

DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA POTABLE DEL CANTÓN DEL GRECIA

DETERMINATION OF ARSENIC IN DRINKING WATER FROM THE CANTON OF GRECIA

M.Sc. John Diego Bolaños Alfaro *

| | |
|----------------------------------|-------------------------------|
| Recibido: 12 de octubre del 2015 | Aprobado: 20 de mayo del 2016 |
|----------------------------------|-------------------------------|

DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/isucr.v17i35.25561>

Resumen

La presente investigación científica cuantifica los niveles de arsénico en el agua potable del cantón de Grecia, de la provincia de Alajuela, utilizando la técnica analítica de absorción atómica acoplada a un generador de hidruros, debido a la reciente aparición de nacientes contaminadas con éste catión en el país y motivado por la ausencia de información actualizada en la zona de estudio. Se obtiene como principal resultado que ninguna de las 26 nacientes analizadas supera el límite máximo permitido por el decreto costarricense 32327-S, de 0.01 mg/L.

Se ofrece además, información sobre las implicaciones para la salud que significa el consumo cotidiano de Arsénico y su relación con el desarrollo del arsenicismo crónico, donde se concluye, que aunque el cantón corresponde a una zona de riesgo por ubicarse en la faldas del volcán Poás, la ingesta de agua potable ofrecida por la Municipalidad y las ASADAS, no representan riesgo sobre ésta problemática de salud.

Palabras clave: arsénico; agua potable; hidroarsenicismo crónico; análisis de agua potable.

Abstract

This scientific research quantifies levels of arsenic in potable water in county Grecia, in the province of Alajuela, using analytical atomic absorption technique coupled with a hydride generator because recent emergence of springs

*Docente de la Universidad de Costa Rica. Sede de Occidente. Departamento de Ciencias Naturales. Email: john.bolanos@ucr.ac.cr.

contaminated with this cation in the country and motivated by the lack of updated information for the study area. Obtained as the main result that none of the 26 springs analyzed exceeds the maximum limit allowed by the Costa Rican Decree 32327-S, 0.01 mg/L.

Information about the health implications that means the daily consumption of arsenic and its relationship to the development of chronic arsenic poisoning, which concludes that although the county is an area of risk to be located in the nearby of the Poas Volcano is offered, intake of potable water offered by the Municipality, there is no risk of this health problem.

Keywords: arsenic; drinking water; chronic hydroarsenicism; drinking water analysis.

Antecedentes

El arsénico pertenece al grupo de los semimetales, ubicándose en la tabla periódica sobre la línea de la clasificación general que divide los elementos en metales y no metales, presentando un comportamiento químico y propiedades físicas más semejantes a las de un metal que a un no metal.

Arsénico (As) es un tóxico natural de preocupación mundial. Como elemento se encuentra una en la atmósfera, los suelos, en las aguas naturales y en los organismos vivos. Se moviliza en el medio ambiente a través de los niveles tróficos gracias a la combinación química con otros elementos, que sirven para producir actividad biológica. Su procedencia principalmente obedece a emisiones volcánicas, así como al desarrollo de actividades antropogénicas específicas como la minería, la combustión de combustibles fósiles, el uso de pesticidas, herbicidas y el curado de maderas [Welch, A; Westjohn, D; Helsel, D and Wanty, R. 1994].

[Montero, V; Quesada, J. 2010], señalan que la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera dicho contaminante de gran importancia para la salud debido a su propiedad tóxica acumulativa; además el As no

sufre descomposición en el ambiente y se encuentra en la tierra, en particular en las rocas volcánicas, conformando el 0,00005 % de la corteza terrestre.

En aguas superficiales y subterráneas el arsénico se encuentra respectivamente en forma de Arsenato (valencia As+5) y Arsenito (valencia As+3) respectivamente. El arsénico en estas aguas es captado para el abastecimiento de poblaciones y por ende uno de los usos más comunes es el consumo humano; denotando ante una concentración elevada de dichas especies químicas, una serie de efectos adversos en la salud, asociados principalmente al contacto prolongado, provocando un envenenamiento progresivo que da pie a la enfermedad conocida como hidroarsenicismo crónico [Villalobos, H; Hidalgo J. 2011].

Estudios epidemiológicos han demostrado que la exposición crónica a As se asocia con un aumento de dicha enfermedad, cuyos síntomas inician con problemas de hipertensión, deficiencias respiratorias, cardiovasculares, diabetes mellitus, efectos gastrointestinales y trastornos del sistema nervioso [Van Halem, D; Bakker, S; Amy, G; Van Dijk, J. 2009], denotan que en etapas avanzadas de intoxicación se observan, lesiones en la piel que provocan hiperpigmentación, hiperqueratosis, gangrena, que culminan normal-

mente con cáncer de piel. Finalmente la enfermedad normalmente culmina otros tipos de cáncer como el cáncer de pulmón, colon, hígado y vejiga, que finalmente conllevan a daño sistémico y la muerte.

La concentración estándar recomendada por la OMS para el As en el agua es de 0,01 mg/L, dicho parámetro varía entre los países Latinoamericanos entre un rango de 0,01 y 0,5 mg/L. Canadá y México por ejemplo permiten una concentración de arsénico de 0,025mg/L, mientras que Paraguay acepta un índice máximo extremadamente elevado de 0,5mg/L. No obstante, la mayoría de países de América y la Unión Europea establecen una concentración máxima de 0,01 mg/L, entre ellos Costa Rica [Truque, P. 2011].

La Agencia de Protección Ambiental de los estados Unidos (EPA) establece como nivel permisible de As en el agua de bebida una concentración de 10 ppb (0,01 mg/L) como nivel máximo contaminante (Gehle, 2009). La Agencia Internacional para la Investigación del cáncer (IARC) sitúa al As inorgánico en su clasificación más alta de sustancias cancerígenas (Grupo I). Incluso la OMS, expresa que una concentración de As de 0,17 μ g/L se asocia con el riesgo individual de contraer cáncer de piel en el orden de 1/100.000, para una persona de 70Kg, con una ingesta de 2 L día durante 70 años.

En Costa Rica el decreto N°32327-S, publicado en la Gaceta No. 84 del 3 de mayo del 2005, titulado Reglamento para la Calidad del Agua Potable, es la normativa que regula la concentración de éste catión y se considera una determinación química de nivel N3, es decir, que corresponde al programa de control avanzado del agua potable, el cual comprende la ejecución de los parámetros del nivel N2 ampliados con: nitrito, amonio, arsénico, cadmio, cromo, mercurio, níquel, antimonio,

selenio y residuos de plaguicidas, debido a sospechas de contaminación con dichas sustancias. La ejecución de estos análisis son obligatorios una vez emitida la solicitud por parte del Ministerio de Salud, la periodicidad del análisis N3 dependerá del número de personas que administre el acueducto; así para una población que atienda en un rango de 1 a 20000 personas, se obliga a entregar un informe operacional anual y para más de 20000 personas, el informe operacional debe entregarse de manera semestral.

Noticias publicadas en medios nacionales como las de [Herrera, M. 2013], denotan alertas de contaminación con As en varias comunidades de Guanacaste y zona Norte de la provincia de Alajuela, que presentan una alta concentración de arsénico en agua elevada (valores de hasta 0,1 mg/L); contaminación que no es producto de actividades humanas, sino que obedece a movimientos orogénicos o de conformación geológica que tienen los pozos investigados; tal situación provoca una inmediata intervención por parte del Ministerio de Salud a partir de una orden de la Sala IV, donde la institución Acueductos y Alcantarillados (AyA), desde junio del mismo año se vio obligada a determinar en un plazo no mayor a seis meses, la causa de la contaminación con arsénico en el agua; la cual, finalmente fue atribuida a procesos de origen natural principalmente volcánico, lo que ha motivado el mantener un suministro continuo de agua potable a los vecinos afectados para atender los [López, N. 2013].

Los problemas más serios sobre la salud de los pobladores facilitó que la Dirección de Vigilancia de la Salud, realizara a inicios de 2014, un estudio descriptivo para asociar la presencia de As con enfermedad, el cual tiene una duración de ejecución de uno a dos años; además en paralelo se desarrollan dos estudios epidemiológicos, uno realizado por la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS) y relacionado con casos de insu-

ficiencia renal y otro realizado por la Escuela de Tecnologías en Salud de la UCR, donde se analiza el riesgo asociado a exposición por As, como precursor de cáncer de piel.

Desde el Recinto de Grecia, de la Universidad de Costa Rica, se plantea la cuantificación de As en el cantón de Grecia, en vista de que la zona de manantiales, se ubica principalmente en las faldas del volcán Poás, donde el contacto con material volcánico, podría provocar contaminación con este mineral; además, la ausencia de información en la última década, relacionada con la caracterización de este catión en los informes operacionales que entregan las ASADAS y Municipalidad de Grecia, tanto al AyA como al Ministerio de Salud, promovió la presente investigación científica.

Como investigación aplicada, el estudio forma parte del proyecto inscrito 540-B5-036 ante la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, con vigencia de dos años, titulado: Análisis cuantitativo de aniones y metales pesados en el agua potable del cantón de Grecia, como indicadores de contaminación ambiental y tóxicos bioacumulables, la cual tiene como objetivo institucional, generar conocimiento científico, tecnológico y sociocultural innovador, que integre la docencia, la investigación, la acción social y las diferentes disciplinas, con el fin de contribuir al acervo del conocimiento en beneficio de la comunidad nacional e internacional.

En caso de corroborar que la contaminación con arsénico en el cantón, se pretende estudiar e identificar los efectos crónicos que a saber describen el grado de arsenicismo [Castro, M. 2006]:

- **Preclínico:** el paciente no muestra síntomas, pero el arsénico puede detectarse en muestras de tejido

y orina.

- **Clínico:** efectos en la piel, oscurecimiento de la piel comúnmente en la palma de la mano. También se pueden presentar manchas oscuras en el pecho, espalda, miembros y encías. Un síntoma más serio es la queratosis o endurecimiento de la piel en forma de nódulos sobre las palmas y las plantas de las manos y los pies. La OMS estima que cuando se ha llegado a esta etapa, significa que ha habido una exposición al arsénico de 5 a 10 años.
- **Complicaciones:** síntomas clínicos más pronunciados y afectación de los órganos internos. Estudios han reportado dilatación del hígado, los riñones y el bazo. También hay información de vinculación en esta etapa con conjuntivitis, bronquitis y diabetes.
- **Malignidad:** desarrollo de tumores o cánceres que afectan la piel u otros órganos. La persona afectada puede desarrollar gangrena o cáncer de piel, pulmón o vejiga. En las dos primeras etapas, si el paciente reemplaza la fuente de agua de bebida por una libre de arsénico, su recuperación es casi completa. En la tercera etapa puede ser reversible, pero en la cuarta ya no lo es [BCAS. 1997].

1 Ubicación de la Investigación

Durante los meses de junio, julio y agosto de 2015, se ejecutaron medición en distintos manantiales, realizando determinaciones para los siguiente parámetros: N3: Arsénico, N2: Nitrato, Sulfato, Fosfato, Cloruro, Fluoruro, N1: Completo; correspondientes al decreto N°32327-S, titulado Reglamento para la Calidad del Agua Potable, publicado en La Gaceta N°84, de mayo del 2005 y que por sus características responden a información vital

en materia de la caracterización físico química y microbiológica que se viene desarrollando la carrera Bachillerato y Licenciatura en Laboratorista Química a nivel de dos proyectos de investigación relacionados con el agua potable, cuyos resultados son de interés cantonal en primera instancia, pero que trasciende con información científica de interés nacional e internacional, en materia del gestión del recurso hídrico.

Las muestras de agua, provienen de 26 nacientes ubicados en el cantón de Grecia; también se muestreó toda la red de distribución a nivel de tanques y red; dichos sitios son administrados por la Municipalidad de Grecia y las ASADAS de las siguientes poblaciones: San Roque, San Miguel, Carbonal, Bodegas y Pilas, San Isidro, Calle San José, Santa Gertrudis Sur, Santa Gertrudis Norte, El Cedro, Calle Guayabal, La Arena, El Cajón, San Rosa de Poás; en todos los casos el agua se utiliza para consumo humano.

2 Materiales y Métodos

Se utilizó un equipo absorción atómica, acoplado a generador de hidruros (AA-GH), ambos equipos de la marca Thermo, considerando las pautas y parámetros que requiere el software SOLAAR ISSUE26, para el correcto funcionamiento del equipo. Se siguió el manual que contempla la debida validación del método, mediante una la ejecución previa tres curvas de calibración, así como el análisis de varianza de un factor aplicado sobre el modelado de los datos experimentales, siguiendo el análisis estadístico recomendado por [Miller, J. 2002].

Se estandarizó el procedimiento bajo el código RUG-LQ-035, denominado: Determinación de Arsénico por AA-GH, para su utilización durante la presente investigación en los Laboratorios de Química del Recinto

de Grecia, de la UCR; los cuales cuentan con equipos y materiales, necesarios para el desarrollo de las determinaciones mencionadas. Los reactivos utilizados son grado analítico y el patrón certificado de As, se adquirió a través del presupuesto que asigna la Vicerrectoría de Investigación de la UCR.

2.1 Análisis de las muestras de agua potable investigadas

Se tomaron muestras de agua potable de 26 nacientes, un total de nueve muestras por naciente, las cuales se publican con un valor promedio, que en su mayoría correspondieron a ASADAS del cantón de Grecia, siguiendo el procedimiento descrito en RUG-LQ-000: Muestreo simple de aguas y RUG-LQ-001: Buenas prácticas de laboratorio y medición. Las mismas fueron recolectadas en envases de plástico, con capacidad de 1.8 L, previamente lavado, al cual se le adicionó 2 mL de ácido nítrico concentrado, para preservar el As que pudiese existir en la muestra. Durante su traslado, se mantuvieron en hieleras a 4°C bajo cadena de frío hasta su análisis, 24 horas después de su recolección.

2.2 Reactivos e instrumentación

Los reactivos empleados en las soluciones, son: Boro hidruro de sodio al 1 %, se prepararon 500 mL, en NaOH al 0.5 % m/V; Ácido nítrico concentrado, Ácido clorhídrico al 5 %, se prepararon 500 mL de reactivo. Como gas de arrastre en el AA-GH, se utilizó nitrógeno y como sustancia de referencia, se utilizó estándar de Arsénico, 1000 mcg/mL, marca J.T.Baker; en todo momento, se utilizó agua destilada y desionizada tipo I, para preparación tanto de las curvas de calibración, así como para el lavado de cristalería y limpieza de tuberías del equi-

po, excepto durante la cuantificación de As en la muestras de agua potable, las cuales no requirieron dilución. Finalmente para la preparación de soluciones estándar de Arsénico, se realizaron las siguientes diluciones, que incluyen el cálculo de la incertidumbre expandida para dicha concentración, según la cuadro 1.

Cuadro 1: Datos para preparar Patrones de Arsénico, en la determinación analítica con absorción atómica acoplado a un generador de hidruros.

| Cación | | Arsénico (mcg/mL) |
|----------------------|--|-------------------|
| Estándar Certificado | | 1000 |
| Solución Madre 1 | | 10 |
| Solución Madre 2 | | 0.2 |

| Patrón | Alícuota mL | ± 0.6 mcg/L |
|--------|-------------|-----------------|
| Blanco | 0.00 | 0.0 |
| 1 | 0.40 | 1.6 |
| 2 | 1.00 | 4.0 |
| 3 | 2.00 | 8.0 |
| 4 | 4.00 | 16.0 |
| 5 | 10.00 | 40.0 |
| 6 | 15.00 | 60.0 |

2.3 Procedimiento analítico para la determinación del catión

Se siguió el procedimiento indicado en el Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, 2012; en las secciones 3110, 3113B, 3114A, 3114C, bajo el principio de relación entre absorción y concentración, que permitió la detección y cuantificación del As de forma cuantitativa, utilizando un método sensible, rápido y de casi nula generación de desechos químicos de laboratorio.

3 Discusión y Resultados

El aporte de estudios como el presente pretende cuantificar una sustancia tóxica poco conocida y ofrecer la oportunidad de adelantarse a patologías con cuadros clínicos ya declarados, y a su malignidad. Así, y para este caso en particular, se podría detectar arsenicismo en la población, en forma temprana [Montero, V; Quesada, J. 2010].

El equipo AA-GH utilizado para la cuantificación de As se basa el principio demostrado por Kirchoff que expresa lo siguiente: cualquier materia que pueda emitir luz a una cierta longitud de onda, también absorberá luz a esa longitud de onda. En absorción atómica el interés de medir la absorción, consiste en conocer la proporcionalidad que representa su concentración atómica. La relación entre absorción y concentración se encuentra definida en la Ley de Lambert-Beer, la cual establece que como la trayectoria de la radiación permanece constante y el coeficiente de absorción es característico para cada elemento, la absorbancia es directamente proporcional a la concentración de las especies absorbentes, lo que permite su determinación cuantitativa.

La linealidad obtenida experimentalmente en la curva de calibración presenta un coeficiente de correlación de 0,9972; dicha curva fue preparada utilizando seis patrones y un blanco de corrección, cubriendo el ámbito de concentración de 0-60 ppb o mcg/L (ver figura 1).

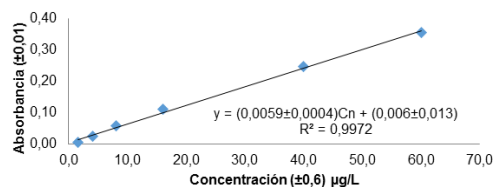


Figura 1: Curva de calibración de Arsénico, partiendo de solución madre de 0,2 mcg/mL. Proyecto Investigación N°540-B5-036. Fuente: El Autor, 2015.

La evaluación de la precisión se determina mediante un análisis de la receptibilidad; es decir, midiendo la concentración de la disolución patrón de concentración de As, en tres ocasiones, obteniendo una desviación estándar de 0.06. La veracidad se determinó midiendo la absorbancia repetidamente en una disolución de 2.00 ± 0.06 ppb; la concentración obtenida fue de $1.7 \pm 0,9$ ppb, para un sesgo de -0,3 ppb.

Se realiza un análisis estadístico, utilizando la herramienta ANOVA, aplicando una calibración univariante, determinando como valor calculado para F, de 8.03 contra una F crítica de 4.22 y con una probabilidad de 0.0087, situación que permitió asegurar el cumplimiento de tres condiciones básicas:

- 1) Cada conjunto de datos es independiente del resto
- 2) Los resultados obtenidos para cada conjunto siguen una distribución normal
- 3) Las varianzas de cada conjunto de datos no difieren de forma significativa

Las concentraciones de As registradas en las muestras de agua recolectadas en los 26 nacientes de Grecia, presentaron un rango entre 0.55–2.20 mcg/L con un valor promedio de $1.35 \pm 0,06$ mcg/L (Ver figura 2). Importante destacar que todos los valores determinados analíticamente están dentro del rango recomendado según el decreto N°32327-S el cual indica que se permite un valor máximo de 10 mcg/L, es decir que las concentraciones cuantificadas son aproximadamente 10 veces más pequeñas para la zona de estudio, respecto a lo señalado en la normativa.

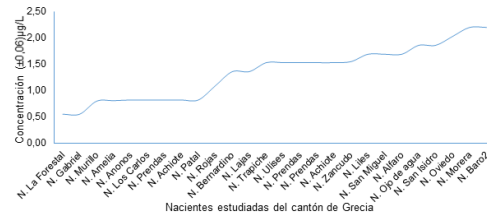


Figura 2: Concentración de arsénico en agua potable de 26 nacientes del cantón de Grecia. Proyecto Investigación N°540-B5-036. Fuente: El Autor, 2015

Como se mencionó el As se puede acumular en las personas debido a un proceso llamado bioacumulación a nivel del cabello, uñas, piel y huesos. Además, investigaciones recientes revelan que la ingesta de arsénico a través del agua potable durante períodos prolongados es causante de cáncer de vejiga, pulmones, piel, riñones, fosas nasales, hígado y próstata [COFRES. 2007].

Países como México, Argentina, Chile, Perú, Bolivia y Nicaragua, ofrecen a millones de personas de manera permanente, agua con niveles de arsénico elevados, poniendo en riesgo su salud en tal magnitud, que en algunos de esos países, tal situación se ha convertido en un problema de salud pública [Castro, M. 2006].

Se sabe que en la mayoría de los casos la presencia de As en aguas superficiales y subterráneas de América Latina es natural y está asociada al volcanismo terciario y cuaternario desarrollado en la Cordillera de Los Andes, la cual proviene de la disolución de minerales, la erosión y desintegración de rocas y por deposición atmosférica principalmente. Como se mencionó a inicio, el As se encuentra presente en prácticamente todas las fuentes de agua subterránea del mundo, aunque en concentraciones tan bajas que no representan un riesgo para la salud.

En Costa Rica es necesario atender esta situación a fin de minimizar sus efectos y disminuir el arsenicis-

mo en zonas afectadas como Guanacaste y Zona Norte de Alajuela; no obstante, primero debe existir una caracterización sobre la concentración de As en las distintas zonas del país donde se consume y se utiliza el agua. Recientemente AyA, UCR, UNA, así otras organizaciones públicas y privadas, encausan sus esfuerzos hacia éste propósito, con la convicción de atender con prontitud y tener claro el grado de exposición al As en agua potable, del resto del país.

Dado lo prolongado de los efectos de As en la salud según [Villalobos, H; Hidalgo J. 2011], aunado al bajo control y monitoreo que ha existido sobre la presencia del catión en agua a nivel mundial, la extensión total de los efectos adversos en la salud es desconocida. Con los datos ofrecidos en la presente investigación, se ha logrado actualizar y cuantificar de manera confiable, la existencia de As en el agua del cantón de Grecia; su cuantificación para ésta zona de estudio, representa una concentración aproximadamente 10 veces inferior a los parámetros recomendados a nivel nacional e internacional por las autoridades de salud más estrictas y competentes.

El aporte del estudio, pretende mejorar la cantidad y calidad de información que existe sobre el As como sustancia tóxica, altamente contaminante. Actualmente las autoridades nacionales encargadas de la fiscalización no dan abasto con la caracterización del agua a nivel nacional, debido a los recientes hallazgos de concentraciones tóxicas en nacientes varios poblados del país; lo anterior, debido a que el país tiene a lo largo y ancho 112 volcanes, de los cuales 5 tiene actividad volcánica declarada y uno de ellos es el volcán Poás, el cual está muy próximo a las nacientes investigadas.

La actualización de datos permite enfocar recursos y priorizar en aquellas zonas que verdaderamente re-

quieren una intervención por parte del estado, específicamente por las autoridades de salud, convirtiendo el estudio en una oportunidad para adelantarse a patologías con cuadros clínicos ya declarados debido su potencial maligno.

Pese a que el cantón de Grecia se ubica en las faldas del volcán Poás, donde la probabilidad de encontrar As de origen natural es alta, como ocurre en muchos países de América Latina; la estructura volcánica, la composición del suelo y la concentrada actividad en la zona del cráter, conlleva un escaso contacto y solubilidad del mineral. También, el comportamiento de amplia oferta hídrica del cantón de Grecia, para una población de más de 80000 habitantes y creación de varias áreas de protección en las zonas de recarga, donde se ubican las nacientes, hacen que el agua consumida por estas poblaciones se encuentre prácticamente libre del metal pesado.

Finalmente, es importante destacar que los datos de la investigación más relevantes en materia de contaminación de agua, se dan conocer junto con un informe operacional. El ente administrador, a partir del uso informado, será el responsable de generar acciones concretas y modelos de prevención sobre la gestión del recurso hídrico, lo anterior por cuanto aunque el artículo hace énfasis en el arsénico, la investigación estudió además, otros aniones y cationes que también son importantes en materia de salud y de contaminación ambiental. No se incluyó en el presente estudio, el análisis de agua potable proveniente de pozos profundos, que aunque en el cantón son utilizados principalmente por entes administradores organizados a nivel de urbanizaciones, no están constituidas como ASADAS, ni tampoco son competencia de la Municipalidad de Grecia.

4 Conclusiones

La concentración de arsénico medida en 26 nacientes del cantón de Grecia, es en promedio, diez veces más baja, respecto a los valores que establece el Reglamento para la Calidad del Agua Potable utilizado en Costa Rica. El parámetro de As indicado en el decreto presenta un valor igual que otras normas recomendadas como la OMS, las cuales son estrictas en asegurar una concentración mínima en agua potable, que evite la generación padecimientos serios en la salud, debido al consumo de agua.

Es de vital importancia conocer los parámetros que determinan la calidad del agua potable que tiene un uso la comunidad; lo anterior permite tener un mapeo completo del cantón en términos de uso de agua potable, con el fin de proporcionar indicadores de factores de riesgo completos sobre la vulnerabilidad de contaminación respecto al arsénico.

La presente investigación se convierte en una herramienta poderosa en materia de prevención y seguimiento sobre la gestión adecuada del recurso hídrico, ya que revela el grado de contaminación a la que está expuesta la comunidad del cantón y por ende se puede asegurar que el nivel de riesgo o de peligro para la salud que significa el consumo de arsénico en agua potable, para la

población de Grecia, y la posibilidad de padecer arsenicosis, tiene un riesgo muy bajo para la zona de estudio.

Existe en materia hídrica un grado de heterogeneidad considerable a nivel de nacientes aún en el mismo cantón, la principal razón es que el movimiento orogénico, corresponde a una única cuenca, lo cual provoca pocos cambios en las concentraciones de Arsénico de un sitio a otro, pero que como se mencionó, en ninguno de los sitios supera la normativa nacional e internacional recomendada.

5 Agradecimientos

Un especial agradecimiento a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, por financiar el proyecto; de igual manera se agradece a la Municipalidad de Grecia y a las ASADAS participantes, por todo el apoyo y colaboración, así como por el interés demostrado durante el desarrollo del estudio. Finalmente, un agradecimiento muy especial a las autoridades universitarias de la Sede de Occidente y del Recinto de Grecia, quienes con su logística y apoyo sustantivo favorecieron un desarrollo y culminación exitosa del proyecto investigativo.

Referencias

- [BCAS. 1997] BCAS. 1997. Arsenic special issue. Bangladesh Centre for Advanced Studies 8(1), 1-8.
- [Castro, M. 2006] Castro, M. 2006. Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública. International Congress Mexico City: Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America, Junio 20-24, Ciudad de México, México, 1-10.
- [COFRES. 2007] COFRES. 2007. Límite máximo de arsénico en el agua 10 $\mu\text{g/L}$. La problemática de los operadores para alcanzarlo. Consejo Federal de entidades de Servicios Sanitarios. Santa Fé, Argentina.
- [Gehle, K. 2009] Gehle, K. 2009. La toxicidad del arsénico. Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades División de Toxicología y Medicina Ambiental, Atlanta, EE.UU.
- [Herrera, M. 2013] Herrera, M. 2013. Contaminación con arsénico afecta agua de 24 pueblos de Guana- caste y San Carlos. La Nación.
- [Holguín, M. 2008] Holguín, M. 2008. Hidroarsenicis- mo, un gran problema para la salud. El Siglo de Torreón.
- [López, N. 2013] López, N. 2013. AyA cumplirá orden de la Sala IV de proveer agua potable a poblaciones afectadas con arsénico. La Nación.
- [Miller, J. 2002] Miller, J; Miller, J. 2002. Estadística y quimiometría para química analítica. Prentice Hall, Madrid, España.
- [Montero, V; Quesada, J. 2010] Montero, V; Quesada, J; Ledezma A; Sandoval, J. 2010. Determinación de arsénico en abastecimientos de agua para consu- mo humano de la provincia de Cartago, Costa Rica. Acta Médica Costarricense, Colegio de Médicos y Cirujanos 52(2), 96-101.
- [Moon, K; Guallar, E; Acien, N. 2012] Moon, K; Gua- llar, E; Acien, N. 2012. Arsenic exposure and car- diovascular disease: An updated systematic review. Current Atherosclerosis Reports 14(6), 542-555.
- [Standard Methods for The Examination of Water. 2012] Standard Methods for The Examination of Water and wastewater. 2012. American Public Health Associations, Washington DC. USA.
- [Truque, P. 2011] Truque, P. 2011. Armonización de los estándares de agua potable en las Américas. Orga- nización de Estados Americanos, Washinton DC, EE.UU.
- [Van Halem, D; Bakker, S; Amy, G; Van Dijk, J. 2009] Van Halem, D; Bakker, S; Amy, G; Van Dijk, J. 2009. Arsenic in drinking water: a worldwide water quality concern for water supply companies. Drinking Water Engineering and Science (2), 29-34.
- [Villalobos, H; Hidalgo J. 2011] Villalobos, H; Hidalgo J. 2011. Arsénico en el Agua Potable. Institu- to Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Subgerencia de Ambiente, Investigación y Desa- rrollo. San José, Costa Rica.
- [Welch, A; Westjohn, D; Helsel, D and Wanty, R. 1994] Welch, A; Westjohn, D; Helsel, D and Wanty, R. 1994. Arsenic in ground water of the United States: Occurrence and Geochemistry. Ground Water 38(4), 589-604.

Consulta web en referencias:

- [1] <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/cd51/arsenico-agua.pdf>
- [2] http://www.cofes.org.ar/descargas/info_sector/Arsenico/Arsenico_Propuesta_Cofes.pdf
- [3] http://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/docs/Arsenic_CSEM_Spanish.pdf
- [4] http://www.nacion.com/nacional/comunidades/Contaminacion-arsenico-afecta-agua-pueblos_0_1340465972.html
- [5] <https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/356223.hidroarsenicismo-un-gran-problema-para-la-sal.html>
- [6] http://www.nacion.com/nacional/servicios-publicos/AyA-Guanacaste-Alajuela-arsenico_0_1350065105.html
- [7] <https://www.oas.org/DSD/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf>