

Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica)

Determination of nitrites, nitrates, sulfates and phosphates in drinking water as indicators of contamination caused by human activities, in two cantons of Alajuela, province of Costa Rica

John Diego Bolaños-Alfaro¹, Gloriana Cordero-Castro²,
Gloriana Segura-Araya³

Fecha de recepción: 1 de febrero de 2017
Fecha de aprobación: 8 de mayo de 2017

Bolaños-Alfaro, J; Cordero-Castro, G; Segura-Araya, G. Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Tecnología en Marcha*. Vol. 30-4. Octubre-Diciembre 2017. Pág 15-27.

DOI: 10.18845/tm.v30i4.3408



- 1 Docente investigador del Departamento de Ciencias Naturales de la Universidad de Costa Rica, Sede de Occidente. Costa Rica. Farmacéutico, máster en Ciencias. Correo electrónico: john.bolanos@ucr.ac.cr
- 2 Estudiante de la Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Bachiller en la rama de Laboratorista Químico. Correo electrónico: glo.cordero@hotmail.com.
- 3 Estudiante de la Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Bachiller en la rama de Laboratorista Químico. Correo electrónico: gloriانا_segura@hotmail.com.

Palabras clave

Agua potable; contaminación; indicador de contaminación; anión.

Resumen

En el presente artículo se analiza la concentración de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos, en agua potable de los cantones de Grecia y Poás, de la provincia de Alajuela, Costa Rica. La investigación se realizó durante los meses de junio, julio y diciembre de los años 2015 a 2016. Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores-alerta y máximos indicados en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, N.º 38924-S, y se establecieron las posibles causas de contaminación de origen humano, según las actividades industriales, el crecimiento demográfico y el manejo de las aguas residuales, entre otros factores que afectan las distintas zonas en estudio. Como sucesos relevantes se tiene que los acueductos ASADA (Asociación Administradora del Acueducto) de La Arena y El Cajón son los que se relacionan con mayor vulnerabilidad en las nacientes e, incluso, más riesgo para la salud humana, ya que los valores encontrados están por encima de la normativa en los parámetros de concentración de nitratos, sulfatos y fosfatos, por lo que deben ser monitoreados como indicadores de contaminación.

Keywords

Drinking water; anions; contamination; contamination indicators; Pollution.

Abstract

This article consists in the analysis of nitrites, nitrates, sulfates and phosphates contained in drinking water from aqueducts of the cantons Grecia and Poás (Alajuela, Costa Rica). The research was carried out during the months of June, July and December of the years 2015-2016. Samples were taken in the following locations: La Arena, Los Angeles, Santa Gertrudis Norte and Sur, San Isidro, Carbonal, San Miguel, San Roque, Santa Rosa, Grecia and San Pedro de Poás. The results obtained are compared to the corresponding norms in the Regulation for Drinking Water Quality N.º 38924-S, which establishes the alert values of concentration of these anions. Alterations shown by data are related to possible contamination originated in human activities such as industry, population growth and sewage management, among other factors that may be affecting the areas under study. As a relevant event, the analysis establishes that the aqueducts ASADA (Administrated by Associations) of La Arena and El Cajón are the ones that represent the greatest risk for environmental and human health, since there were obtained values above the norm. For this reason, anions concentrations shall be monitored as contamination indicators.

Introducción

El agua, a pesar de que es el líquido máspreciado que se tiene sobre la tierra por tener una molécula que interviene en los procesos vitales de todo organismo viviente, siempre ha quedado rezagada dentro de las prioridades de atención. El presente artículo da a conocer la concentración de aniones encontrada en el agua potable de dos cantones de la provincia de Alajuela. Se pretende con esos resultados tener referentes para probar la evidente contaminación de origen humano; sin duda, los resultados tienen relación directa con la calidad del agua que consumen los usuarios de estos cantones.

Iones nitratos y nitritos

Estos son compuestos solubles conformados molecularmente por nitrógeno y oxígeno. En el ambiente, el nitrito (NO^{2-}) generalmente se convierte a nitrato fácilmente (NO^{3-}), lo que significa que el nitrito raramente está presente en aguas subterráneas. El nitrato es esencial en el crecimiento de las plantas. Por esta razón su uso predominante es como fertilizante y se produce en grandes cantidades industrialmente [1].

Si bien es cierto, estos compuestos forman parte del ciclo natural del nitrógeno, las actividades humanas incrementan sus niveles principalmente en el suelo, y es debido a su solubilidad en agua, por lo que llega a alcanzar concentraciones importantes en ríos o lechos profundos.

Se puede hablar entonces de que existen dos tipos de fuentes de contaminación de las aguas naturales por compuestos nitrogenados: la contaminación puntual y la dispersa. El primer caso se asocia a actividades de origen industrial, ganadero o urbano (vertido de residuos industriales, de aguas residuales urbanas o de efluentes orgánicos de las explotaciones ganaderas, y lixiviación de vertederos, entre otros), mientras que en la contaminación dispersa o difusa, la actividad agronómica es la causa principal [2].

Las principales rutas de ingreso de nitrógeno a las masas de agua son a través de aguas residuales industriales o municipales, por tanques sépticos o descargas de corrales ganaderos, residuos animales (incluyendo aves y peces) y también por las descargas de la emisión de gases de vehículos [3].

En relación con la ingesta de nitratos y sus posibles consecuencias para el ser humano como tal, un exceso de estos iones en el agua potable causa metahemoglobinemia, una enfermedad que principalmente se manifiesta en bebés de hasta 6 meses de edad y causa la disminución de la capacidad de transporte de oxígeno de los glóbulos rojos [4]; como consecuencia inmediata de ello, ocasiona una disminución del oxígeno en los órganos y tejidos de todo el cuerpo, con daños en ellos e, incluso, la muerte.

En Costa Rica, de acuerdo al Reglamento para la Calidad del Agua Potable N.º 38924-S el valor alerta para el nitrato es de 25 mg/L y su valor máximo admisible es de 50 mg/L. Para el ion nitrito el decreto indica el valor máximo admisible de 0,1 mg/L; se puede presumir entonces que valores que superen los 25 mg/L de nitrato denotan concentraciones de origen no natural en el agua y que por ende son perjudiciales para la salud del ser humano.

Ion sulfato

Los sulfatos (SO_4^{2-}) son muy abundantes en la naturaleza y su presencia en el agua varía en algunas centenas de miligramos por litro; en Costa Rica principalmente depende de la concentración del sulfato de hierro presente en el suelo o en lechos rocosos de ríos. Se sabe que la explotación de piritita en minas, conduce a un incremento del ion sulfato en agua debido principalmente a los procesos de oxidación que sufre el mineral durante su extracción en los drenajes que se hacen para la perforación [5].

Por otra parte, las concentraciones de sulfato en lluvia oscilaban entre 1,0 y 3,8 mg/L en 1980 [6]; se ha notificado un valor medio anual de alrededor de 6 mg/L de precipitación sobre Europa central [7]. Los niveles de sulfato en agua de lluvia y agua superficial se correlacionan con las emisiones de dióxido de azufre ocasionadas por la actividad humana [8], principalmente provenientes de motores que utilizan como combustible diésel.

Su afectación en el ser humano tiene que ver principalmente con el efecto laxante que surge al ingerir una alta concentración de sulfato de sodio y sulfato de magnesio, en el orden de más de 100 mg/L; además, los sulfatos en concentraciones superiores a los 200 mg/L

favorecen la corrosión de los metales y cambian el sabor al agua (en menor medida que los cloruros y carbonatos), lo que también incrementa la cantidad de plomo disuelto, proveniente de las tuberías de plomo [9]. En el organismo humano provocan como efecto secundario deshidratación, la cual es muy común después de una ingestión de más de cinco gramos al día de dichas sales, producto de un cuadro diarreico, el cual es más crítico en niños y adultos mayores.

En Costa Rica, de acuerdo al Reglamento para la Calidad del Agua Potable N.º 38924-S se estima el valor alerta para sulfatos en 25 mg/L, dado que es la concentración que asegura una calidad mínima aceptable para el consumo humano en una cantidad promedio por persona de dos litros de agua al día.

Ion fosfato

El ion fosfato (PO_4^-) se forma a partir del fósforo inorgánico que existe como mineral y contribuye directamente en el ciclo de este elemento en el ambiente. También puede existir en solución como partículas, como fragmentos sueltos o en los cuerpos de organismos acuáticos. El agua de lluvia puede contener distintas cantidades de fosfatos que se filtran de los suelos agrícolas a los cursos de agua próximos [10].

Como antecedente, se sabe que el Lago Erie durante los años 70 sufrió un incremento considerable del ion fosfato, que provocó la muerte de los peces y de muchas especies marinas, por la gran cantidad de polifosfatos provenientes de los detergentes en las aguas residuales. El ion fosfato suele operar como un nutriente del crecimiento de algas [11], esto quiere decir que al existir mayor concentración de fosfatos (PO_4^-), crecen las algas de manera desmedida, lo que a su vez afecta la cantidad de oxígeno presente en el agua y, por ende, el crecimiento descontrolado de materia orgánica viva, situación que conlleva una mayor tasa de descomposición, que finalmente conduce a un proceso franco de eutrofización.

El Decreto N.º 38924-S estima como valor alerta para el ion, 10 mg/L, y su valor máximo admisible en 25 mg/L, para garantizar la calidad de potabilidad del agua. La contaminación de lechos acuáticos con fosfatos entonces, no es con implicaciones en la salud humana, sino en el equilibrio ambiental que genera el lixiviado del ión [12].

Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en los cantones de Grecia y Poás (Alajuela, Costa Rica). Se efectuaron muestreos en las localidades de La Arena, Los Ángeles, Santa Gertrudis Norte y Sur, San Isidro, Carbonal, San Miguel, San Roque, Grecia, Santa Rosa y San Pedro de Poás. Los parámetros reconocidos en el Decreto N.º 38924-S como de *control operativo* se analizaron en el Laboratorio de Química del recinto de Grecia de la Universidad de Costa Rica: Turbidez, Olor, Sabor, pH y Cloro Residual Libre. *N:1* Completo. *N2:* Incompleto, Calcio, Sodio, Potasio, Magnesio, Fluoruro, Sulfato, Nitrito, Nitrito, Dureza total y Cloruro. *N3* Incompleto: Arsénico y Plomo, así como otras determinaciones no indicadas en el decreto: Sólidos Disueltos Totales (SDT) y Salinidad.

El decreto fue publicado en La Gaceta N.º 69, de setiembre del 2015, y establece las disposiciones de interés para la salud pública de los costarricenses como herramienta para monitorear la caracterización fisicoquímica del agua potable en las comunidades del país. A partir de los resultados obtenidos, se espera establecer los factores de riesgo para la salud de los usuarios, así como la vulnerabilidad del agua debido a fuentes de contaminación, las cuales son originadas de manera natural o por actividades humanas mal planificadas o punibles.

Materiales y métodos

En la investigación, se realizó la cuantificación de los aniones nitrito, nitrato, sulfato y fosfato mediante la técnica analítica de Cromatografía de Iones, utilizando el equipo marca Thermo Scientific, Dionex®, de modelo ICS-5000. Se consideraron las pautas y los parámetros que requiere el software CHROMELEON, para el correcto funcionamiento del equipo según procedimiento RUG-LQ-EQ-005, y la respectiva validación del método [13].

Se siguió el procedimiento de análisis para la determinación de aniones utilizado en el laboratorio de Química, y titulado en el *Manual de laboratorio* con el nombre de “Determinación de aniones por cromatografía iónica” y con el código RUG-LQ-017, que se elaboró a partir del procedimiento indicado en el Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater [13]. Finalmente, el proceso investigativo contó con presupuesto asignado por la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, que se inscribió bajo el código 540-B5-036, y permitió la compra de reactivos grado analítico y patrones certificados de aniones.

El estudio comprendió un total de 105 muestras de agua potable, que incluyó muestras en nacientes, redes de distribución y tanques de almacenamiento, provenientes de acueductos comunales y municipales de los cantones de Grecia y Poás (Alajuela, Costa Rica), pertenecientes a la provincia de Alajuela. Los resultados se reportaron como un promedio de 3 réplicas a partir de un total de cinco muestreos en dos años de estudio, realizados durante los meses de junio, julio y diciembre del 2015, y junio y julio del 2016.

Como reactivos se utilizaron agua desionizada, tipo 1, para la preparación de las curvas de calibración, y el coctel de estándares de aniones, marca Thermo Scientific; este también se manipuló para el lavado de cristalería y para la preparación de los efluentes de las soluciones estándar de fase móvil para aniones, de la marca Thermo Scientific, constituidas por carbonato/bicarbonato en proporción 4,5/0,8 mM. Se utilizó una columna C8 (L7) de diámetro interno 4,6 mm, longitud 25 cm, tamaño de partícula 5 µm. El volumen de inyección fue de 25 µL y el flujo utilizado, de 1 mL/min. La preparación de la curva de calibración se realizó por medio de las diluciones que se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Preparación de la curva de calibración del coctel de aniones.

Aniones (nitrito, nitrato, sulfato, fosfato) Estándar certificado marca J.T.Baker		100 mg/L
Solución intermedia		20 mg/L
Patrón	Alícuota mL	Concentración ± 0,02mg/L
Blanco	0	0,00
1	0,2	0,40
2	1	2,00
3	2	4,00
4	3	6,00
5	5	10,00
6	7	14,00

Discusión y resultados

La linealidad obtenida experimentalmente en la curva de calibración para el ion sulfato presenta un coeficiente de correlación (r^2) de 0,999 (ver figura 1). La curva se prepara con seis niveles de concentración y un blanco en el ámbito de concentración de 0,4-14,00 mg/L, según lo denota el cuadro 1. El criterio de aceptación para este parámetro debe ser mayor o igual a 0,995 y menor o igual a 1,000.

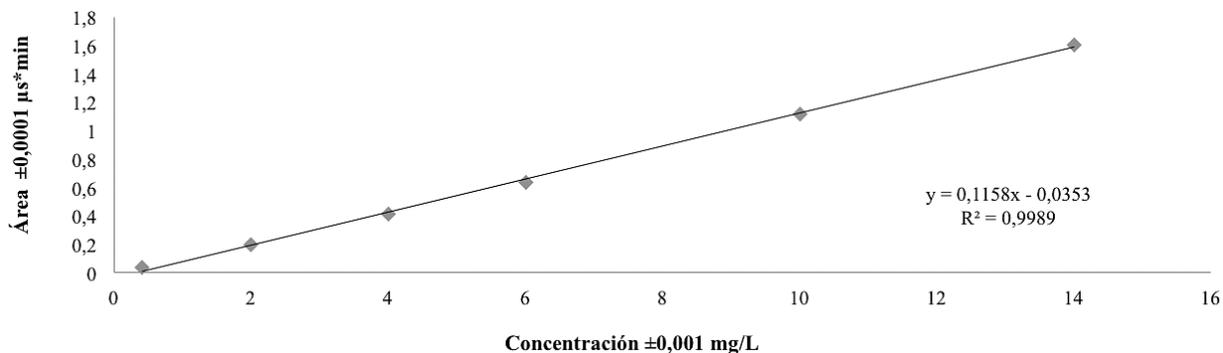


Figura 1. Curva de calibración del sulfato, a partir de una solución madre intermedia de 20 mg/L.

Previamente a las pruebas de linealidad, se comprobaron los valores de precisión, exactitud, especificidad, límite de detección y cuantificación para la determinación de aniones, para finalmente concluir que el método de cuantificación es confiable.

La desviación estándar relativa fue para sulfatos de un 0,57%, por lo que el número de repeticiones para la validación de esta prueba aceptable; además se determinó como límite de cuantificación 0,3577 mg/L. Para un límite de confianza de 95%, a partir de tres muestras ($n=3$), se obtuvo como valor estadístico 0,2036. Según lo reportado en tablas de T-Student, el valor máximo aceptado es de 4,3; por tal razón se puede asegurar que el método es confiable y sus resultados son trazables. Se considera un método robusto, ya que permanece inalterable ante pequeños cambios experimentales.

Concentraciones del ion nitrato y sus efectos en los acueductos de procedencia

Se determinó la concentración de los aniones en los acueductos ASADA y municipios de los cantones de Grecia y Poás (Alajuela, Costa Rica), y se obtuvo como resultado que el ion nitrato estuvo presente en un rango de 0 a 37,45 mg/L, destacándose valores que superaban el valor alerta indicado en el decreto N.º 38924-S, establecido en 25 mg/L (ver figura 2). Se observa para el mes de julio del 2015 que la concentración promedio obtenida en el agua que entregaba la ASADA de El Cajón alcanzó un valor de $37,45 \pm 0,02$ mg/L; comportamiento similar se reportó en el mes de diciembre del mismo año en el acueducto ASADA de La Arena, con $28,46 \pm 0,02$ mg/L.

Valores de concentración del ion nitrato tan elevados propician el hecho de hablar de una contaminación de origen humano en estas zonas, lo cual se evidencia con la sobrepoblación cerca de las nacientes, donde es notorio el irrespeto a los retiros establecidos por la Ley de Aguas, vigente en Costa Rica desde 1949.

Se considera tal situación puntual como un factor de vulnerabilidad para la comunidad debido a la filtración de nitratos al agua subterránea, que se complica con la presencia de actividades

agrícolas, principalmente el cultivo de café. Es bien sabido que las descargas de aguas residuales de origen doméstico e industrial no procesadas, junto a las aguas residuales de beneficiado de café, son también responsables del actual deterioro de la mayoría de los cuerpos de agua [14].

Del mismo modo, la presencia de nitratos se relaciona con los residuos de fertilizantes utilizados para los cultivos, e incluso de plaguicidas. Estos residuos de agroquímicos arrastrados en el agua han llegado a afectar a poblaciones, como se dio en Banderillas de Cartago, en donde, desde abril de 2006, corrieron riesgo 400 pobladores porque el acueducto de la comunidad terminó contaminado por el uso constante de fertilizantes [16].

El monitoreo de este anión permite analizarlo como indicador de contaminación ambiental de origen humano. Es así como la presencia de nitratos es indicativa incluso de una posible contaminación fecal, debido a que los iones amonio existentes en el efluente de los tanques sépticos se convierten rápidamente en nitratos y se filtran a las aguas, aun cuando exista cierta distancia entre el tanque séptico y un manantial subterráneo [16]. Este tipo de contaminación se da mediante los procesos de filtración hacia el lecho profundo donde se ubica el agua subterránea, o por escorrentía hasta llegar al cuerpo superficial más cercano, que en ambos casos pueden estar siendo utilizados para brindar un servicio de agua potable.

Sobre las consecuencias en la salud humana de la ingesta de esas concentraciones elevadas, se registra principalmente la metahemoglobinemia, que como ya se dijo es un padecimiento que ocurre en niños menores de un año de edad y que en ocasiones es fatal. Por esta razón, la FAO/OMS en el año 2002 estableció el valor para la ingesta diaria admisible de nitratos en 0 - 3,7 mg / kg del peso corporal. Se sabe que muchas madres costarricenses preparan leche de fórmula con agua del grifo, y ofrecen al niño, desde temprana edad, en promedio 650 mL diarios de leche. Un bebé en su primer mes de vida en promedio pesa 3 kg, es decir que los bebés en las comunidades citadas, durante los meses de estudio del año 2015, estuvieron recibiendo una cantidad diaria de cerca de 20 mg de nitrato, a pesar de que se sabe que con ese peso corporal no debería haber superado los 10 mg diarios del anión (concentración altamente riesgosa).

Fue por ello que a partir de estos resultados, se les hizo un llamado a las ASADA con riesgo, con el fin de que modificaran la mezcla en los tanques de almacenamiento, con agua de otras nacientes en uso y así redujeran la concentración de nitratos a partir de un proceso de dilución; además se les indicó la necesidad de mejorar junto con los agricultores las prácticas agrícolas y la vigilancia de los retiros de las nacientes y tanques de almacenamiento. Para el mes de julio de 2016, los resultados indicaron mejoras importantes y más apego a la legislación.

El agua procedente de los demás acueductos ASADA obtuvo valores en cumplimiento de la normativa, que les asegura un recurso hídrico de alta calidad, sin riesgos para la salud de sus abonados. Cabe resaltar que para diciembre de 2016 se observó una disminución en las concentraciones promedio de la mayoría de los acueductos ASADA, respecto al valor alerta establecido en el Decreto, lo cual representa una mejora en cuanto a calidad, cumplimiento y seguridad para los consumidores. Tal situación obedeció principalmente al aumento de las lluvias en los meses previos y a los frutos de las capacitaciones ofrecidas.

Concentraciones del ion nitrito y sus efectos en los acueductos de procedencia

Otro ion en estudio, el nitrito, se relaciona con los nitratos por su capacidad de convertirse en estos de manera natural. Se realizaron determinaciones para todos los acueductos ASADA en los meses de julio del 2015 y diciembre del 2016. La figura 3 muestra los resultados obtenidos en las únicas cinco comunidades donde los acueductos presentaron una concentración cuantificable del anión.

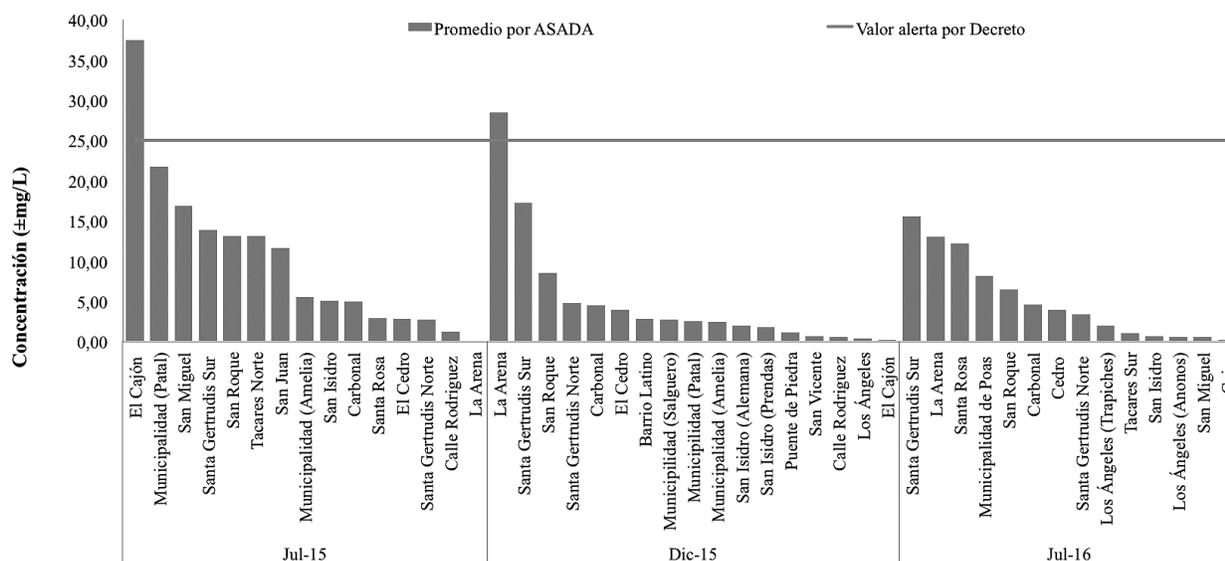


Figura 2. Concentración de nitratos obtenida en comunidades de los cantones Grecia y Poás.

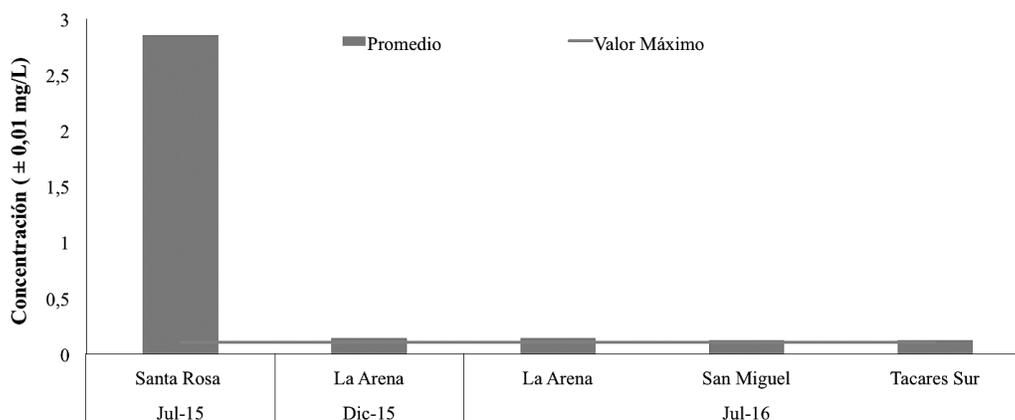


Figura 3. Concentración de nitritos obtenida en las comunidades de Grecia y Poás.

Se indica, en la figura 3, la procedencia de las cinco muestras que dieron un resultado superior al valor máximo establecido de 0,1mg/L, con valores que para Grecia oscilaron entre 0,12 y 0,14 mg/L \pm 0,01mg/L, mientras que para la comunidad de Santa Rosa de Poás, denotaron una concentración superior, con 2,85 \pm 0,01 mg/L, evidenciando una posible fuente de contaminación por nitritos por el uso excesivo de fertilizantes en los cafetales aledaños a la zona de los nacientes. Vuelvió a sobresalir también la comunidad de La Arena, sitio que además de cafetales cercanos a los nacientes, presenta construcciones de vivienda que irrespetan los retiros, y que agravan la situación con una posible mala disposición de sus aguas residuales principalmente.

En cuanto a los efectos para la salud, se le atribuye a este anión la misma enfermedad que a los nitratos, es decir, la metahemoglobinemia. La dosis para la ingesta diaria recomendada por la FAO/OMS es de 0,07 mg/kg del peso corporal. En niveles mayores y en un periodo de mediano o largo plazo ya se considera tóxico para el ser humano.

Concentraciones de ion sulfato y sus efectos en los acueductos de procedencia

Con respecto al anión sulfato, se obtuvieron valores en el rango de 0,30 - 44,88 mg/L. En la figura 4, se puede apreciar que el valor alerta establecido por el Ministerio de Salud de Costa Rica es de 25 mg/L. En tal sentido varias muestras sobrepasan este indicativo, como es el caso de las obtenidas en el acueducto ASADA de El Cajón, cuyos promedios fueron $43,19 \pm 0,02$ mg/L en julio del 2015, $32,67 \pm 0,02$ mg/L en diciembre del 2015 y $37,59 \pm 0,02$ mg/L en julio del 2016. El agua de este lugar presentó alteraciones de origen no necesariamente naturales, en las tres fechas de muestreo y análisis. También sobresalieron los altos valores de las muestras del acueducto ASADA de Los Ángeles, tomadas en diciembre de 2015 y julio de 2016, donde en promedio se obtuvo una concentración de sulfatos de 44,88 y $40,77 \pm 0,02$ mg/L respectivamente.

Es relevante mencionar que durante el muestreo de diciembre de 2015, los acueductos de Barrio Latino y Grecia Centro presentaban contenidos cercanos al límite del valor alerta de 25 mg/L. Las restantes muestras de agua potable se puede indicar que se encontraban bajo la norma y no presentaban señales visibles de contaminación ocasionada por el hombre.

La presencia del ion sulfato en el agua de consumo causa un sabor apreciable, que afecta las características organolépticas de ella; además, niveles muy altos, en el orden de los miles de miligramos, provocan un efecto laxante en los consumidores. El deterioro del sabor varía en función de la naturaleza del catión asociado; se han determinado umbrales gustativos que van de 250 mg/L, para el sulfato de sodio, a 500 mg/L, para el sulfato de calcio [7], es decir que los acueductos ASADA en estudio no van a presentar problemas en cuanto a sabor del agua, ya que la mayor concentración reportada fue de 44,88 mg/L. No obstante, Severiche [17] en el artículo "Evaluación analítica para la determinación de sulfatos en aguas por método turbidimétrico modificado" coincide en que los sulfatos no suelen originar problemas de potabilidad en las aguas de consumo humano, pero contenidos superiores a 200 mg/L pueden causar trastornos gastrointestinales en los niños.

La OMS indica que los sulfatos están presentes de forma natural en muchos minerales que se utilizan comercialmente y que se liberan al agua procedentes de residuos industriales; también por precipitación desde la atmósfera se agrega a las aguas superficiales un contenido importante de sulfatos; no obstante, las concentraciones más altas suelen encontrarse en aguas subterráneas y provienen de fuentes naturales principalmente [7]. Rodríguez [18] establece que la determinación de sulfatos generados en las industrias debe ser un requisito básico antes de verter sus aguas residuales a los efluentes. Las muestras analizadas para sus estudios obtuvieron concentraciones entre los 18,00 y 449,82 mg/L [18].

Concentraciones del ion fosfato y sus efectos en los acueductos de procedencia

El último anión determinado en la investigación fue el fosfato; a pesar de determinarse como parámetro analítico de interés durante el mes de julio en los años de 2015 y 2016, su cuantificación rara vez presenta valores detectables. La figura 5 muestra los resultados de las únicas cuatro muestras donde fue detectado y cuantificado; además se presentan dos líneas rectas horizontales, la primera representa el valor alerta de 10 mg/L y la superior, el valor máximo admisible de 25 mg/L según la normativa nacional.

Como acontecimiento relevante, el gráfico denota que el acueducto ASADA de La Arena, en el mes de julio del 2016 presentaba una saturación alarmante del ión, al sobrepasar tanto el valor alerta como el valor máximo admisible, con una concentración cuantificada de $29,99 \pm 0,02$ mg/L, clara señal de afectación por actividades humanas que contaminan el agua potable. La elevada concentración de fosfatos en el agua de ese manantial se debe, entre otros factores, al uso indiscriminado de abonos inorgánicos con fosfatos solubles. La elevada solubilidad provoca

que sean arrastrados fácilmente por las aguas de riego y lluvias, hacia el acuífero. Otra fuente de fosfatos, no evidenciada pero que se sospecha, son los vertidos urbanos con residuos de detergentes que contienen fosfatos inorgánicos en su composición como alcalinizadores [19].

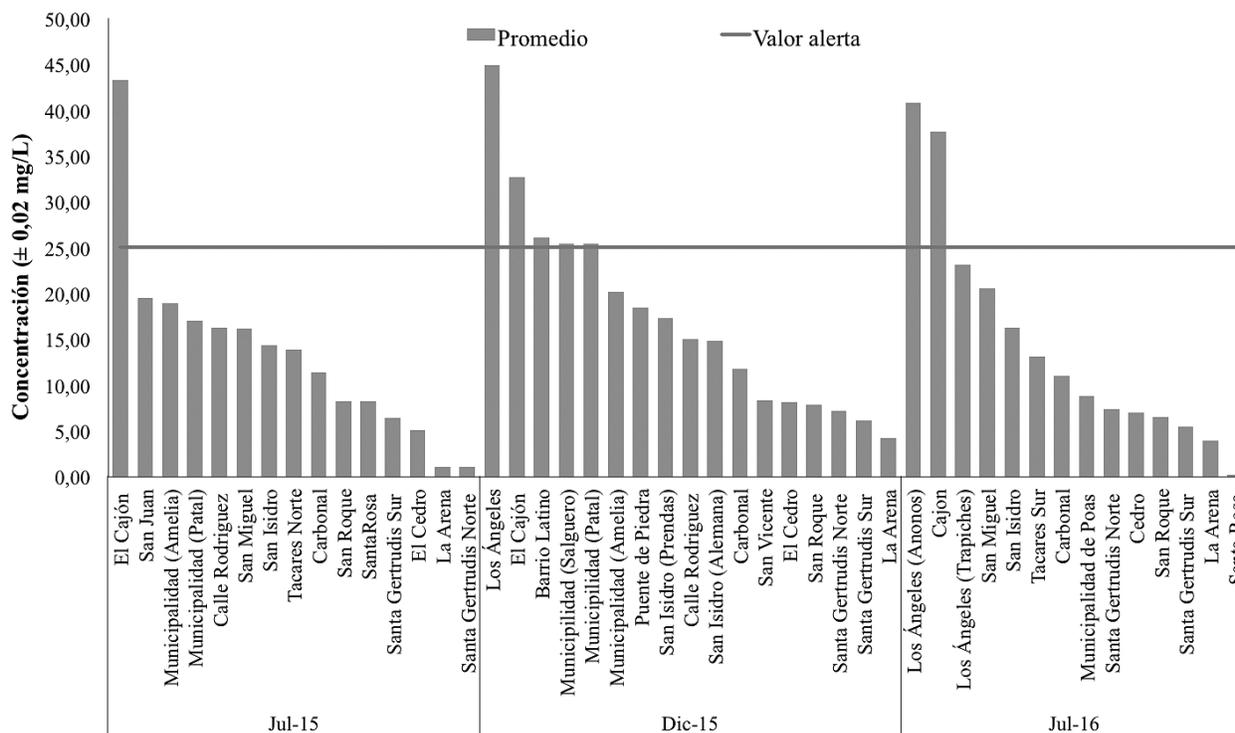


Figura 4. Concentraciones de sulfatos obtenidas en los acueductos ASADA y municipios de Grecia y Poás.

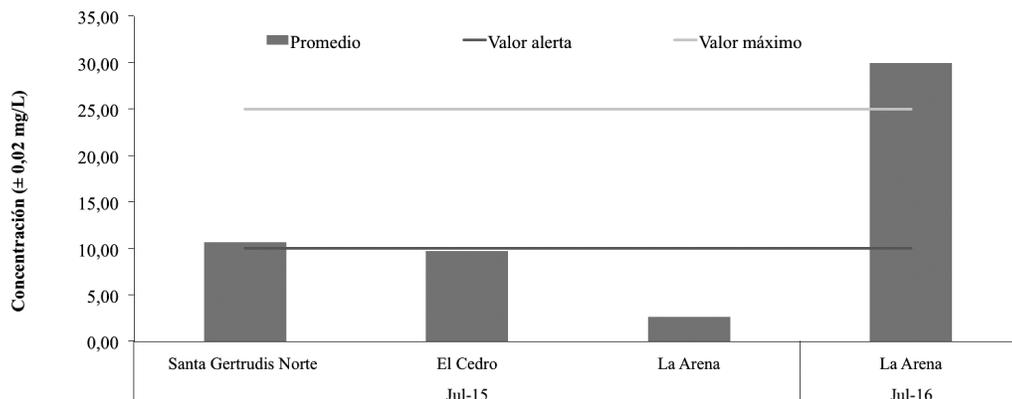


Figura 5. Concentraciones de fosfatos obtenidas en los acueductos ASADA del cantón de Grecia.

La elevada concentración también puede provenir de constituyentes naturales del suelo y minerales, así como del estiércol y otros tipos de materia orgánica proveniente de desechos agrícolas. En muchos casos, estas fuentes de contaminación son arrastradas o arrojadas a las acequias, canales, arroyos, ríos y lagos, y constituyen un grave problema ambiental [20]. Por lo

general, según Lavie *et al* [20], la contaminación fosfatada es considerada una consecuencia directa del uso de fertilizantes por la agricultura, y la zona de interés evidencia el irrespeto a los retiros de la naciente con el establecimiento de las zonas de siembra y uso agrícola.

Sobre las consecuencias del consumo de fosfatos en el agua, varios estudios científicos han observado numerosas relaciones de causa-efecto entre el consumo de aguas fosfatadas y el aumento de casos de cáncer y de enfermedades neurodegenerativas [20]. Además, el consumo de fosfatos excesivo puede causar problemas de salud, entre los que sobresalen el daño renal y la osteoporosis [19]. Como antecedente, en el artículo “Contaminación por fosfatos en el oasis bajo riego del río Mendoza” se presentan análisis de la cantidad de fosfatos en aguas superficiales, y se determina la calidad como alta, media o baja, en un rango de concentraciones de 0,14 a 8,50 mg/L [20]. Dentro de esa clasificación, el agua de las comunidades de La Arena, Santa Gertrudis Norte y El Cedro se clasificaría como de baja calidad.

Análisis comparativo

En sumatoria, se puede destacar de la presente investigación que dos acueductos, de un total de quince estudiados, presentaron la mayor cantidad de anomalías según los resultados de dos años de monitoreo. En el acueducto de El Cajón (ver figura 6) en el mes de julio del 2015, se encontraron alteraciones en cuanto al contenido de nitratos y sulfatos; mientras que en diciembre de ese mismo año, se denotó una mejoría en cuanto a la disminución de la concentración de nitratos; sin embargo la concentración de sulfatos se mantuvo, incluso para el año 2016, por lo que se puede suponer que a pesar de las recomendaciones emitidas, su elevada concentración obedece más a un proceso natural que de origen humano.

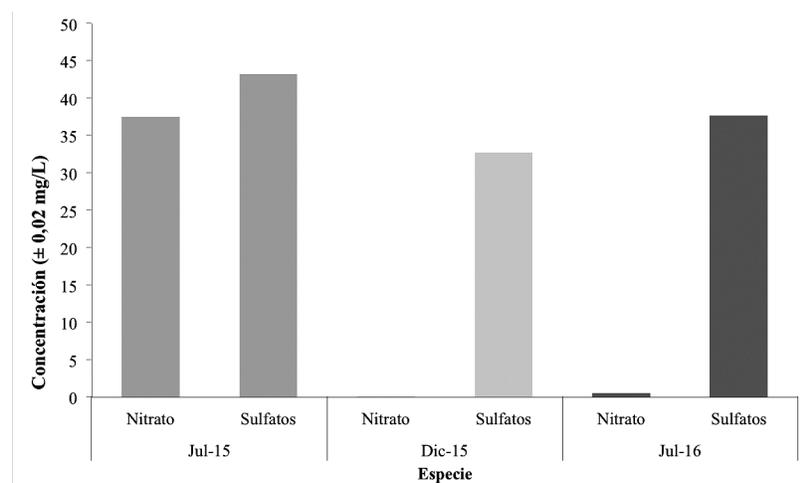


Figura 6. Concentración de aniones que sobrepasan valor alerta del Decreto N.º 38924-S en el acueducto ASADA de El Cajón, Grecia.

El acueducto ASADA de La Arena también mostró irregularidades (ver figura 7). En diciembre del 2015 los resultados elevados para el anión nitrato, de $28,46 \pm 0,02$ mg/L, y de $0,14 \pm 0,01$ mg/L para el anión nitrito, sobresalieron como indicadores de contaminación humana, incluso para el mes de julio del 2016. Origina mayor preocupación el hecho de que la concentración de fosfatos es considerable, pues supera el valor máximo admisible. Asimismo, el promedio obtenido de sulfatos se mantiene igual al análisis anterior, logrando mejorar el estado de la concentración de nitratos.

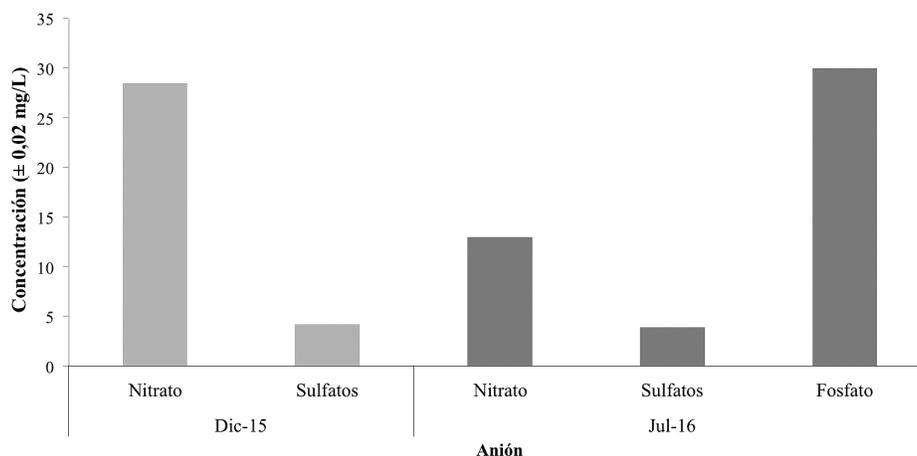


Figura 7. Concentración de aniones que sobrepasan valor alerta según Decreto N.º 38924-S en el acueducto ASADA de La Arena, Grecia.

Merecen la atención estos dos acueductos ASADA pues los resultados los catalogan con un grado importante de riesgo para el ambiente y para la salud humana; esto quiere decir que es necesaria la intervención por parte de las juntas directivas o entidades gubernamentales, en un trabajo conjunto de planteamiento y ejecución de soluciones encaminadas a reducir los procesos de aumento de esos aniones en el agua [21]. Se considera de suma importancia mantener un monitoreo frecuente por parte de los entes encargados del AyA, para determinar la condición química del agua potable y comprobar si las mejoras y acciones inmediatas acogidas por las ASADA generan los resultados esperados.

El enfoque en campañas de limpieza, capacitaciones, procesos de reciclaje y educación ambiental en escuelas son algunas de las formas de participación que la Universidad de Costa Rica actualmente propicia como complemento del proyecto de investigación. No obstante, Muñoz [22] recalca que la participación de todos los organismos involucrados es vital, para informar sobre los retos en el corto, así como en el mediano plazo, que es necesario enfrentar para asegurar la calidad y cantidad del agua potable.

Conclusiones

Se concluye que los acueductos ASADA que presentan mayor afectación en cuanto al incumplimiento con la normativa nacional referente al contenido de aniones son La Arena y El Cajón de Grecia. Esto se puede atribuir al excesivo uso de fertilizantes en las actividades agrícolas de la zona y al crecimiento demográfico, que a su vez genera aguas residuales que no reciben tratamiento. En cuanto al contenido de sulfatos en particular, el acueducto ASADA de Los Ángeles si bien presentó niveles mayores al permitido, sin embargo, estos no habían afectado el sabor del agua potable hasta el momento de los muestreos. Por otra parte, el ion fosfato se encuentra presente en el límite máximo de concentración permitido, en los acueductos ASADA de Santa Gertrudis Norte, El Cedro y La Arena; el origen de ello está principalmente en el uso de abonos fosfatados.

Los medios de propagación y dispersión de estos iones son los procesos de escorrentía, lixiviación y filtración de desechos provenientes de las actividades humanas, por lo tanto, es indispensable un buen manejo de ellos. Del mismo modo, mantener controles de la potabilidad del agua es indispensable para evitar enfermedades en el ser humano como la metahemoglobinemia, los problemas gástricos, el daño renal, desórdenes neurológicos e,

incluso, el cáncer, a los que se exponen los habitantes, según el grado de toxicidad de los aniones presentes, efectos que se pueden notar en un periodo de mediano a largo plazo y ocasionan mayor afectación en menores de seis meses.

Referencias

- [1] Singler y Bauder, *Nitrato y Nitrito*. Estados Unidos: Universidad Estatal de Montana. [On line] s.f. Disponible en <https://goo.gl/rjwCCB>
- [2] P. M. Vitousek *et al.*, "Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences", *Ecological Applications*, vol. 7, pp. 737-750, 1997.
- [3] R. Calderón. "Evaluación de la comunidad de macro invertebrados bentónicos y la calidad fisicoquímica del agua en la parte alta de la quebrada El Carracá, del municipio de Los Santos", tesis de licenciatura, Universidad Industrial de Santander, Colombia, 2004.
- [4] J. Figueruelo y M. Dávila, *Química física del ambiente y de los procesos medioambientales*. España: Reverté, S.A., 2004, pp. 570.
- [5] B. Jiménez, *La Contaminación Ambiental en México*. México: LIMUSA, Noriega Editores, 2001, pp. 911.
- [6] C. Franklin *et al.*, "Health risks from acid rain: a Canadian perspective", *Environmental Health Perspectives*, 1985, vol. 63, pp. 155-168.
- [7] Organización Mundial de la Salud, "Guías para la calidad del agua potable", en *Biblioteca de la OMS*, vol. 1, n.º 3, 2007, pp. 1-398. Disponible en www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- [8] W. Keller y J. R. Pitblade, "Water quality changes in Sudbury area lakes: a comparison of synoptic surveys in 1974-1976 and in 1981-1983", *Water, Air and Soil Pollution*, vol. 29, 1986, pp.285.
- [9] A. Gallego *et al.*, *Experimentación en química analítica*. Madrid: UNED, 2015, pp 219.
- [10] O. Sánchez *et al.*, *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. México: Instituto Nacional de Ecología, 2007.
- [11] C. Baird, *Química ambiental*. España: Reverté, S.A, 2001.
- [12] D. Andrés. *Ciencias aplicadas a la actividad profesional*, 4.º ESO. España: Editex, 2016, pp. 41.
- [13] *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Associations, Washington D. C., 2012.
- [14] M. Basterrechea *et al.*, "Impacto de descargas intermitentes de las aguas residuales de beneficio de café" en *Simposio estudios recientes sobre la contaminación del Lago Amatitlán*. Guatemala: IGA-CATIE, 2001, pp. 149-155.
- [15] P. Brizuela (22 de marzo de 2013), "Contaminación de agua por abonos químicos", en La Nación [en línea]. Disponible en <https://goo.gl/LXuWy8>
- [16] J. Pacheco y A. Cabrera, "Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas", *Rev. Ingeniería*, vol. 7, n.º 2, 2003, pp. 47-54.
- [17] C. A. Severiche y H. González, "Evaluación analítica para la determinación de sulfatos en aguas por método turbidimétrico modificado", *Ing. USBMed*, vol. 3, n.º 2, 2012, pp. 6–11, [en línea]. Disponible en web.usbmed.edu.co/usbmed/fing/v3n2/v3n2a1.pdf
- [18] A. Rodríguez *et al.*, "Determinación de sulfato por el método turbidimétrico en aguas y aguas residuales. Validación del método", *Redalyc*, vol. 12, n.º 3, 2010, pp. 39–44, [en línea]. Disponible en www.redalyc.org/pdf/4435/443543720007.pdf
- [19] L. Guarín, "Estandarización de las técnicas de fosfatos y cloruros en aguas crudas y tratadas para el laboratorio de la asociación municipal de acueductos comunitarios (amac) en el municipio de dosquebradas", tesis de licenciatura. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, 2011 [en línea]. Disponible en <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/2337>
- [20] E. Lavie *et al.*, "Contaminación por fosfatos en el oasis bajo riego del río Mendoza", *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, vol. 42, n.º 1, 2010, pp. 169-184, [en línea]. Disponible en <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=a4c779ac-b7da-4934-992c-0b06bca7d39d%40sessionmgr103&vid=1&hid=116>
- [21] FAO/OMS, *Los nitratos y nitritos en el agua de consumo*, 2002, [en línea]. Disponible en <https://goo.gl/gKU1Ah>
- [22] C. Muñoz y J. Palacio, "Nutrientes y carbono orgánico disuelto en el agua natural para un proceso de potabilización y su relación con el nivel del embalse afluyente", *Revista Politécnica*, vol. 9, n.º17, julio de 2013, pp. 27-37.