentraciones son inferiores al estándar aceptable; las características de los pozos muestreados, tienen profundidades entre 1.48 m a 12.00 m.

En cuanto a oxígeno disuelto y hierro total, en la Tabla N° 2 se presenta un resumen de datos de los acuíferos evaluados según niveles de concentración, y en la Tabla N°3 se presentan resultados de mediciones de parámetros físicos de calidad de las aguas.

Tabla 01: Correlación de número de pozos por zona de estudio en función de rangos de concentración de arsénico

Localidad	Formación hidrogeológica	Concentración de Arsénico Aproximada (µg/L)						
		0	0-10	10-25	25-50	50-100	100-250	250-500
Carancas	Pozo en acuífero libre	1	4	3	4	0	0	0
	Pozos en acuífero confinado	0	2	0	0	0	1	5
Huata	Pozo superficial	4	4	7	3	2	1	0

Fuente: Engineer Without Borders 2012

Tabla 02: Resultados de evaluación de Oxígeno disuelto y Hierro Total

Zona de	Oxígeno Disuelto OD en acuífero confinado (mg/L)	En 4 pozos Menor a 1 mg/L y en 1 pozo 1.71 mg/l			
		0 a 0.1 mg/L	0.1 -0.2 mg/L	0.2 -0.3 mg/L	> 0.3 mg/L
Carancas	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
	Nº de pozos según rangos de Fe ACUIFERO LIBRE	6	5	1	
	Nº de pozos según rangos de Fe ACUIFERO CONFINADO	2	0	2	7
Huata	Rangos de Oxígeno Disuelto OD (mg/L) **	0 - 2 mg/L	2 a 4 mg/L	4 a 6 mg/L	> 6 mg/L
	Nº de pozos según rangos de OD de ACUIFERO LIBRE	11	5	3	2
	Rangos de Fe total (mg/L) *	0 - 0.1 mg/L	0.1 a 0. 2 mg/L	0.2 a 0. 3 mg/L	> 0.3 mg/L
	Nº de pozos según rangos de Fe ACUIFERO LIBRE	15	1	3	2

Observaciones : las evaluaciones corresponden a época de recarga marzo a abril 2009

* El contenido de (Fe) en aguas de consumo debe ser menor a 0.3 mg/L según las Normas Nacionales de Potabilidad

** El contenido de (O.D) en aguas de consumo debe e» a 6 mg/L

Fte: Elaboración propia

Tabla 03: Resultados de evaluación de parámetros físicos

Acuífero libre de	Rangos de C.E µS/cm	0 - 250 µS/cm	251 - 750 µS/cm	751 - 1500 µS/cm	> 1500 µS/cm
		Nº de pozos según rangos de C.E	01	12	12
Carancas Enero 2012	Rangos de STD mg/L	0 - 250 mg/L	251 - 500 mg/L	501 - 1000 mg/L	> 1000 mg/L
	Nº de pozos según rangos de STD	09	08	11	7
	Rangos de pH	6-7	7-8	8-9	> 9
	Nº de pozos según rangos de pH	02	19	12	02
	Rangos de C.E µS/cm	0 - 250 µS/cm	251 - 750 µS/cm	751 - 1500 µS/cm	> 1500 µS/cm
Acuífero libre Zona de Huata Marzo 2009	Nº de pozos según rangos de C.E	1	20	22	11
	Rangos de STD mg/L	0 - 250 mg/L	251 - 500 mg/L	501 - 1000 mg/L	> 1000 mg/L
	Nº de pozos según rangos de STD	10	21	16	07
	Rangos de pH	6-7	7-8	8-9	> 9
	Nº de pozos según rangos de pH	0	5	47	2

Observaciones : las evaluaciones corresponden a época de recarga, las concentraciones se incrementan en época de estiaje

Fte: Elaboración propia

DISCUSIÓN

La ocurrencia de arsénico en aguas subterráneas de las zonas evaluadas, está relacionado a dos condiciones fisicoquímicas que explican la movilidad del arsénico. En la Figura nº 1 se muestra interpretación basado en la relación de arsénico disuelto total (As) en función con el oxígeno disuelto (OD).

La correlación de datos de oxígeno disuelto (OD) y arsénico (As) en la zona de Huata (Figura Nº 1) evidencian que a valores altos de OD se presentan altas concentraciones de arsénico, esta relación

directa muestra condiciones oxidantes debido a la poca profundidad de la superficie freática donde el oxígeno disuelto está presente relativamente en mayor concentración, concordantes con los trabajos realizados por Engineer Without Borders USA.

En Carancas, las aguas provenientes de acuífero confinado muestra que a valores bajos de oxígeno disuelto se presentan altas concentraciones de arsénico (Figura Nº 1), 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 Nº 2, donde se observa que los valores

CONTAMINACIÓN NATURAL DE AGUAS SUBTERRANEAS POR ARSÉNICO EN LA ZONA DE CARANCAS Y HUATA, PUNO.

altos de arsénico provenientes de acuífero confinado están acompañados de niveles altos de hierro disuelto, la cual es concordante con la hipótesis de transporte en condiciones reductoras en acuíferos confinados como sustenta Moreno, M. (2003) y Galindo, G. *et. al.*, (2005). 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 CO₂ disuelto procedente de la descomposición de la materia orgánica. Esta condición ocurre en la zona de Carancas debido a la presencia de arcillas con alto contenido de materia orgánicas según el perfil estratigráfico determinado en los pozos. El proceso continúa con la solubilización de los hidróxidos de hierro a Fe²⁺. Los sulfatos se reducen a sulfuros que al reaccionar con el hierro disponible forman FeS y pirita (FeS₂). 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 de 100 µg/L hasta 3000 µg/L.

Otras condicionantes, las formaciones geológicas presente en la zona de la desembocadura del río Callacame muestra presencia de areniscas arcósicas rojas del Grupo Puno con alto contenido de óxidos de hierro que aflora en el lado Este de Carancas, y el perfil estratigráfico de las planicies de las zonas evaluadas están compuesto por arenas y limos de color rojizo que evidencian la presencia de óxidos de hierro; la secuencia sedimentaria muestra dos formaciones acuíferas, un acuífero libre superficial y otro acuífero confinado. Las aguas de acuífero confinado presentan contenidos de hierro y por sus características de flujo se desplazan bajo condiciones reductoras que favorecerían el transporte de arsénico en la forma de C.

Las características observadas en Huata y Carancas evidencian que el arsénico puede estar presente en ambientes oxidantes, como en ambiente reductor.

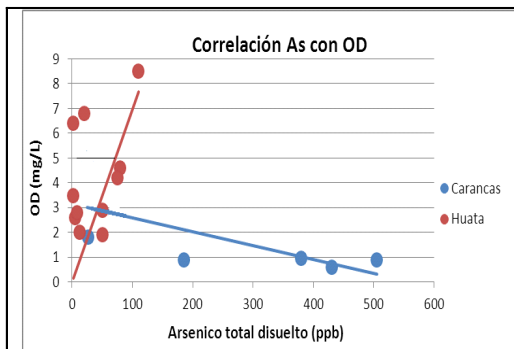


Figura 1. Arsénico disuelto total en relación con Oxígeno disuelto

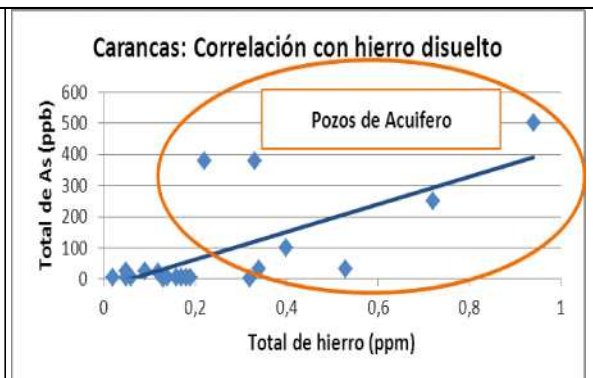


Figura 2: Relación de Arsénico en función de Hierro total disuelto.

. Fte: Engineer Without Borders USA (2011) modificado.

Entre otras teorías, la presencia de arsénico en aguas subterráneas también puede obedecer a diferentes causas y/o orígenes, que estas producen problemas de contaminación natural o provocada. Según Lillo, J. (2002) las concentraciones altas de Arsénico no se restringen a determinados condiciones o ambientes, la mayor parte de los acuíferos con contenidos altos de arsénico tienen un origen ligado a procesos geoquímicos naturales. De ser esto correcto, entonces tendríamos que indagar otros factores que controlan la movilidad del Arsénico en la zona de Carancas y Huata como condiciones geológicas locales y regionales, condiciones geoquímicas del medio, movilidad del arsénico en función de pH-Eh, capacidad de absorción/adsorción del medio, las cuales controlan la movilidad y transporte del arsénico en aguas subterráneas, investigación que permitiría determinar la procedencia y ubicación de las fuentes generadoras. El estado de oxidación del arsénico, y por tanto su movilidad, están controlados fundamentalmente por las condiciones redox y el pH (Op Cit.). En la Figura 3 y Tabla N° 04 se muestra la correlación de arsénico de acuífero confinado de Carancas con el pH respectivo, donde se evidencia que a pH mayores a 8,0 se presentan

concentraciones entre 250 µg/L a 500 µg/L de arsénico, observado en diez pozos profundos

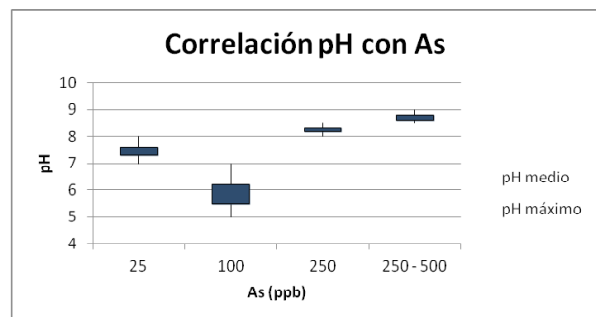


Figura 3: Correlación entre pH - As

Tabla 04: Contenido de As en pozos de acuífero confinado en función pH, Carancas

Concentración de As (µg/L)	Rangos de pH				
	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 8.5	> 8.5
25	0 Pz	0 Pz	20 Pz	0 Pz	0 Pz
100	1 Pz	3 Pz	0 Pz	0 Pz	0 Pz
250	0 Pz	0 Pz	0 Pz	7 Pz	0 Pz
250 – 500	0 Pz	0 Pz	0 Pz	0 Pz	3 Pz

Pz: Número de Pozos

Evaluación de la calidad física de las aguas - zona de Carancas.

En la zona existe buena oferta de aguas subterráneas presentes en acuífero libre, pero de mala calidad fisicoquímica en áreas específicas, debido a los niveles altos de salinidad de las aguas, cuyo valores de conductividad eléctrica en varios pozos sobre pasan los 1500 µS/cm (Tabla 05). En época de estiaje, la mayoría de las fuentes de agua de esta zona presentan valores altos de Conductividad Eléctrica que sobre pasa los 1500 µS/cm, teniendo presente que los estándares para aguas de consumo debe ser inferior a 1500 µS/cm.

La mayor demanda de agua en calidad y cantidad se presenta en época de estiaje en la jurisdicción de Carancas conformados por las Comunidades de Huanocollo, Irpa Circaya y Centro Circaya ubicados en la desembocadura del río Callacame. El acuífero confinado presente en ésta zona a pesar de la buena oferta de aguas subterráneas, la mala calidad fisicoquímica la descalifica,

debido a la presencia de gases de CO₂ y otros compuestos que emerge de los pozos profundos con un olor y sabor desagradable.

Evaluación de calidad de las aguas en la zona de Huata.- En la localidad de Huata y alrededores, predominan aguas subterráneas de mala calidad por la alta dureza, valores altos de conductividad eléctrica 1804 iS/cm a extremadamente salobres >4000 iS/cm (P-63 y P-75), éstas concentraciones se incrementan en época de estiaje. En la Tabla N°5 se presenta niveles de dureza evaluadas por Engineer Without Borders USA. En la localidad de Huata, la mayoría de las fuentes evaluadas se encuentran en la categoría de aguas «muy dura,», en 4 pozos exceden los límites detectables de 660 ppm del instrumento de medición. Solamente dos muestras se clasifican como «blando» y «moderadamente duro», en cambio los niveles de dureza en Carancas son menores como muestra la escala de valoración de dureza según normas USGS (*United States Geological Survey*)

Tabla N° 05: Resultados de evaluación de dureza de agua según normas de clasificación de la USGS.

Localidad	Clasificación USGS	Blando	Moderamente Duro	Duro	Muy Duro		
					Dureza(ppm)	0-60	61-120
Carancas	Pozos Tubular profundo	1	3	1	1	0	0
	Pozos Profundos Poco Profundos	1	4	3	3	2	0
Huata	Pozos Profundos Poco Profundos	1	1	4	3	7	4

Fuente: (Engineer Without Borders USA. 2011).

CONCLUSIONES

1.- Según los indicadores analizados e interpretados en función de las condiciones hidrogeológicas de las áreas de estudio, la movilidad de arsénico en aguas subterráneas está relacionado a dos posibles causas: En Carancas la ocurrencia de arsénico está asociado 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 500 ig/L evidenciando condiciones de ambiente reductor; así mismo los valores altos de arsénico están acompañados de niveles altos de hierro disuelto mayores a 0.3mg/L. En cambio en la zona de Huata, el arsénico está presente en un medio oxidantes debido a la poca profundidad de la superficie freática donde el oxígeno disuelto está presente en mayor concentración. La correlación de datos evidencia que en el rango de valores entre 2 a 6.85 mg/L de OD, se presentan concentraciones de arsénico entre 10 ig/L a 250 ig/L en la forma de As⁺⁵.

2.- En cuanto a la calidad de las aguas, en la zona de Carancas, no obstante la buena oferta de aguas subterráneas del acuífero libre, sin embargo son de mala calidad fisicoquímica, debido a los niveles altos de sales disueltas alcanzando valores de conductividad eléctrica que sobre pasan los 1500µS/cm en varios pozos, a esto se añade la presencia de arsénico en concentraciones en un rango de 0-50 ig/L. Así mismo, las aguas del acuífero confinado de esta zona son de mala calidad fisicoquímica, debido al sabor desagradable y presencia de gases como CO₂, a esto se añade los altos niveles de arsénico, en concentraciones entre 100 a 500ig/L. En la zona de Huata, predominan aguas subterráneas de mala calidad, la conductividad eléctrica varía en el rango entre 800iS/cm a extremadamente altos mayores a 4000 iS/cm, los niveles de dureza también son altas hasta 660 ppm. En cuanto a la ocurrencia de arsénico, predominan concentraciones en el rango 10 ig/L a 50 ig/L en 14 pozos evaluados, y en 3 pozos las concentraciones se encuentran en el rango de 50 ig/L a 250ig/L

BIBLIOGRAFIA

- Apaza, R. 2009. Estudio hidrogeológico para la captación de aguas subterráneas en la zona de Huata, Puno (Informe técnico).
- 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
- Carbonell-Barrachina, A. A., Signes-Pastor, A. J., Vazquez-Araffljo, L., Burlo, F., Sen. Gupta, B. (2009). Presence of arsenic in agricultural products from arsenic-endemic areas and strategies to reduce arsenic intake in rural villages, *Molecular Nutrition and Food Research* 53, 531- 541.
- Castro de Esparza, M. L. (2004). *Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud Pública*. Lima, Perú. CEPIS/OPS. Hoja de divulgación técnica HDT N° 95. 12 p [en línea]. Última. [Visitado en: Abril 2014]. Organización 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>.
- Castro de Esparza, M. L. (1998). Abatimiento de arsénico en aguas subterráneas para zonas rurales. XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería sanitaria y ambiental. Lima 1998.
- Das, D., Chatterjee, A., Mandal, B.K., Samanta, G., Chakra- borti, D., Chanda, B., 1995. Arsenic in ground-water in 6 districts of West Bengal, India—the biggest arsenic calamity in the world. 2. Arsenic concentration in drinking-water, hair, nails, urine, skin-scale and liver-tissue, biopsy of the affected people. *Analyst* 120, 917–924
- DIGESA (1999), Resultados de análisis realizados a las muestras del río Sama y confluencias. 19 y 20 de agosto de 1999
- DIGESA (2001), Interpretación de resultados DIRSA Tacna Las Yaras, mayo 2001
- Engineer Without Borders USA. (2011). Documento 523 - Informe de Análisis de alternativas Sección Estudiantil UC Berkeley, Huata y Carancas, Perú. Tratamiento de arsénico del Agua subterránea en el Altiplano, Perú. Rev 09-2011
- Farooqi, A., Masuda, H., Firdous, N. (2007). Toxic fluoride and arsenic contaminated water in Lahore and Kasur districts, Punjab, Pakistan and possible contaminant sources
- Galindo, G.; Fernández, J.L.; Parada, M.A.; Gimeno, D. (2005) Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento II seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea - V Congreso Hidrogeológico Argentino. Río Cuarto, 25-28 octubre 2005. Argentina 182 pp. Disponible en: http://digital.csic.es/bitstream/10261/401911/Galindo_et_al-Arsenico-2005.pdf
- Goyer, R., (1991). Toxic effects of metals, In: *Casarett and Doull's Toxicology*, 4th ed. Amdur, M.O., J.D. Doull and C.D. Klaassen, eds., Pergamon Press, New York. pp.623-680. 4ta ed. Pergamon Press: USA
- Kahlow, M. A., Majeed, A., Tahir, M. A., (2002). Water Quality Status in Pakistan. Pakistan Council of Research in Water Resources (PCRWR), Ministry of Science & Technology, Government of Pakistan
- Lenntech, R. (2007). Arsénico, propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente. Holanda. (en línea). Consultado: 17 marzo 2014. Disponible en: <http://www.lenntech.com/espanol.htm> .
- Litter, M.; A. Pérez; M. Morgada; O. Ramos; J. Quintanilla, . & A. Fernández. (2008). *Capítulo 2. Formas presentes de arsénico en agua y suelo*. En: Distribución del Arsénico en las Regiones Ibérica e Iberoamericana IBEROARSEN. CYTED ed.
- Lillo, J. (2002). Peligros geoquímicos: Arsénico de origen natural en las aguas. Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología. Universidad Rey Juan Carlos. España. <http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-15564/Peligros%20geoqu%C3%ADmicos%20del%20ars%C3%A9nico%20-%20Javier%20Lillo.pdf> Accesado el 13-03-14.
- Ministerio de Salud Perú (2011) Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano. DS N° 031-2010-SA. 44p.
- Moreno, M. (2003). *Toxicología Ambiental: Evaluación de Riesgo para la Salud Humana*. 1ra. Edc. en Español: McGraw-Hill/ Interamericana de España. S.A.U. Madrid – España
- 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.
- Plant, A., Kinniburgh D.G., Smedley P.L., Fordyce F.M., Klinck B. A., 2003. Arsenic and selenium. In: Lollar B.S. (ed.), *Environmental Geochemistry*, Vol. 9 Treatise (eds. H.D. Holland and K.K. Turekian), Elsevier – Pergamon, Oxford, pp. 17-66.
- Rivera, H. (2007) Introducción a la geoquímica General y Aplicada. 2da Edición Lima. Perú
- Smedley P.L., Kinniburgh D.G (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Apl. Geochem.*, 17(5), 517 -568.
- Sracek, O., Bhattacharya, Prosun ; Jacks, Gunnar ; Gustafsson, Jon Petter ; Von Brömssen, Mattias (2004). Behavior of arsenic and geochemical modeling of arsenic enrichment in aqueous environments. *Applied Geochemistry*, 2004, Vol.19(2), pp.169-180 [Peer Reviewed Journal]
- WHO, (2001). *Environmental Health Criteria 224: Arsenic compounds* 2nd edition. World Health Organisation, Geneva

