

Determinación de As(III) y As(V) en los pozos de las plantas de remoción de arsénico de Costa Rica

Determination of As(III) and As(V) in the Wells of the arsenic removal plants in Costa Rica

Betzabel Arias-Barrantes¹, Azucena Urbina²,
Ana Lorena Alvarado-Gómez³

Fecha de recepción: 29 de julio de 2017

Fecha de aprobación: 16 de octubre de 2017

Arias-Barrantes, B; Urbina, A; Alvarado-Gómez, A.
Determinación de As(III) y As(V) en los pozos de las plantas
de remoción de arsénico de Costa Rica. *Tecnología en
Marcha*. Vol. 31-2. Abril-Junio 2018. Pág 136-146.

DOI: 10.18845/tm.v31i2.3631

1 Licenciada en Química. Sección de química de agua potable, Laboratorio Nacional de Aguas del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: bearias@aya.go.cr

2 Licenciada en Química. Sección de química de agua potable, Laboratorio Nacional de Aguas del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: aurbina@aya.go.cr

3 Doctora en Química. Profesora Catedrática, Escuela de Química, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: alagamez@yahoo.com



Palabras clave

Aguas de consumo; arsénico; arsenito; arseniato; arsénico soluble; arsénico particulado; espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo; estados de oxidación; intercambio aniónico.

Resumen

Se realizó la separación y cuantificación del arsénico soluble, particulado, As(III) y As(V) en los pozos de las seis plantas de remoción de arsénico operadas por AyA en Guanacaste y Alajuela: Bebedero de Cañas, Montenegro y Agua Caliente, Falconiana y Quintas Don Miguel en el cantón de Bagaces y Santa Cecilia de El Amparo y Cristo Rey en Los Chiles. Se empleó la espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS) así como cromatografía de intercambio aniónico (CIA) con resina Dowex 1-X8 de 50 a 100 mallas. Se validó la metodología obteniendo las siguientes figuras de mérito: límite de detección 0,1 µg/L, límite de cuantificación 0,2 µg/L, veracidad de diferentes fracciones y mezclas entre (97-104) %, con coeficientes de variación entre (0,9-12,8) %, así como una repetibilidad de 0,2 % y una repetibilidad intermedia de 0,3 % (n=7). Se efectuaron ocho muestreos mensuales y en los seis pozos prevalece el arsénico soluble sobre el particulado. En todos los pozos guanacastecos y en Cristo Rey de Los Chiles predomina As(V) sobre As(III), siendo el As(III) no detectable, detectable o en concentraciones ligeramente superiores al límite de cuantificación. En el caso de Santa Cecilia de El Amparo, hay mezcla de As(III) y As(V) en razones de concentraciones muy similares y predominando uno sobre otro dependiendo del muestreo. Además este pozo es el que posee menor concentración de oxígeno disuelto (1,5 mg/L), mientras que los restantes pozos presentan concentraciones superiores.

Keywords

Drinking water; arsenic; arsenite; arsenate; soluble arsenic; particulate arsenic; inductively coupled plasma mass spectrometry; oxidation states; anion exchanged.

Abstract

Separation and quantification of soluble and particulate arsenic and As(III) and As (V) were carried out in the wells of six arsenic removal plants operated by AyA in Guanacaste and Alajuela: Bebedero de Cañas, Montenegro and Agua Caliente, Falconiana and Quintas Don Miguel in Bagaces and Santa Cecilia de El Amparo and Cristo Rey in Los Chiles. Inductively coupled plasma mass spectrometry and anion exchange chromatography with Dowex 1-X8 resin were used for this analysis. The methodology was validated, obtaining the following figures of merit: detection limit 0,1 µg/L, quantification limit 0,2 µg/L, veracity as recoveries of different fractions and mixtures between (97-104) %, with variation coefficient between (0,9-12,8) %, as well as repeatability 0,2 % and intermediate repeatability of 0,3 % (n=7). Eight samples were taken monthly which indicated that in the six wells soluble arsenic prevails on the particulate arsenic. On the other hand, in all the Guanacaste wells and in Cristo Rey de Los Chiles predominates As(V) than As(III), As(III) being undetectable, detectable or in concentrations slightly higher than quantification limit. In the case of Santa Cecilia de El Amparo, there is a mixture of As(III) and As(V) in very similar proportion and predominating one over another depending on the sampling. In addition, this well has the lowest concentration of dissolved oxygen (1,5 mg/L), whereas the remaining wells present higher concentrations.

Introducción

El arsénico está presente en el agua como un oxianión y tiene dos estados de oxidación mayoritarios en la naturaleza: el arsenito o As(III) y el arseniato o As(V). Estas dos especies están en la fracción soluble del arsénico, por lo que la filtración de las muestras con un filtro de membrana de 0,45 μm permite separar el arsénico particulado del arsénico disuelto en el agua.

Generalmente, en ambientes oxidantes prevalece el As(V), el cual hidroliza como ácido arsénico, (H_3AsO_4). Sus correspondientes productos de disociación son: H_2AsO_4^- , HAsO_4^{2-} y AsO_4^{3-} . En ambientes bajo condiciones reductoras prevalece el As(III) que hidroliza como ácido arsenioso, (H_3AsO_3). Sus correspondientes productos de disociación son: H_2AsO_3^- , HAsO_3^{2-} y AsO_3^{3-} [1], [2]. En el ámbito de pH de las aguas naturales, el arsénico +5 se encuentra cargado negativamente mientras que el arsénico +3 es una especie neutra, por eso no se retiene en cromatografía de intercambio aniónico [4], [5]. La figura 1 presenta los diagramas de solubilidad para las especies As(III) y As(V) según el pH del medio.

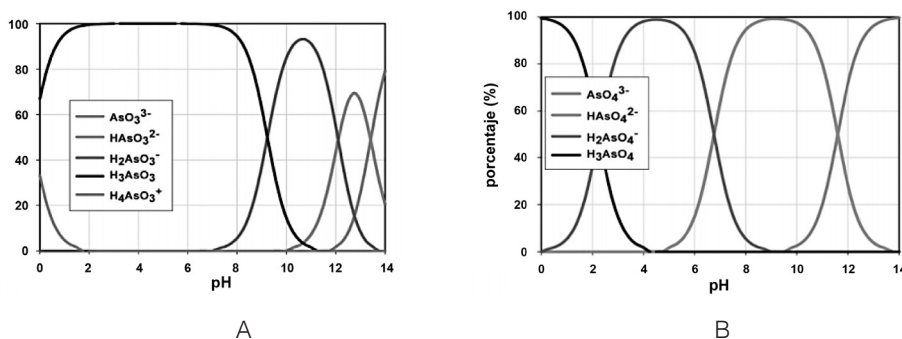


Figura 1. Diagrama de solubilidad para el a) As(III) y b) As(V) según el pH del agua [3]

Sin embargo, algunas aguas subterráneas pueden tener solamente As(III), otras sólo As(V), o bien, presentar una combinación de ambos estados de oxidación [4] ya que esto también depende del ambiente geoquímico de las aguas [5].

La cuantificación de arsenito y arseniato en el agua es fundamental para interpretar la toxicidad y movilidad del arsénico en el ambiente, ya que el arsenito es más tóxico que el arseniato [6], pues se bioacumula de forma distinta al arsénico pentavalente [7]. Desde el punto de vista de remediación, aporta valiosa información sobre la tecnología de remoción más apropiada porque es más complejo la remoción del arsenito [3].

En el año 2014, el AyA instaló seis plantas de remoción de arsénico empleando la tecnología de adsorción – filtración en los pozos en: Bebedero de Cañas, Falconiana, Montenegro y Quintas Don Miguel en Bagaces, Cristo Rey y Santa Cecilia de El Amparo en Los Chiles, (véase la figura 2).

En estos lugares, las concentraciones de arsénico superaban los 10 $\mu\text{g/L}$, siendo éste, el valor máximo admisible (VMA) según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable de Costa Rica (Decreto N° 38924-S)[8] y la OMS [8], [9]. La presencia del arsénico es de origen natural y se le relaciona con fallas geológicas en las zonas e hidrotermalismo [10].

El objetivo de este trabajo es ejecutar y validar un método analítico para separar y cuantificar As(III) y As(V) en las aguas de los pozos de las plantas de remoción de arsénico mediante la cromatografía de intercambio aniónico y la espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo.

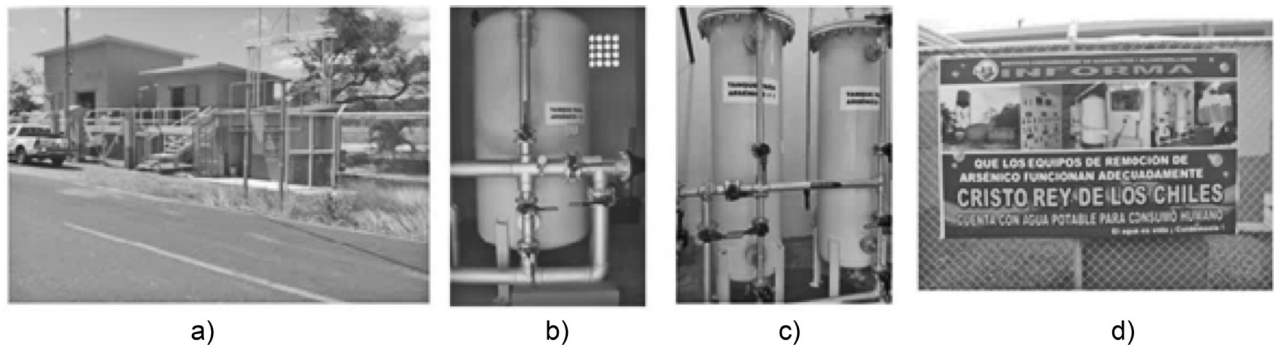


Figura 2. a) Planta de remoción de arsénico en Bebedero b) Filtro presurizado en Bebedero, c) Filtro presurizado en Falconiana, d) Cartel informativo en Cristo Rey.

Metodología

El desarrollo de la investigación estuvo dividido en 5 fases:

1. Optimización de ICP-MS según las especificaciones de Agilent Technologies para ICP-MS modelo 7700 [11].
2. Optimización de las columnas cromatográficas de intercambio aniónico, empleando resina Dowex 1X-8 de 50 a 100 mallas en forma de acetato, a partir de una simulación del procedimiento de separación con diferentes mezclas de As(III) y As(V) en agua sintética. Se trabajó en dos ámbitos de concentración: En ámbito alto los niveles de concentración fueron de 50,0 $\mu\text{g/L}$ y 25,0 $\mu\text{g/L}$ y en ámbito bajo a 5,0 $\mu\text{g/L}$ y en ausencia de As(III) y As(V) realizando siete repeticiones de cada mezcla para evaluar recuperaciones.
3. Validación de la metodología.
4. Muestreo y separación de las formas arsenicales en el campo.
5. Cuantificación en el laboratorio mediante ICP-MS y tratamiento de resultados.

Para la preparación de la resina y la separación de las distintas especies arsenicales se siguió el procedimiento descrito en [12].

El procedimiento de separación de las especies se resume en la figura 3: a) se abre la llave de chorro del pozo, b) se toma muestra de agua del pozo, c) se recolecta en la botella A parte de la muestra y se preserva con 0,5 mL de ácido nítrico grado traza metal al 70 % (arsénico total), d) se acopla el filtro de 0,45 μm a la jeringa previamente enjuagada con la muestra, e) cuidadosamente se introduce la jeringa en el beaker que contiene la muestra para filtrarla, f) se recolecta la muestra filtrada en la botella B (arsénico soluble) y se preserva con 1,3 mL de ácido sulfúrico traza metal al 5 %, g) la botella B se agita vigorosamente para mezclar con el ácido adicionado, h) se pasa 40 mL de la muestra de la botella B a través de la columna para lavar la resina, i) se recolecta aproximadamente 20 mL de la muestra tratada en la resina en la botella C (arsenito) y se preserva con 1 gota de ácido nítrico grado traza metal al 70 %, j) se transportan las muestras en hielo.

Las concentraciones de las tres muestras se cuantificaron en ICP-MS y por diferencia, se obtuvieron las concentraciones de arsénico particulado (retenido en el filtro) y arseniato (retenido en la columna). Cabe resaltar que en cada gira se hizo duplicado el procedimiento por pozo y que los resultados de cada muestreo corresponden al promedio.

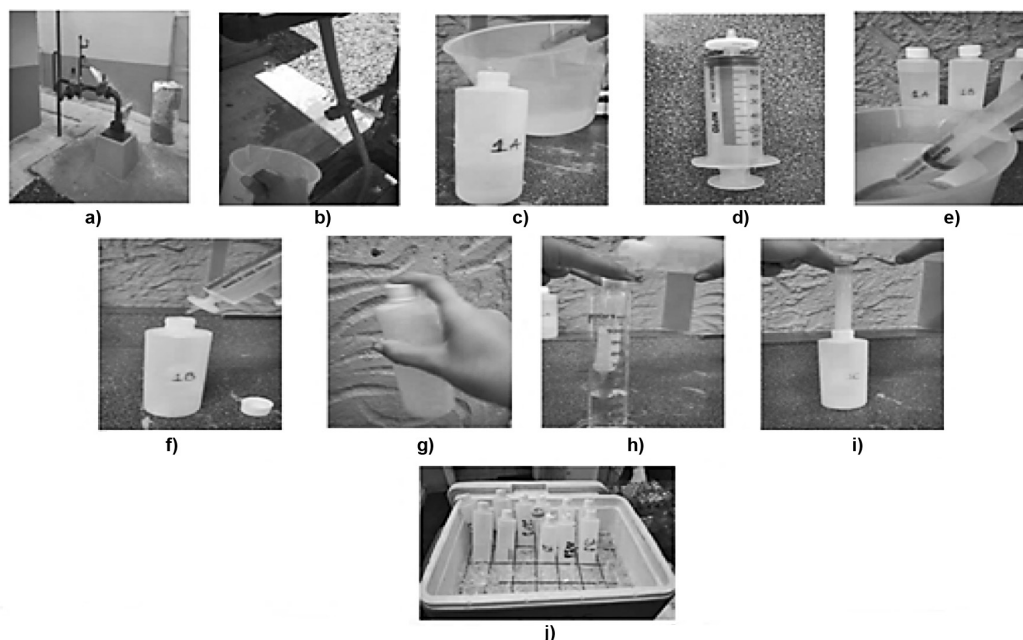


Figura 3. Resumen del procedimiento de separación de las especies arsenicales.

Resultados y discusión

Validación

En el cuadro 1 se presentan las figuras de mérito obtenidas en la validación de la metodología, esto se realizó según lo establecido en la EURACHEM [13].

Cuadro 1. Figuras de mérito para la determinación de arsénico total por ICP-MS.

Límite de detección	0,1 µg/L
Límite de cuantificación	0,2 µg/L
Repetibilidad	0,2 %
Repetibilidad intermedia	0,3 %
Veracidad, % de recuperación	97 % - 104 %

Concentración de arsénico total en los seis pozos

La concentración de arsénico total de de cinco pozos: Bebedero, Montenegro y Agua Caliente, Falconiana, Santa Cecilia y Cristo Rey oscilaron en el ámbito de $(13,1 \pm 0,1) \mu\text{g/L}$ y $(23,7 \pm 0,1) \mu\text{g/L}$ en todo el periodo de muestreo.

El pozo de Quintas Don Miguel tuvo la mayor concentración de arsénico total. De setiembre a diciembre de 2014 la concentración estuvo entre $(16,0 \pm 0,1) \mu\text{g/L}$ y $(20,0 \pm 0,1) \mu\text{g/L}$. Sin embargo, en enero del 2015 la concentración aumentó un 47,2 % pues se cuantificó $(43,6 \pm$

0,1) µg/L de arsénico total. Para octubre del 2015, la concentración en dicho pozo disminuyó a (36,6 ± 0,1) µg/L y en noviembre del mismo año, la concentración descendió nuevamente hasta (19,2 ± 0,1) µg/L.

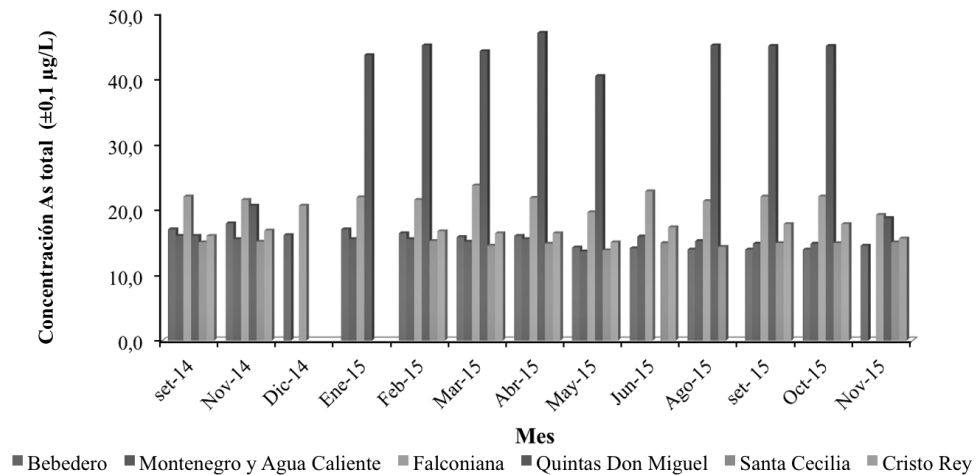


Figura 4. Concentración de arsénico total en los pozos de las seis plantas de remoción de arsénico de setiembre del 2014 a noviembre del 2015.

Arsénico particulado y soluble en los pozos

En el cuadro 2, se muestra que las concentraciones de arsénico particulado no superaron el 9,0 % de las concentraciones de arsénico total, por lo que muy poco arsénico está de forma particulada, o bien, retenido en el filtro de 0,45 µm.

Cuadro 2. Porcentaje de arsénico total presente como arsénico particulado en los pozos de las plantas de remoción de arsénico en el año 2015.

Arsénico total como arsénico particulado (%)								
Pozo / mes	Feb	Mar	Abr	May	Ago	Set	Oct	Nov
Bebedero	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2,2	N.D.	N.D.	3,4
Montenegro y Agua Caliente	2,0	0,6	1,3	N.D.	0,7	N.D.	N.D.	-
Falconiana	N.D.	6,3	3,6	2,8	N.D.	N.D.	2,0	6,3
Quintas DM	N.D.	N.D.	2,5	-	0,9	N.D.	0,3	0,5
Santa Cecilia	4,6	1,3	1,3	3,6	0,4	3,2	4,6	6,0
Cristo Rey	N.D.	N.D.	3,0	9,0	-	0,6	N.D.	8,7

N.D.: No detectable

Por lo tanto, el arsénico en los seis pozos se encuentra mayoritariamente en su forma disuelta, como se muestra en el cuadro 3. El porcentaje de arsénico soluble representó entre 91 % el 100 % del arsénico total cuantificado.

Cuadro 3. Porcentaje de arsénico total presente como arsénico soluble en los pozos de las plantas de remoción de arsénico en el año 2015.

Arsénico total como arsénico soluble (%)								
Pozo / mes	Feb	Mar	Abr	May	Ago	Set	Oct	Nov
Bebedero	100	100	100	100	97,8	100	100	96,6
Montenegro y Agua Caliente	98,0	99,4	98,7	100	99,3	100	100	*
Falconiana	100	93,7	96,4	97,2	100	100	100	93,7
Quintas DM	100	100	97,5	-	99,0	100	100	99,5
Santa Cecilia	95,4	98,7	98,7	96,4	99,6	96,8	96,8	94,0
Cristo Rey	100	100	97,0	91,0	*	99,4	99,4	91,1

*No se tomó muestra pues no había bombeo al momento de la visita.

Concentración de arsenito y arseniato

En los cuatro muestreos que comprenden la época seca, solamente en marzo del 2015 se detectó arsenito en el pozo de Quintas Don Miguel. La concentración de arsenito fue no detectable en los pozos de las cuatro plantas ubicadas en la provincia de Guanacaste (Bebedero, Montenegro y Agua Caliente, Falconiana y Quintas Don Miguel), por lo que todo el arsénico soluble de estos pozos se encontraba como As(V).

En Santa Cecilia de El Amparo fue posible la cuantificación de arsenito y en febrero de 2015 se obtuvo la concentración más alta de As(III) de la época seca: (10,0 µg/L). En marzo y abril del 2015, la concentración de arsenito se mantuvo constante: (8,3 ± 0,1 µg/L) y (8,4 ± 0,1 µg/L), respectivamente, y en mayo disminuyó a (5,8 ± 0,1) µg/L. Por su parte, en el pozo de Cristo Rey, la concentración de arsenito corresponde al límite de detección en el mes de febrero de 2015, mientras que de marzo a mayo del mismo año, solo fue posible su detección, pero no su cuantificación.

Para los muestreos de la época de lluvia, fue posible la detección y cuantificación de arsenito en los pozos de Bebedero, Montenegro y Agua Caliente y Falconiana. En Montenegro y Agua Caliente sólo pudo detectarse As(III) de agosto a noviembre de 2015, mientras que en Falconiana se presentó una situación similar, a excepción del mes de octubre, donde la concentración de arsenito fue igual al límite de cuantificación (0,2 µg/L).

En Bebedero y Quintas Don Miguel se obtuvieron concentraciones no detectables, detectables y de hasta (0,4 ± 0,1) µg/L. En el caso específico de Santa Cecilia se continuó cuantificando arsenito en toda la época: de (6,9 ± 0,1 µg/L) a (8,7 ± 0,1) µg/L y en Cristo Rey la concentración de arsenito estuvo entre el límite de detección y (0,3 ± 0,1) µg/L.

Como se muestra en los cuadros 4 y 5, en todos los pozos prevalece el arseniato sobre el arsenito a excepción de Santa Cecilia de El Amparo. En los ocho muestreos, la concentración de arsenito y arseniato fluctuó mes a mes en esa zona, ya que en los primeros tres muestreos hay prevalencia del arseniato sobre el arsenito (superior al 57,5 %). En el mes de mayo se reduce la concentración de arsenito por lo que el arseniato se encuentra como estado de oxidación mayoritario (60,9 %). Entre agosto y noviembre de 2015, la concentración de arsenito incrementó nuevamente y osciló entre 48,9 % y el 57,6 % del arsénico soluble de dicho pozo.

Cuadro 4. Porcentaje de arsénico soluble presente como As(III) en el agua de los pozos de las plantas de remoción de arsénico en el año 2015.

Arsénico soluble como As(III) (%)								
Pozo/mes	Feb	Mar	Abr	May	Ago	Set	Oct	Nov
Bebedero	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1,3	1,5	N.D.
Montenegro y Agua Caliente	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,7	0,7	1,0	*
Falconiana	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,5	0,5	1,0	1,0
Quintas DM	N.D.	0,2	N.D.	*	N.D.	0,5	0,9	N.D.
Santa Cecilia	68,5	57,6	57,5	39,7	54,2	57,6	50,4	48,9
Cristo Rey	1,2	0,6	0,6	0,6	*	1,1	2,0	0,7

N.D.: No detectable *No se tomó muestra por no haber bombeo en el momento del muestreo

Cuadro 5. Porcentaje de arsénico soluble presente como As(V) en el agua de los pozos de las plantas de remoción de arsénico.

Arsénico soluble como As(V) %								
Pozo	Feb	Mar	Abr	May	Ago	Set	Oct	Nov
Bebedero	100	100	100	100	100	98,7	98,5	100
Montenegro y Agua Caliente	100	100	100	100	99,3	99,3	99,0	*
Falconiana	100	100	100	100	99,5	99,5	99,0	99,0
Quintas DM	100	99,8	100	-	100	99,5	99,1	100
Santa Cecilia	31,5	42,8	42,8	60,3	45,8	42,2	49,6	51,1
Cristo Rey	98,8	98,8	99,4	99,4	*	98,9	98	99,3

*No se tomó muestra por no haber bombeo en el momento del muestreo

Con el fin de asociar los resultados en cuanto a la prevalencia de As(III) o As(V) en los pozos, se procedió a efectuar otras determinaciones para explicar y complementar los resultados obtenidos de las concentraciones de arsenito y arseniato.

Determinación de pH

Santa Cecilia y Cristo Rey de Los Chiles presentaron los pH más alcalinos de los seis pozos y para el caso de los pozos de Guanacaste, el pH fue bastante similar entre ellos, estos comportamientos no variaron en todo el periodo de muestreo. No se encontró relación directa entre el aumento o disminución de la concentración del arsenito con el aumento o disminución del pH y así relacionar la presencia o ausencia de As(III) o As(V) con valores de pH más alcalinos o más ácidos.

Cuantificación de manganeso

El pozo de Santa Cecilia presenta altas concentraciones de manganeso donde se ha cuantificado desde $(385,0 \pm 1,0)$ µg/L hasta $(474,9 \pm 1,0)$ µg/L. A su vez, es el único pozo donde fue posible cuantificar arsenito y arseniato en relación de concentraciones muy similar.

No se encontró relación directa entre la concentración de manganeso y la concentración de arsenito. En la primera gira efectuada en dicha comunidad se obtuvo $(10,0 \pm 1,0)$ µg/L de arsenito y $(474,9 \pm 1,0)$ µg/L de manganeso, siendo las concentraciones de arsenito y de manganeso más altas de los ocho muestreos. Sin embargo, en concentraciones de manganeso de $(414,9 \pm 1,0)$ µg/L y hasta $(448,8 \pm 1,0)$ µg/L, la concentración de arsenito fluctúa entre $(5,8 \pm 1,0)$ µg/L hasta $(8,7 \pm 1,0)$ µg/L.

Concentración de oxígeno disuelto

Se efectuaron las determinaciones de oxígeno mediante el método de Winkler, donde se fijó el oxígeno disuelto del agua en el campo, para posteriormente cuantificarlo en el laboratorio mediante una titulación. Los resultados obtenidos de oxígeno disuelto son los siguientes.

Cuadro 6. Concentración de oxígeno disuelto y temperatura en el agua de los pozos de las plantas de remoción de arsénico para la época seca y lluviosa.

Pozo	Oxígeno disuelto (mg/L) ($\pm 0,1$ mg/L)	
	Época seca	Época lluviosa
Bebedero	3,9	4,7
Montenegro y Agua Caliente	4,9	5,2
Falconiana	3,9	4,6
Quintas Don Miguel	5,8	5,1
Santa Cecilia	1,5	1,5
Cristo Rey	2,9	2,4

Incertidumbre: $\pm 0,1$ mg/L. LD: 0,2 mg/L, LC: 0,5 mg/L.

Los pozos de Guanacaste presentaron mayor concentración de oxígeno disuelto en el agua, siendo Quintas Don Miguel el pozo con las concentraciones más altas en las dos épocas. Por su parte, el pozo de menor concentración en todo el muestreo fue Santa Cecilia $(1,5 \pm 0,1)$ mg/L, coincidiendo con el hecho de ser el único en el que se cuantifica más arsenito en el agua. Si hay menos oxígeno disuelto, hay mayor probabilidad de encontrar arsénico en estado de oxidación tres.

Concentración de sulfatos y nitratos en los pozos

Los sulfatos y nitratos compiten con el arseniato por los sitios de intercambio de la resina [14]. Este método de separación con cromatografía de intercambio aniónico es aplicable en aguas cuya concentración de sulfatos y nitratos sea inferior a 120 mg/L y 200 mg/L, respectivamente. Las concentraciones de sulfatos no superaron los $(11,8 \pm 0,8)$ mg/L, mientras que los nitratos fueron inferiores a $(22,9 \pm 0,5)$ mg/L.

Conclusiones

Las resinas de intercambio aniónico son una opción económica, pueden emplearse varias veces antes de que la resina se sature y poseen la ventaja de separar el arsénico trivalente del pentavalente de manera *"in situ"*, asegurando que el equilibrio de estas especies no se modifique en el traslado al laboratorio para posteriormente separar y cuantificar.

El arsénico se encuentra mayoritariamente como arsénico soluble en los seis pozos. La mayor concentración de arsénico particulado se cuantificó en el pozo de Cristo Rey en el mes de mayo de 2015 ($8,7 \pm 0,1$) $\mu\text{g/L}$ y en noviembre del mismo año ($9,0 \pm 0,1$) $\mu\text{g/L}$.

En febrero de 2015, en Santa Cecilia de El Amparo se cuantificó la mayor concentración de As(III) de todos los pozos, donde el 68,5 % del arsénico soluble estuvo como As(III), sin embargo, en los siguientes muestreos se obtuvieron concentraciones de arsenito y arseniato en proporciones muy similares, variando de mes a mes la prevalencia de un estado de oxidación sobre el otro.

En Bebedero, Montenegro y Agua Caliente, Falconiana, Quintas Don Miguel y Cristo Rey se detectó arsenito en algunos muestreos y cuando fue posible cuantificarlo, se encontró entre el límite de cuantificación y ($0,4 \pm 0,1$) $\mu\text{g/L}$.

El pozo con menor concentración de oxígeno disuelto es precisamente donde hubo una combinación de arsenito y arseniato. Aunque la literatura indica que el As(III) predomina en condiciones reductoras y el As(V) prevalece en condiciones oxidantes, no siempre esto se presenta, siendo una consecuencia el ambiente geoquímico de suelos y minerales así como de las condiciones hidrogeológicas específicas del acuífero, entre otros.

Recomendación

En las seis plantas, el sistema de cloración se encuentra antes de la etapa de remoción, con el objetivo de asegurar que todo el arsénico se encuentre oxidado antes de la remoción, ya que el medio adsorbente a base de dióxido de titanio retiene de forma más efectiva el As(V) que el As(III)..

De acuerdo a la experiencia de los ingenieros de AyA involucrados con estas plantas, el medio adsorbente (dióxido de titanio) pierde vida útil de forma más rápida cuando pasa agua clorada por los filtros presurizados. Si ya se conocen los niveles de As(III) y As(V) en los pozos, se podría optimizar la dosis de cloro necesaria para oxidar el arsenito presente y a su vez, para desinfección del agua. Esto se traduciría en reducción de costos para AyA pues se podría incrementar la vida útil del medio adsorbente y se reduciría el consumo de gas cloro.

Referencias

- [1] A. R. Kumar y P. Riyazuddin, "Preservation of inorganic arsenic species in environmental water samples for reliable speciation analysis," *TrAC Trends Anal. Chem.*, vol. 29, no. 10, pp. 1212–1223, 2010.
- [2] A. K. Malik, V. Kaur, y S. Kumar, "Chapter 22 - Metal Speciation," *Chem. Anal. Food Tech. Appl.*, pp. 715–755, 2012.
- [3] M. Litter, A. Sancha, y A. Ingallinella, *Tecnologías económicas para el abatimiento de arsénico en aguas, IBEROARSEN, CYTED:Argentina*, 2010.
- [4] T. J. Sorg, A. S. C. Chen, y L. Wang, "Arsenic species in drinking water wells in the USA with high arsenic concentrations.," *Water Res.*, vol. 48, pp. 156–69, 2014.
- [5] M. Kumar Singh y A. Kumar, "A Global problem of arsenic in drinking water and its mitigation- a review," *Int. J. Adv. Eng. Technol.*, no. 1, pp. 196–203, 2012.



- [6] C. Jain y I. Ali, "Arsenic: occurrence, toxicity and speciation techniques," *Water Res.*, vol. 34, no. 17, pp. 4304–4312, 2000.
- [7] J. S. Wang y C. M. Wai, "Arsenic in Drinking Water—A Global Environmental Problem," *J. Chem. Educ.*, vol. 81, no. 2, p. 207, 2004.
- [8] *Reglamento para la Calidad del Agua Potable.*, N° 38924-S, San José, 2015.
- [9] *Guías para la calidad del agua potable*, Vol. 1: Recomendaciones. Tercera edición, OMS, Ginebra, Suiza, 2008.
- [10] Comisión Científica Origen del Arsénico, "Investigación geológica, hidrogeológica e hidrogeoquímica sobre el origen del arsénico en la zona de Cañas- Bagaces y alrededores," 2014.
- [11] *Manual del usuario ICP-MS serie 7700*, Agilent, USA, 2011.
- [12] L. A. Chen y K. F. Wang, "Arsenic Removal from Drinking Water by Ion Exchange and Activated Alumina Plants", Environmental Protection Agency (EPA), Cincinnati, Ohio, EPA/600R-00/063, 2000.
- [13] S. L. R. Ellison y A. Williams, Eds., EURACHEM/CITAC Guide. Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. 2012.
- [14] M. I. Litter, M. A. Armienta, y S. S. Farías, *Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos*, IBEROARSEN, CYTED. Argentina, 2009.