

Estudio sobre la concentración de nitratos en los principales acuíferos del Valle Central de Costa Rica, periodos 1989-2005 y 2006-2015

Nitrate concentration within the principal aquifers in the Central Valley of Costa Rica, 1989-2005 to 2006-2015

Darner A. Mora-Alvarado¹, Nuria Alfaro-Herrera², Carlos Felipe Portuguez-Barquero³

Fecha de recepción: 26 de enero de 2016
Fecha de aprobación: 3 de marzo de 2016

Mora-Alvarado, D; Alfaro-Herrera, N; Portuguez-Barquero, C. Estudio sobre la concentración de nitratos en los principales acuíferos del Valle Central de Costa Rica, periodos 1989-2005 y 2006-2015. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29-4. Octubre-Diciembre 2016. Pág 34-46.

DOI: 10.18845/tm.v29i4.3035

1 MQC/MSc. en Salud Pública. Director del Laboratorio Nacional de Aguas. Costa Rica. Correo electrónico: dmora@aya.go.cr

2 Licenciada en Química/MSc. Administración de Servicios de Salud Pública. Costa Rica. Correo electrónico: nalfaro@aya.go.cr

3 Licenciado en Gestión Ambiental. Laboratorio Nacional de Aguas. Costa Rica. Correo electrónico: fportuguez@aya.go.cr



Palabras clave

Acuífero; agua; calidad; contaminación; nitratos.

Resumen

En este artículo se presentan los resultados de un análisis de las concentraciones de nitratos en 24 fuentes de agua de los acuíferos de Barva, Colima Superior y Colima Inferior, Costa Rica, en el periodo 2006-2015, compararlos con un trabajo similar realizado en el periodo 1989-2005 e identificar el cumplimiento del valor máximo permisible de 50 mg/L estipulado en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable de Costa Rica y sus tendencias. Se analizaron cerca de 2.500 datos históricos del Programa de Vigilancia y Control de la Calidad del Agua del Laboratorio Nacional de Aguas del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Los resultados indican que las 24 fuentes son potables por nitratos y cumplen con el valor máximo permisible, con promedios inferiores a 25 mg/L, excepto La Libertad y el pozo Belén 3, y que el acuífero más vulnerable a la contaminación es Colima Superior. El punto de muestreo con mayor tendencia a la contaminación es la fuente de La Libertad, con 26,3 mg/L y 30,30 mg/L en los periodos 1989-2005 y 2006-2015, respectivamente. Se debe continuar con el monitoreo frecuente de estas fuentes y aplicar la legislación vigente, para proteger las zonas de recarga de estos tres importantes acuíferos.

Keywords

Aquifer; contamination; nitrates; quality; water.

Abstract

The study seeks to analyse the nitrate concentrations in 24 water sources within the aquifers of Barva, Colima Superior and Colima Inferior, from 1989 to 2005 and 2006 to 2015, in order to verify that these nitrate concentrations are in compliance with the maximum allowable value stipulated on the current Drinking Water Quality Regulation (50 mg/L). About 2,500 water samples were analysed from 1989 to 2015 in 24 water sources (i.e. headwaters and water wells) within the aquifers Barva, Colima Superior and Colima Inferior. The National Laboratory of Waters (Laboratorio Nacional de Aguas, LNA) provided all the nitrate dataset by means of the Drinking Water Control and Vigilance Programme. The 24 water sources presented drinking water quality regarding the nitrate values. The nitrate average was lower than 25 mg/L for the water sources, except for the headwater La Libertad and the well Belén 3. Colima Superior was the most vulnerable aquifer, and La Libertad (Colima Superior aquifer) was the sampling point with higher risk of nitrate pollution showing 26.3 mg/L, for 1989-2005, to 30.3 mg/L, for 2006-2015. Frequent monitoring of the 24 water sources within the aquifers Barva, Colima Superior and Colima Inferior should be done for establishing the baseline.

Introducción

El Valle Central de Costa Rica comprende las principales ciudades de las provincias de San José, Cartago, Alajuela y Heredia, en donde se concentra un 54% de la población del país (2.600.000 habitantes). Este crecimiento poblacional ha estado acompañado de una mayor demanda de los servicios básicos (agua potable, alcantarillado sanitario, recolección y tratamiento de desechos sólidos, electricidad y otros). La densidad urbanística, aunada a la expansión del desarrollo industrial, ha causado un deterioro persistente en el ambiente. En

el caso de los servicios de agua para consumo humano, el suministro en estas zonas está a cargo de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), los municipios, los comités de acueductos rurales (CAAR), las asociaciones administradoras de acueductos rurales (ASADAS) y el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) (Mora & Portuguez, 2005).

En términos generales, estos entes operadores se abastecen en un 65% mediante aguas subterráneas y en un 35% de fuentes superficiales (AyA, OMS/OPS, 2002). La dependencia de fuentes subterráneas (pozos y nacientes) se ha incrementado desde 1970, debido a su buena calidad y a los bajos costos de tratamiento y operación. La gran mayoría de las fuentes subterráneas proviene de tres acuíferos principales y de gran importancia: Barba, Colima Superior y Colima Inferior. En razón de la situación mencionada anteriormente, estos acuíferos han sido estudiados por varios investigadores desde principios de la década de los 70 (SENARA-BGS, 1985; Foster, Ventura & Hirato, 1987; Gómez, 1987; SENARA-BGS/AyA, 1988; Arredondo, 1995). En estos estudios se ha analizado su hidrogeología, zonas de recarga, vulnerabilidad, calidad del agua y potencial hídrico.

Con respecto a la calidad físicoquímica y microbiológica de estas aguas, estudios realizados por el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA) del AyA y el Laboratorio de Hidrogeología de la Universidad Nacional (UNA), han evidenciado una persistente presencia de nitratos, sobre todo en las fuentes de agua abastecidas por los acuíferos Barva y Colima Superior. A principios del mes de abril de 2005 la Licda. Jenny Reynolds, de la UNA, hizo públicos los resultados de una investigación titulada *Contaminación de aguas subterráneas: nitratos* (Reynolds, 2005), cuyos datos causaron gran preocupación entre la población del Valle Central. Los iones nitrato y nitrito son excelentes indicadores del efecto que tiene el uso de fertilizantes nitrogenados y tanques sépticos en el suelo, lo que favorece el traslado de los compuestos nitrogenados hacia los acuíferos.

Estos datos hicieron ver la necesidad de identificar las zonas de recarga de los acuíferos y el tipo de geología y permeabilidad de los suelos, para ubicarlas en los planes de desarrollo regionales y determinar en qué lugares se puede utilizar tanques sépticos para disponer las excretas. En concreto, los contenidos de nitratos en las aguas son un excelente indicador del uso de los suelos en determinadas zonas geográficas del país (OMS, 1995) (WHO, 1996).

Los nitratos y nitritos son iones presentes en la naturaleza que forman parte del ciclo del nitrógeno. Su distribución es muy variada, ya que se encuentran en el aire, el suelo, los alimentos y el agua. Como nitrógeno atmosférico, las concentraciones promedio normales son de 0,1 a 0,4 mg/m³, aunque en algunos países industrializados se han reportado valores promedio mensuales de 14 mg/m³; en estos mismos lugares el agua de lluvia alcanza valores de 5 mg/L. Sin embargo, la mayor fuente de nitratos son los alimentos; las carnes aportan de 2,7 a 945 mg/Kg y los vegetales contienen de 200 a 2.500 mg/Kg; por ejemplo, las lechugas y las espinacas tienen concentraciones de 2.500 mg/Kg (Pacheco & Cabrera, 2003). En las aguas superficiales, los valores oscilan entre 0 a 5 mg/L, mientras que en las aguas subterráneas varían de 0 a 9 mg/L, en forma natural. No obstante, en algunos casos se han observado valores que alcanzan varios centenares de mg/L de nitrato, debido al abuso en el uso de fertilizantes nitrogenados y a la lixiviación de la materia fecal de los animales y del propio ser humano (Lilia, 1997).

El valor máximo permisible, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable de Costa Rica (Presidencia de la República de Costa Rica, 2005), es de 50 mg/L como nitrato. Este mismo valor es el indicado por la Organización Mundial de la Salud (World Health Organization, 2004). Con respecto a los efectos de los nitratos sobre la salud humana, los estudios han demostrado que estos iones no son cancerígenos (Coss, 2004; Mora, 2003). Sin embargo, algunos estudios epidemiológicos sugieren una relación entre el consumo de nitratos en

alimentos como embutidos y el cáncer gástrico, pero investigaciones más profundas no han confirmado estos resultados.

Lo que sí se ha comprobado es que las altas concentraciones de nitratos en las aguas para consumo humano pueden inducir la enfermedad denominada metahemoglobinemia en niños lactantes, la cual disminuye su capacidad de captar oxígeno a nivel de glóbulos rojos (Rapaport, 1977).

Es a la luz de estas observaciones, y debido a la importancia de los nitratos como trazadores de los usos del suelo y su impacto sobre la calidad de las aguas, que se realizó esta investigación. Como parte de ella, se analizaron las concentraciones de nitratos (mg/L) en 24 fuentes de agua de los acuíferos de Barva, Colima Superior y Colima Inferior en el periodo 2006-2015, y se compararon los resultados con el trabajo realizado en el periodo 1989-2005; además, se identificó su grado de cumplimiento con el valor máximo permisible indicado por el Reglamento para la Calidad del Agua Potable de Costa Rica.

Materiales y métodos

Esta investigación utilizó como base el “Estudio sobre la contaminación por nitratos en los principales acuíferos del Valle Central de Costa Rica 1989-2005” (Arellano, Ramos, Vázquez, Vargas & Mora, 2005), que describe las concentraciones de nitratos en dichos acuíferos durante 17 años. Esta información se complementó con otro estudio que cubre el periodo 2006-2015; es decir, con ambas investigaciones se cubren 27 años de datos, lo que permite evaluar las tendencias de la presencia de nitratos en las fuentes de agua estudiadas. A continuación se indican los pasos que se siguieron durante el presente estudio.

Caracterización de la geología e hidrogeología del Valle Central

La caracterización de la geología e hidrogeología del Valle Central se realizó mediante el análisis de diferentes estudios elaborados desde la década de los 70; además, se aprovechó la experiencia de los profesionales del AyA en este campo.

Identificación y selección de las fuentes de agua representativas de los acuíferos del Valle Central

De conformidad con las características hidrogeológicas del Valle Central, se identificaron los pozos y manantiales representativos de cada uno de los acuíferos estudiados y se seleccionaron las fuentes, con el fin de estudiar la evolución de la contaminación por nitratos en los tres acuíferos.

Datos históricos de las fuentes de agua

Los datos históricos de los análisis de nitratos fueron aportados por el Programa de Vigilancia y Control de la Calidad del Agua del AyA, planificado y ejecutado anualmente por el LNA y procesados mediante promedios aritméticos anuales.

Muestreos y análisis de laboratorio actualizados

Las muestras y análisis de nitratos en mg/L se realizaron mediante las siguientes técnicas de laboratorio durante los 27 años de estudio.

Método de electrodo específico

Para aplicar esta técnica se utiliza un equipo Orion modelo 701 A/digital Fonalizen. Este método se aplicó de 1989 a 1997.

Método HPLC

Desde 1998 y hasta la fecha, para la cuantificación de nitratos se utiliza el método de cromatografía iónica. A partir de 2008, el LNA acreditó el muestreo y los análisis de nitratos con la Norma INTE-ISO/IEC 17025: 2005 ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA).

Comparación de los resultados promedio de nitratos

El procesamiento de los 2,500 datos de nitratos, determinados tanto para el periodo 1989-2005 como 2006-2015, permite obtener datos promedio para cada una de las fuentes estudiadas, hacer una comparación entre ellos e identificar su comportamiento.

Limitaciones del estudio

La principal limitación en este estudio es la variabilidad de las técnicas utilizadas en la cuantificación de nitratos, mencionadas anteriormente. Estas dos técnicas se han utilizado en los últimos 24 años e introducen un sesgo en el análisis de la evaluación de los datos, debido a que cada una tiene su propia incertidumbre.

Análisis de resultados

Geología del Valle Central de Costa Rica

Formación Colima

La Formación Colima aflora a lo largo del río Virilla y algunos de sus afluentes; es cortada por numerosas perforaciones profundas a lo largo del Valle Central. Está constituida por al menos siete coladas andesíticas. El espesor promedio de esta formación es de 100 m y el volumen total de unos 35 km³ (Kussmaul, 2000). Dataciones radiométricas indican edades de entre 787.000 y 340.000 años (Marshall & Idleman, 1999). Las lavas inferiores son traquiandesitas y andesitas porfíricas con fenocristales de plagioclasa, augita, hipersteno, magnetita y esporádicamente olivino, dentro de una matriz de textura intersertal. La colada superior es afírica, con un porcentaje bajo de fenocristales, dentro de una matriz fluidal que se manifiesta por pequeñas vesículas alargadas (Kussmaul, 1988).

De acuerdo con Echandi (1981) y SENARA-BGS (1985), en esta formación se definen el Miembro Belén, formado por varias capas de composición andesítica separadas por capas de toba lítica; el Miembro Puente de Mulas, que son tobas e ignimbritas con estructuras columnares y un espesor máximo conocido de 38 m; el Miembro Linda Vista, que consiste de dos capas lávicas de composición andesítica de textura brechosa o masiva fracturada, separadas por una capa de toba fina meteorizada de 10 m de espesor en promedio; la capa superior tiene unos 110 m de espesor máximo y la inferior 55 m. Es probable que estas lavas sean el producto de efusiones a lo largo de fisuras con dirección NE-SO hasta E-O, ya que su extensión lateral es muy grande. Su composición química es diferente a la de la lava de los estratovolcanes de la Cordillera Central, asemejándose más a la Formación Tiribí que la sobreyace.

Formación Tiribí

Definida Formación Tiribí por Echandi (1981) y está subdividida en los miembros denominados Nuestro Amo, Electriona y La Caja. Sobre la Formación Colima yace una capa de pómez de un espesor máximo de 3 m, producto de una gran explosión volcánica, seguida por depósitos de flujos piroclásticos con un espesor promedio de 45 m, una extensión de unos 500 km² y un volumen total de 25 km³. Aparentemente, se trata del depósito de un solo flujo piroclástico que presenta diferentes facies y grados de soleamiento. La parte inferior muchas veces está

soldada, con grandes fiamas de vidrio negro dentro de una matriz gris claro. La facies de mayor extensión y espesor es el depósito de un flujo de escorias y cenizas con bombas de hasta 1,8 m de diámetro. Generalmente, en la parte superior se encuentra una capa de ceniza de color gris, a veces muy soldada. El espesor de los flujos piroclásticos, el diámetro de las bombas escoriáceas y la frecuencia de las facies soldadas aumentan hacia el oeste, lo cual indica que pueden provenir de los volcanes de la Cordillera Central (Denyer & Arias, 1991). Por dataciones y su posición estratigráfica por encima de las lavas de la Formación Colima, se estima que las erupciones que produjeron estos depósitos ocurrieron hace menos de 400.000 años.

Formación Barva

Dentro de esta formación volcánica se definen varios miembros. El Miembro Bermúdez constituye lavas andesíticas fracturadas con variaciones abruptas de espesor relacionadas con las depresiones topográficas; su espesor es de hasta 85 m. Los miembros Porrosatí y Carbonal son arenas volcánicas gruesas y tobas arcillosas meteorizadas de hasta 20 m de espesor, los miembros Los Ángeles y Los Bambinos son lavas de unos 35 m de espesor localizadas en la parte superior de la formación, y el Miembro Cráter corresponde a los piroclastos más recientes, con espesores de 10 m. (Kussmaul, 1988) llama lavas postavalancha a las coladas de basalto y andesitas basálticas de Ciruelas y Cebadilla de la parte occidental del Valle Central; se localizan a unos 30 km del volcán Barva, el más cercano, por lo que se cree que provienen de erupciones fisurales.

Depósitos cuaternarios sin diferenciar

Al pie de los volcanes actuales se acumularon depósitos de lahares con espesores de hasta 60 m, compuestos por bloques de lava de hasta 1 m de diámetro, englobados en una matriz arenosa-arcillosa. Todo el Valle Central fue cubierto por depósitos de ceniza provenientes del volcán Irazú, que localmente alcanzan espesores de 20 m. Existen también depósitos de aluviones con granulometrías desde arenas finas hasta bloques, con mala selección y en general espesores de 5 m o menos.

Hidrogeología del Valle Central de Costa Rica

Acuífero Colima

El acuífero Colima se divide en Colima Inferior, Puente de Mulas, Colima Superior y La Libertad, que afloran en varios tramos del cañón del río Virilla. Son acuíferos fracturados y se encuentran en depósitos volcánicos. El acuífero Colima Inferior está cubierto por coladas de lava andesítica, separadas entre sí por capas de tobas que actúan como acuitardos que separan los acuíferos. Las capas de lava presentan permeabilidad por fracturas o por sus características brechosas. Las lavas del acuífero Colima Inferior producen pozos de hasta 60 L/s de agua de buena calidad. Origina manantiales que descargan en el río Virilla, al oeste de San Antonio de Belén (Vargas, 2000), de hasta 300 L/s. Este acuífero se localiza en las lavas superiores del Miembro Belén. El Miembro Puente de Mulas actúa como un acuitardo con una generada percolación vertical, que produce un confinamiento de los acuíferos inferiores en algunos sectores.

El acuífero Colima Superior se divide en Colima Superior y La Libertad. El primero se origina en una capa de lava inferior de 55 m de espesor, con una muy buena permeabilidad por fracturas y partes brechosas. Se extiende desde el cañón del río Virilla y produce numerosos manantiales de hasta 300 L/s al sur de Santo Domingo de Heredia y Alajuela, Las Ánimas y Puente de Mulas. Su profundidad varía entre 80 y 100 m y los pozos que lo captan pueden rendir caudales de hasta 100 L/s de agua de buena calidad. El acuífero superior La Libertad es una colada de lava andesítica de 110 m de espesor, que forma un acuífero colgado y produce manantiales de 100 L/s en los ríos Tibás y Virilla. Ambos están separados por una capa de toba que actúa

como acuitardo y pertenecen al Miembro Linda Vista de la Formación Colima. El AyA extrae del acuífero Colima 1.280 L/s en el campo de pozos de La Valencia, 650 L/s del manantial de Puente de Mulas y 250 L/s de Potrerillos (Ramírez, 2002).

Acuífero Barva

Este acuífero se origina en las escorias y lavas fracturadas de la Formación Barva y está cubierto por cenizas. El nivel de las aguas subterráneas muestra fluctuaciones de hasta 7 m, que coinciden con las variaciones pluviométricas estacionales (ONU, 1973). Algunos manantiales importantes de este acuífero son Ojo de Agua (375 L/s), Echeverría (125 L/s), Conafruit (100 L/s), Belén (60 L/s) y Cebadilla (60 L/s). Cada miembro de la Formación Barva tiene características hidrogeológicas específicas. El Miembro Bermúdez origina el acuífero Barva Inferior, que descarga en numerosos manantiales que abastecen la ciudad de Heredia y otras poblaciones de la parte norte del río Virilla. Con una buena permeabilidad en las partes brechosas y en las fracturas, los pozos rinden caudales de hasta 20 L/s. Por su parte, los miembros Porrosatí y Carbonal actúan como acuitardos de gran extensión, donde subyacen los acuíferos locales Barva Superior y cubren al acuífero Barva Inferior.

El acuífero Barva Superior está conformado por los miembros Los Ángeles y Los Bambinos. Son acuíferos discontinuos y colgados de poca extensión; su permeabilidad se da en las fracturas y brechas de las coladas y los manantiales aparecen en las partes inferiores. Por sus características litológicas y la poca cobertura de materiales de baja permeabilidad, este acuífero es muy vulnerable a la contaminación bacteriológica y físicoquímica. Utilizando el método para la determinación del índice de vulnerabilidad de un acuífero conocido como DI-O-S, la zona norte del acuífero Barva se considera de alta vulnerabilidad a la contaminación, debido a los depósitos piroclásticos permeables que la cubren, como también a las lavas fracturadas que aumentan el grado de incidencia de contaminantes, principalmente en la parte norte del Valle Central. Por otro lado, la vulnerabilidad es media en las zonas de Heredia, Santo Domingo, San Pablo, San Antonio y San Juan de Tibás, donde existen coberturas de tobas de baja permeabilidad y se consideran de baja vulnerabilidad las zonas con importantes espesores e impermeabilidades bajas de las rocas.

Identificación y selección de fuentes de agua para evaluar los contenidos de nitratos

En los cuadros 1 y 2 se presentan las fuentes de agua evaluadas en los periodos 1989-2005 y 2006-2015, respectivamente.

Cuadro 1. Identificación y selección de manantiales y pozos representativos de cada acuífero del Valle Central. Estudio 1989-2005.

Nombre del acuífero	Tipo de fuente	Nombre de la fuente
Barva	Manantial	Cervecería Costa Rica
	Manantial	Ojo de Agua
	Manantial	Echeverría Katadín
Colima Superior	Pozo	W1
	Pozo	W2
	Pozo	W4
	Pozo	W7
	Pozo	Belén 1
	Pozo	Belén 2

Continúa...

Nombre del acuífero	Tipo de fuente	Nombre de la fuente
	Pozo	Belén 3
	Pozo	San Antonio 1 (CNP1)
	Pozo	San Antonio 2 (CNP 2)
	Pozo	Rivera Nuevo
	Manantial	La Libertad
	Manantial	Puente de Mulas
	Manantial	Fuente Zamora
Colima Inferior	Pozo	W3
	Pozo	W5
	Pozo	W6
	Pozo	W8
	Pozo	W9
	Pozo	W10
	Pozo	W12
	Pozo	W13
	Pozo	W14
	Pozo	W15
	Manantial	Potrerrillos

Cuadro 2. Identificación y selección de manantiales y pozos representativos de cada acuífero del Valle Central. Estudio 2006-2015.

Nombre del acuífero	Tipo de fuente	Nombre de la fuente
Barva	Manantial	Ojo de Agua
Colima Superior	Pozo	W1
	Pozo	W2
	Pozo	W4
	Pozo	W7
	Pozo	Belén 1
	Pozo	Belén 2
	Pozo	Belén 3
	Pozo	San Antonio 1 (CNP1)
	Pozo	San Antonio 2 (CNP 2)
	Manantial	La Libertad
	Manantial	Puente de Mulas
Manantial	Fuente Zamora	
Colima Inferior	Pozo	W3
	Pozo	W5
	Pozo	W6
	Pozo	W8
	Pozo	W10

Continúa...

Nombre del acuífero	Tipo de fuente	Nombre de la fuente
Barva	Manantial	Ojo de Agua
	Pozo	W12
	Pozo	W13
	Pozo	W14
	Pozo	W15
	Manantial	Potreriillos

La figura 1 permite esquematizar la ubicación geográfica, en la parte alta del Valle Central, de algunas de las fuentes seleccionadas en este trabajo.

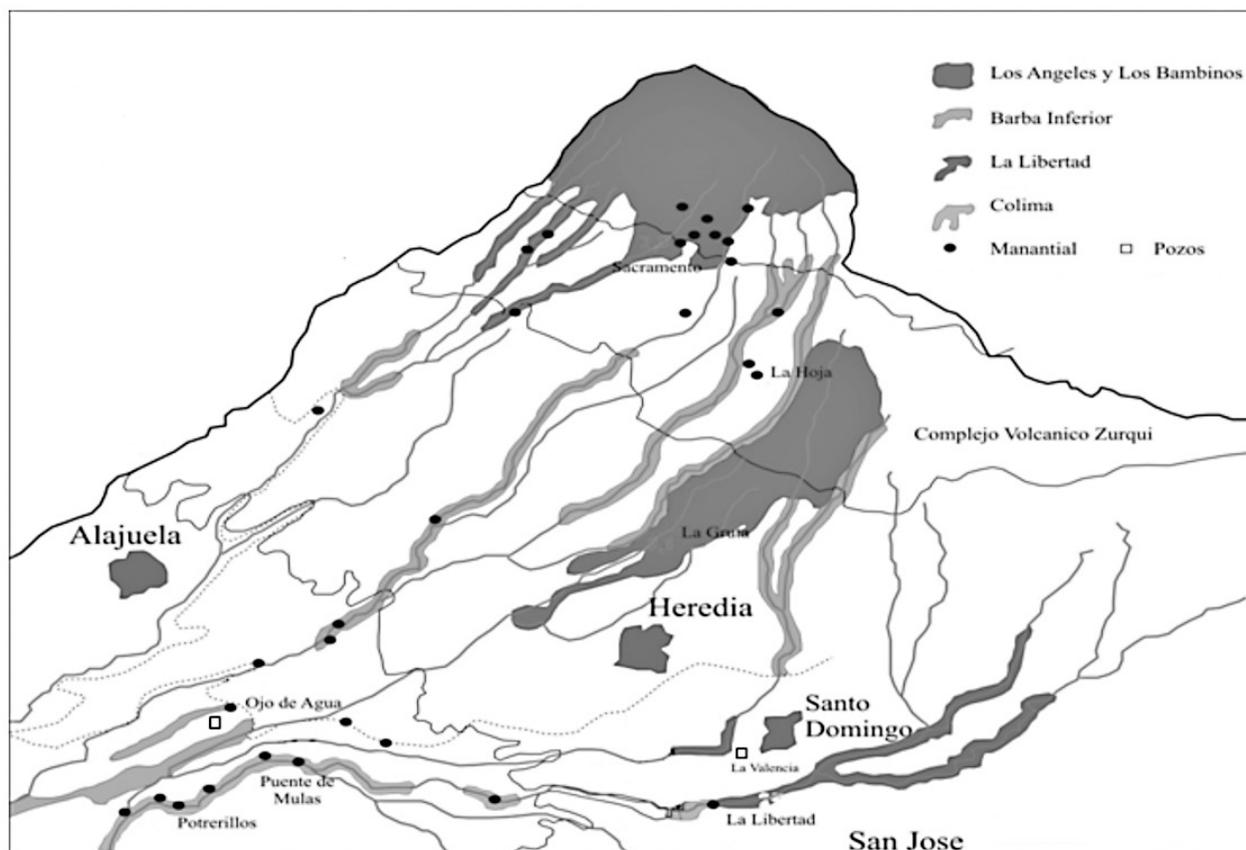


Figura 1. Ubicación geográfica de las fuentes de agua utilizadas en el presente estudio, periodos 1989-2005 y 2006-2015. Fuente: Arellano et al. (2005).

Evaluación de las concentraciones de nitratos en las fuentes seleccionadas

Promedio de los datos históricos de nitratos

En el cuadro 3 y la figura 2 se pueden apreciar y comparar los datos promedio de las concentraciones de nitratos en las fuentes estudiadas en ambos periodos.

Cuadro 3. Datos promedio de nitratos en mg/L en las fuentes de agua de los acuíferos del Valle Central de Costa Rica, periodos 1989-2005 y 2006-2015.

Fuente	Nitratos en mg/L Periodo 1989-2005	Nitratos en mg/L Periodo 2006-2015	Diferencia
Puente de Mulas	22,0	21,70	-0,30
La Libertad	26,3	30,30	4,00
Ojo de Agua	19,4	20,89	1,49
Potrillos	12,5	10,29	-2,21
Belén 1	16,10	14,93	-1,17
Belén 2	27,60	17,67	-9,93
Belén 3	31,70	28,92	-2,78
Pozo San Antonio 1 (CNP)	17,80	20,22	2,42
Pozo San Antonio 2 (CNP)	17,70	20,10	2,40
Pozo W1	10,00	12,07	2,07
Pozo W2	21,80	22,78	0,98
Pozo W3	9,60	10,20	0,60
Pozo W4	22,80	21,47	-1,33
Pozo W5	4,90	5,26	0,36
Pozo W6	8,4	6,58	-1,82
Pozo W7	17,10	18,09	0,99
Pozo W8	6,90	6,06	-0,84
Pozo W9	10,40	11,94	1,54
Pozo W10	6,10	6,33	0,23
Pozo W12	16,50	17,73	1,23
Pozo W13	6,80	6,56	-0,24
Pozo W14	10,10	10,01	-0,09
Pozo W15	8,70	8,01	-0,69
Pozo Zamora	20,30	23,61	3,31

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas, AyA.

Nota: Las 24 fuentes de abastecimiento cumplen con el valor máximo permisible de 50 mg/L de nitratos, de acuerdo con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable.

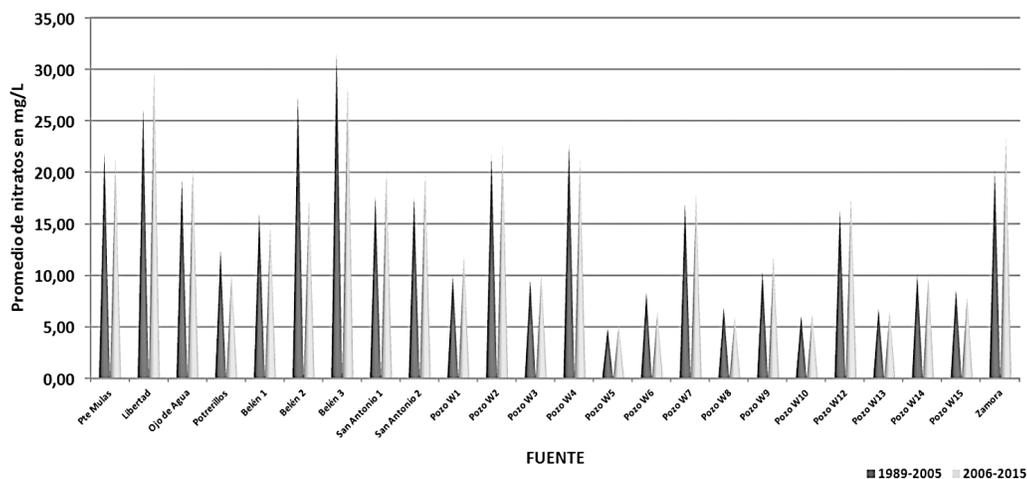


Figura 2. Valores promedio de la concentración de nitratos en las fuentes de agua del Valle Central, periodos 1989-2005 y 2006-2015. Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas, AyA.

Comparación entre las concentraciones de nitratos en ambos periodos

Los promedios de las concentraciones de nitratos del periodo 1989-2005 y el periodo 2006-2015 demuestran que:

- a. Todas las 24 fuentes de agua, representativas de los tres acuíferos, tienen concentraciones de nitratos inferiores a 50 mg/L, lo que las califica como de calidad potable.
- b. De las 24 fuentes estudiadas, las que presentan una mayor tendencia al incremento son La Libertad y Pozo Zamora, con un incremento de 4,00 y 3,31 puntos, respectivamente, entre los promedios de ambos periodos; las otras 23 fuentes de agua mantienen concentraciones muy semejantes en ambos periodos.
- c. Las nacientes de la fuente La Libertad (Colima Superior) es la de mayor concentración de nitratos, con 26,3 mg/L en el periodo 1989-2005 y 30,30 mg/L entre 2006 y 2015.
- d. La fuente Ojo de Agua, representante del acuífero Barva, mantiene un comportamiento estable en la concentración de nitratos, oscilando ente 19,4 mg/L y 20,89 mg/L en ambos periodos de estudio, respectivamente.
- e. Los pozos W5, W6, W8, W10, W13 y W15, representantes del acuífero Colima Inferior, son los que tienen menores concentraciones de nitratos, con menos de 10 mg/L de promedio en ambos periodos.
- f. De las 12 fuentes analizadas pertenecientes al acuífero Colima Superior, cinco presentan un aumento superior a dos puntos entre los promedios de ambos periodos evaluados. Cabe mencionar que la fuente Belén 2, perteneciente al mismo acuífero, presenta una disminución de 9,93 puntos entre el promedio de 1989-2005 y el de 2006-2015, una situación que resulta inexplicable sin la realización de estudios más profundos y específicos.

Conclusiones y recomendaciones

El análisis de los resultados de nitratos de los últimos 27 años en las 24 fuentes de agua estudiadas, como representativas de los tres principales acuíferos del Valle Central, permite hacer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

Conclusiones

Los valores obtenidos de las 24 fuentes de agua estudiadas muestran concentraciones de nitratos inferiores a 50 mg/L, lo cual las califica como de calidad potable.

Esta realidad es contraria a la hipótesis establecida por los estudios de Reynolds (2005), quien indicaba que la tendencia de la contaminación con nitratos en los tres acuíferos sería de aumento, estimando que para el año 2015 algunas fuentes, como Ojo de Agua y La Libertad, superarían los 50 mg/L de nitratos (Mora, 2005).

Nuestros estudios demuestran que ninguno de los puntos de muestreo superó el valor indicado por el Reglamento para la Calidad del Agua Potable y que, por el contrario, mantienen valores relativamente constantes entre los periodos 1989-2005 y 2006-2015.

El acuífero que presenta mayor vulnerabilidad a la contaminación antropogénica es Colima Superior, ya que cinco de las 12 fuentes evaluadas presentaron incrementos importantes (>2 puntos), en el promedio entre el periodo 1989-2005 y 2006-2015.

Recomendaciones

Es necesario continuar con el monitoreo de estas 24 fuentes de agua, con el propósito de valorar las tendencias de concentración de nitratos en los tres acuíferos. Dicho monitoreo lo continuará realizando el LNA.

El Estado, mediante las instituciones y ministerios respectivos, debe proteger las zonas de recarga de estos importantes acuíferos, con el objetivo superior de garantizar la cantidad y calidad del agua para las presentes y futuras generaciones.

Referencias

- Arellano, F., Ramos, V., Vázquez, M., Vargas, C. & Mora, D. (2005). *Estudio sobre la contaminación por nitratos en los principales acuíferos del Valle Central Costa Rica*. San José: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
- Arredondo, S. (1995). *Delimitación de zonas de protección de los acuíferos en el área de influencia de Belén, Heredia*. San José: SENARA.
- AyA, OMS/OPS. (2002). *Agua potable y saneamiento de Costa Rica: análisis sectorial*. San José.
- Coss, A. (2004). Pancreatic cancer and drinking water and dietary sources of nitrate and nitrite. *American Journal of Epidemiology*, 159(7), 693-701.
- Denyer, P. & Arias, O. (1991). Estratigrafía de la region central de Costa Rica. *Geología de América Central*, 12, 1-59.
- Echandi, E. (1981). *Unidades volcánicas de la vertiente norte del río Virilla*. San José: Universidad de Costa Rica.
- Foster, S., Ventura, M. & Hirato, R. (1987). *Contaminación de las aguas subterráneas: un enfoque ejecutivo de la situación de América Latina y el Caribe en relación con el suministro de agua potable*. Lima: OMS/OPS/CEPIS.
- Gómez, A. (1987). *Evaluación del potencial de los acuíferos y diseño de las captaciones de aguas subterráneas en la zona de Puente de Mulas, Heredia, Costa Rica*. San José: Universidad de Costa Rica.
- Kussmaul, S. (1988). Comparación petrológica entre el piso volcánico del Valle Central y de la cordillera central de Costa Rica. *Ciencia y Tecnología*, 12 (1-2), 109-116.
- Kussmaul, S. (2000). *Estratigrafía de las rocas ígneas en geología de Costa Rica*. Cartago, C.R.: Editorial Tecnológica de Costa Rica, pp. 63-86.
- Lilia, A. (1997). *Introducción a la Toxicología Ambiental*. México: OMS/OPS.
- Marshall, J. & Idleman, B. (1999). *40 Ar/39 Ar age constraints on quaternary landscape evolution of the central volcanic arc and Orotina debris fan, Costa Rica*. Costa Rica: Abstrac GSA Annial Metting No. 06426.

- Mora, D. (2003). Evolución de algunos aspectos epidemiológicos y ecológicos del cancer gástrico en Costa Rica. *Revista Costarricense de Salud Pública*, año 13, no. 21, 7-18.
- Mora, D. (2005). *Análisis cronológico de forma y fondo de las informaciones periodísticas sobre el contenido de nitratos en los acuíferos del Valle Central*. Acueductos y Alcantarillados, Laboratorio Nacional de Aguas, Tres Ríos, La Unión, Cartago, Costa Rica, AyA.
- Mora, D. & Portuguez, F. (2005). *Situación de cobertura y calidad del agua para consumo humano en Costa Rica al año 2004*. Acueductos y Alcantarillados, Laboratorio Nacional de Aguas, Tres Ríos, La Unión, Cartago, Costa Rica, AyA.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (1995). *Guías para la calidad del agua potable*. 2 ed. (Addendum al vol. 1).
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). (1973). *Investigaciones de aguas subterráneas en zonas seleccionadas*. New York.
- Pacheco, J. & Cabrera, A. (2003). *Fuentes principales de nitrato en aguas subterráneas*. *Ingeniería*, 7(2), 47-54.
- Presidencia de la República de Costa Rica. (3 de mayo, 2005). Reglamento para la calidad del agua potable. *La Gaceta* N° 84.
- Ramírez, A.A. (2002). *Mapa de vulnerabilidad hidrogeológica de una parte del Valle Central de Costa Rica*. *Geología de América Central*, 27, 53-60.
- Rapaport, S. (1977). *Introducción a la hematología*. 1 ed. Barcelona.
- Reynolds, J. (2005). *Contaminación de aguas subterráneas: nitratos*. Heredia, C.R.: Laboratorio de Hidrogeología Ambiental, Universidad Nacional.
- SENARA/BGS. (1985). *Mapa hidrogeológico del Valle Central, Costa Rica, escala 1:50 000*.
- SENARA-BGS/AyA. (1988). *Continuación de la investigación hidrogeológica de la zona norte y este del Valle Central 1984-1987. Informe final*. San José.
- Vargas, A. (2000). Acuíferos. En P. Denyer y S. Kussmaul (Comps.), *Geología de Costa Rica* (pp. 425-441). Cartago, C.R.: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- WHO (World Health Organization). (1996). *Guidelines for drinking water quality. Health criteria and other supporting information*. Geneva.
- WHO (World Health Organization). (2004). *Guidelines for drinking water quality*. 3 ed., vol. 1. Geneva.