

MONITOREO DE LA CONCENTRACION DE NITRATO EN EL ACUÍFERO DEL VALLE DE PUEBLA

Ruby BRENES¹, Arturo CADENA² y Rosario RUIZ-GUERRERO^{1*}

¹ Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional (CIBA-Tlax), Carr. Estatal Santa Inés Tecuexcomac-Tepetitla km. 1.5, Tepetitla. Tlaxcala, 90700, México. Correo electrónico: baruby77@hotmail.com, *maruizg@ipn.mx

² Laboratorio de Bioreacciones, Universidad Politécnica de Pachuca (UPP). Carretera Pachuca-Ciudad Sahagún km. 20 Rancho Luna Ex Hacienda de Santa Barbara, Zempoala, Hidalgo, 43830, México

(Recibido agosto 2010, aceptado agosto 2011)

Palabras clave: agua subterránea, contaminación, nitratos, precipitación, altitud, México

RESUMEN

Durante un año se midió la concentración de nitrato en el Acuífero del Valle de Puebla en muestras recolectadas mensualmente en aguas subterráneas de ocho municipios. Además se evaluó la influencia de la precipitación pluvial y de la altitud geográfica sobre los valores hallados. La concentración promedio de nitrato fue de 10.75 mg de nitrógeno de nitrato por litro (N-NO₃⁻/L) en los pozos analizados, y la más alta fue de 48 mg N-NO₃⁻/L, encontrando que el 44 % de pozos rebasa los límites establecidos para agua potable. La concentración de nitrato aumentó con la precipitación pluvial en 56 % de los pozos. Los pozos ubicados a mayor altitud presentan en promedio concentraciones menores a 3 mg N-NO₃⁻/L. En el promedio regional la concentración de nitrato en el acuífero no rebasa el límite máximo permitido por la norma. Sin embargo, 8 pozos de 16 de mediana y baja altitud presentan concentraciones que exceden la norma.

Key words: groundwater, pollution, nitrate, precipitation, altitude, México

ABSTRACT

During one year nitrate concentrations were measured monthly in eight zones in the Puebla Valley Aquifer, and the influence of rainfall and altitude was analyzed in relation with the nitrate contents. The average concentration of nitrate was 10.75 mg per liter of nitrate of nitrogen (N-NO₃⁻/L) in the wells studied, and the highest concentration was 48 mg N-NO₃⁻/L, with 44 % of wells exceeding the thresholds for drinking water. The nitrate concentration in 56 % of the wells, increased with mean annual precipitation. The wells located at higher altitudes have concentrations, on average, below 3 mg N-NO₃⁻/L. In the regional mean the nitrate concentration in the aquifer does not exceed the maximum permissible limits. However, there are 8 wells of 16 in which nitrate concentrations exceed the thresholds set by the regulations, especially in areas of low to medium altitude.

INTRODUCCIÓN

El nitrato (NO_3^-) contenido en agua subterránea se explica por diversos factores. Destacan las operaciones de granjas y establos con la aplicación de excretas de animales en áreas cultivables, la aplicación de fertilizantes nitrogenados y plaguicidas en la agricultura de riego y temporal y la presencia de tanques sépticos (Canter 1997, Pacheco y Cabrera 2003, Filintas 2005).

La toxicidad por el consumo de agua contaminada con nitrato es sobre todo severa en infantes que presentan una coloración azulosa en la piel como consecuencia de la anoxia celular producida por la fijación del nitrito en la hemoglobina, haciéndola incapaz de transportar/transferir oxígeno en la sangre (Manassaram *et al.* 2006), lo que se conoce como síndrome del bebé azul ó metahemoglobinemia (Canter 1997). Existen reportes de que del 80 al 90 % de los casos de metahemoglobinemia en el mundo se asocian con una concentración mayor de 100 mg NO_3^-/L , es decir, 22.5 mg $\text{N-NO}_3^-/\text{L}$ (Oakes 1996). En mujeres embarazadas, el consumo de agua contaminada con nitrato provoca abortos espontáneos y defectos de nacimiento en el sistema nervioso central (Manassaram *et al.* 2006). De acuerdo con diversas investigaciones (Hill 1996, Díaz 2004, Filintas 2005), el nitrito al reaccionar con el grupo amino (NH_2) de las proteínas induce la formación de compuestos químicos con potencial carcinogénico llamados nitrosaminas, que pueden ser causa de cáncer. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda un valor de referencia para la concentración de NO_3^- en agua para consumo humano con exposición a corto plazo de 50 mg/L (11.29 $\text{N-NO}_3^-/\text{L}$) y para el ión nitrito (NO_2^-) de 3 mg/L (0.91 $\text{N-NO}_2^-/\text{L}$), teniendo este último el valor de 0.2 mg/L (0.06 $\text{N-NO}_2^-/\text{L}$ si la exposición al ión es prolongada (OMS 2006). En México la Norma-127-SSA1, 1994 establece un límite expresado en nitrógeno de 10 mg $\text{N-NO}_3^-/\text{L}$, equivalente a 44.3 mg NO_3^-/L . Cabe destacar que la norma mexicana está basada en la guía para la calidad del agua potable de la OMS de 1985, ligeramente más restrictiva. Como se observa, las recomendaciones hechas en 2006 por la OMS son menos estrictas, que en años anteriores argumentando que no se han detectado casos de metahemoglobinemia en lactantes expuestos a concentraciones de 50 mg de NO_3^-/L (OMS 2006). Esta situación causa controversia, pues el valor de referencia se establece sólo tomando en cuenta los efectos toxicológicos del nitrato y no el riesgo que

representan los acuíferos al contaminarse como consecuencia de las actividades industriales y/o agrícolas, que afectan la calidad del agua a futuro.

En México se tienen registrados 653 acuíferos, de los cuales 103 se encuentran sobreexplotados (CNA 2008). En el 2007 la intensidad del uso del agua subterránea calculada como el cociente de la extracción de agua subterránea por la recarga media de los acuíferos, excedió de manera significativa a la recarga en algunas regiones. En el mismo año, 17 acuíferos presentaron problemas de intrusión salina. El usuario con mayor volumen concesionado de agua subterránea en el periodo 2000-2007 fue el sector agropecuario, seguido por el abastecimiento público e industrial (SEMARNAT 2009).

De acuerdo con la Comisión Nacional de Agua (CNA) en el año 2003, en la zona del Acuífero Valle de Puebla, los sitios de monitoreo de cuerpos de agua superficiales presentaban concentraciones en un intervalo entre 0.04 mg $\text{N-NO}_3^-/\text{L}$ y 2.25 mg $\text{N-NO}_3^-/\text{L}$. Cabe destacar que la CNA califica los cuerpos de agua con tendencia a la eutroficación a partir de 1.13 mg de $\text{N-NO}_3^-/\text{L}$ (SEMARNAT, 2005).

Actualmente la CNA no tiene reportes actualizados de esta región en cuanto a concentraciones de nitrato en aguas subterráneas (SEMARNAT 2005), por lo que es importante contar con datos vigentes que permitan conocer el impacto de la contaminación urbana, rural, industrial y de los fertilizantes agrícolas sobre la concentración de nitrato en los acuíferos.

En esta zona del acuífero se practican múltiples actividades agrícolas e industriales. Puebla se encuentra dentro de los 11 estados del país que concentran el 80 % de la superficie fertilizada a nivel nacional y las sales de nitrógeno son los fertilizantes de mayor aplicación en la agricultura (FIRA 2009). Además, los asentamientos de las industrias metalúrgica, automotriz y textil que descarga sus efluentes hacia ríos que están en contacto con el acuífero, vulneran la calidad del agua subterránea. Al no existir datos del contenido de nitrato (o nitrito) en el acuífero, se desconoce si está en riesgo la salud de más de dos millones de habitantes que consumen agua de este acuífero.

Dada la falta de información en cuanto a la calidad de agua en el Acuífero Valle de Puebla, este trabajo tuvo como objetivo evaluarla. Se monitoreó mensualmente la concentración de nitrato y nitrito en 16 pozos ubicados en 8 diferentes municipios localizados en el acuífero.

METODOLOGÍA

a) Ubicación de la zona

El área del Acuífero Valle de Puebla comprende de la capital del estado de Puebla hasta sus límites con la Sierra Nevada, cubriendo una superficie aproximada de 2000 km² se localiza entre los paralelos 18°54' y 19°28', y entre los meridianos 98°01' y 98°40' al oeste de Greenwich. Se partió de la hipótesis que la ubicación en área montañosa o en valle dentro de la zona guarda relación con la concentración de nitrato en los pozos estudiados, debido a que la zona más alta es la ubicada en las faldas del volcán Iztaccihuatl, y existe un escurrimiento natural del agua de buena calidad propia del deshielo hacia zonas más bajas, mientras que en las zonas bajas se concentra la actividad agrícola y con ella el empleo de fertilizantes y abonos, los que pudieran lixiviarse al acuífero si son aplicados en exceso. Además, se consideró que la precipitación pluvial puede influenciar los resultados, dado que una mayor precipitación facilita el transporte de nitrógeno en forma de nitrato, como lo explican estudios previos en la zona cercana (Muñoz *et al.* 2004). Los datos de precipitación pluvial empleados en este trabajo fueron recabados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para el Valle de Puebla (SMN 2009, 2010) y se consideraron los mismos datos para todo el valle.

De esta manera, se seleccionaron los pozos con base en su ubicación. Ocho municipios comprendidos dentro de la extensión del acuífero fueron seleccionados y se encuentran designados de acuerdo con la numeración de la **figura 1**.

Los municipios de mayor altitud, con respecto al nivel del mar, fueron Calpan [1] y San Felipe Teotlalcingo [2]; de mediana altitud Coronango [4], San Martín Texmelucan [3] y Huejotzingo [5] y por último de baja altitud San Pedro Cholula [6], San Andrés Cholula [7] y Puebla [8].

b) Muestreo de pozos

Se llevó a cabo el monitoreo mensual durante un año, de marzo de 2009 a febrero de 2010, de concentraciones de nitrito y nitrato en 16 pozos. Los pozos se encuentran distribuidos dentro de los ocho municipios mencionados arriba como sigue: Calpan: uno, Coronango: uno, Huejotzingo: cinco, Puebla: uno, San Andrés Cholula: dos, San Felipe Teotlalcingo: uno, San Martín Texmelucan: cuatro, San Pedro Cholula: uno. Para facilitar la identificación los pozos, las claves así como las coordenadas de ubicación y altura se asignaron de acuerdo con la **tabla I**.

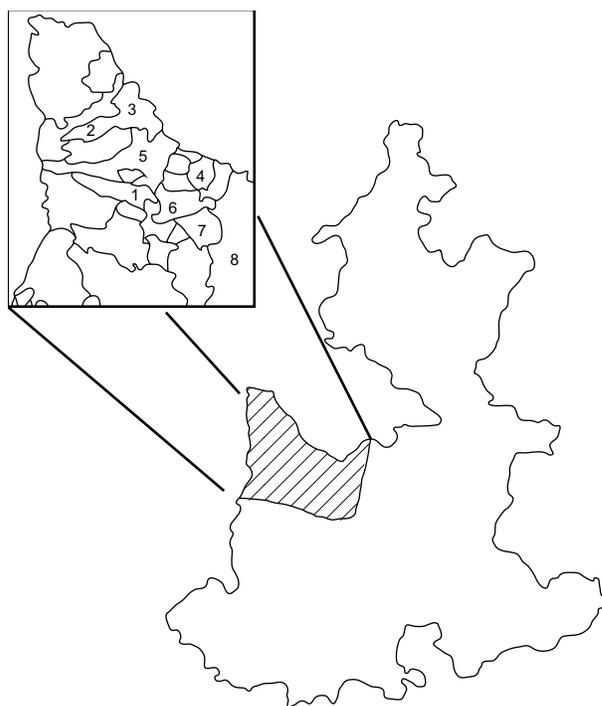


Fig. 1. Localización del Acuífero Valle de Puebla. Sitios de muestreo 1.-Calpan. 2.-San Felipe Teotlalcingo. 3.-San Martín Texmelucan. 4.-Coronango. 5.-Huejotzingo. 6.-San Pedro Cholula. 7.-San Andrés Cholula. 8.-Puebla

El muestreo se realizó conforme a lo indicado en la NOM 014-SSA1-1993. Al momento de su recolección se tomaron las lecturas de temperatura, conductividad y potencial de hidrógeno. Para la lectura de conductividad se tomó como referencia la norma NMX-AA-093-SCFI-2000, y la norma NMX-AA-008-SCFI-2000 como referencia para la medición del potencial de hidrógeno. Las lecturas fueron realizadas con un medidor de pH, temperatura, conductividad marca Conductronic, modelo PC-18. La calibración del potenciómetro fue realizada con amortiguador de fosfatos de pH 4 y 7 (J. T. Baker, Méx.) y la calibración de la sonda de conductividad fue realizada con una solución de cloruro de potasio (J. T. Baker, Méx.) 0.01 M de 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad. Las muestras fueron conservadas a 4 °C hasta el momento de su análisis.

c) Análisis de nitritos y nitratos

El análisis de nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-) se realizó con un HPLC-UV marca Agilent Technologies Series 1100 y una columna aniónica IC-PACK con grupo funcional de aminas cuaternarias de 4.6 mm x 150 mm con tamaño de partícula 10 μm y capacidad de 30 ± 3 $\mu\text{eq}/\text{mL}$ (Waters, Millipore, Milford, MA, EUA). Se construyó una curva de calibración con una mezcla de estándares de concentración conocida de

TABLA I. MUNICIPIOS, COORDENADAS DE LOCALIZACIÓN Y CLAVE DE POZOS MONITOREADOS DURANTE UN AÑO

Municipio	Localidad / lugar de muestreo	Clave pozo	Latitud norte	Longitud oeste	Altitud (msnm)
Calpan	Calpan	Calpan	19°06'20"	98°27'55"	2437
Coronango	Mihuacán	Coronango	19°08'57"	98°08'42"	2207
Huejotzingo	Los Carrizos Segundo El Manzano Santa Ana Xalmimilulco Manuel Acuña	Huejo 1	19°09'21"	98°24'30"	2273
		Huejo 2	19°09'24"	98°24'30"	2273
		Huejo 3	19°09'48"	98°24'14"	2279
		Huejo 4	19°12'30"	98°22'39"	2224
		Huejo 5	19°09'03"	98°24'17"	2289
Puebla	Balcones	Puebla	18°57'29"	98°13'51"	2104
San Andrés Cholula	Tonantzintla Cacalotepec	San Andrés 1	19°01'49"	98°19'13"	2160
		San Andrés 2	19°00'34"	98°17'44"	2159
San Felipe Teotlalcingo	San Felipe Teotlalcingo	San Felipe Teotlalcingo	19°14'13"	98°29'51"	2402
San Martín Texmelucan	Colorado San Buenaventura Tecaltzingo, Centro San Buenaventura Tecaltzingo, Suroeste San Cristóbal Tepatlaxco	San Martín 1	19°16'22"	98°27'29"	2304
		San Martín 2	19°14'47"	98°27'37"	2331
		San Martín 3	19°14'26"	98°28'15"	2331
		San Martín 4	19°18'01"	98°27'16"	2270
San Pedro Cholula	La Magdalena	San Pedro Ch.	19°03'09"	98°19'03"	2160

nitrito de sodio (Merck, Méx.) y nitrato de sodio (J.T. Baker, Méx) de 0 a 50 mg NO₂⁻/L y 0 a 100 mg de NO₃⁻/L. La cromatografía fue desarrollada a temperatura ambiente con una fase móvil de pH 8.5 compuesta de un amortiguador de borato de sodio (J.T Baker, USA) gluconato de sodio (Sigma-Aldrich, France), butanol (J. T. Baker, Méx), acetonitrilo (J.T. Baker, EUA) y agua desionizada con velocidad de flujo de 2 mL/min y volumen de inyección de muestra de 5 µL. La fase móvil fue filtrada antes de su uso al igual que las muestras recolectadas a través de un filtro marca Millipore de 47 mm de diámetro y tamaño de poro de 0.45 µm. El detector UV con arreglo de diodo (UV-DAD) fue ajustado a una longitud de 214 nm. Los tiempos de retención para los iones fueron: 6 minutos para nitrito y 10 minutos para nitrato.

d) Análisis de datos

Los datos encontrados después del monitoreo anual fueron analizados mediante la estadística descriptiva del programa Microsoft Excell 2003. Se realizaron pruebas de hipótesis tanto para evaluar si las concentraciones de nitrato en los pozos analizados representaban el valor promedio de todo el acuífero, como para evaluar si se guardaba relación con la ubicación. Los diagramas de isoconcentración fueron construidos mediante la técnica vecino natural (*natural neighbor*), con el programa Surfer 32 versión 9.9.785 (Golden Software Inc. 1993-2010).

RESULTADOS

a) Propiedades químicas generales

Los valores de pH obtenidos durante el año de muestreo de los 16 pozos se encuentran dentro del límite permitido por la norma 127, oscilan entre 6.6 y 7.7 (**Fig. 2**). El valor más alto (8.28) lo presentó el pozo San Andrés 2 en el mes de junio. El valor más bajo fue 6.25 en el pozo San Martín 4 en junio y este pozo presentó la conductividad más elevada en febrero que coincide con la concentración más alta de nitrato para este pozo. Cabe destacar que la norma mexicana no limita la conductividad.

b) Iones de interés

No hubo evidencia de la presencia nitrito (NO₂⁻) en ninguno de los pozos monitoreados a lo largo de doce meses, (**Fig. 3**). Sin embargo, los iones nitrato (NO₃⁻) presentan tendencias diversas en los pozos monitoreados durante este periodo. La concentración de este ión es variable y diferente en cada pozo.

La **figura 4** muestra las concentraciones promedio anuales de N-NO₃ y las desviaciones estándar en cada municipio. Se encontró una concentración anual promedio de 10.75 mg N-NO₃⁻/L, los datos indican que de los 16 pozos monitoreados existen siete con concentración de nitrato superior al límite permitido por la norma y estos se localizan en los municipios de San Andrés Cholula, San Pedro Cholula, Huejotzingo

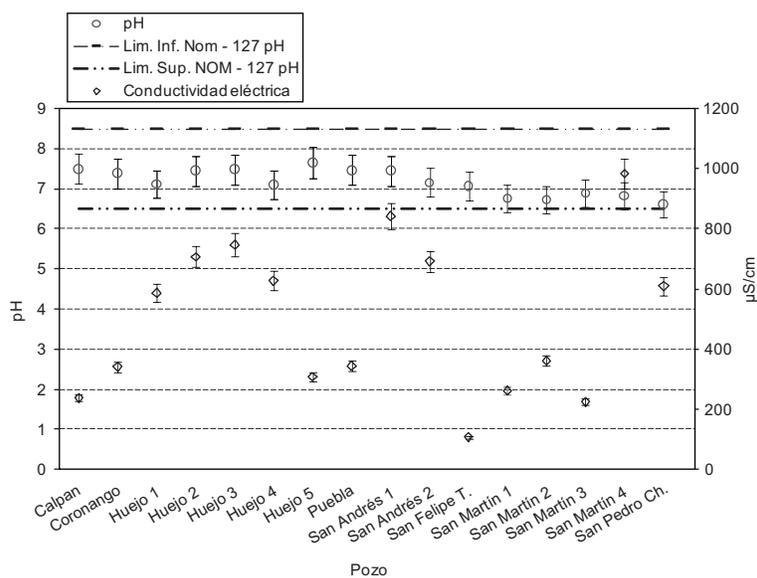


Fig. 2. Promedio anual y error estándar del pH y la conductividad eléctrica en los pozos monitoreados

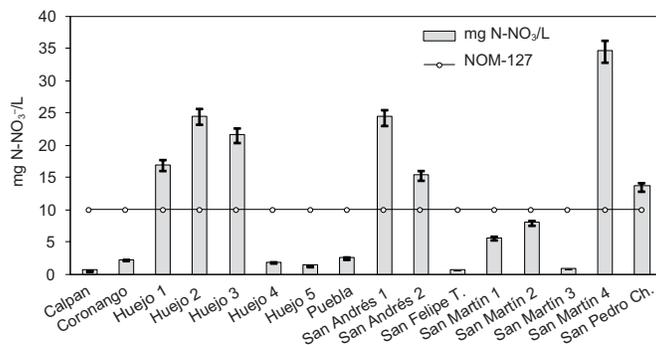


Fig. 3. Concentración promedio anual y desviación estándar de $N-NO_3^-$ por pozo monitoreado

y San Martín Texmelucan. Los pozos de San Andrés Cholula en promedio alcanzan una concentración mayor de nitrato, aunque es en el municipio de San

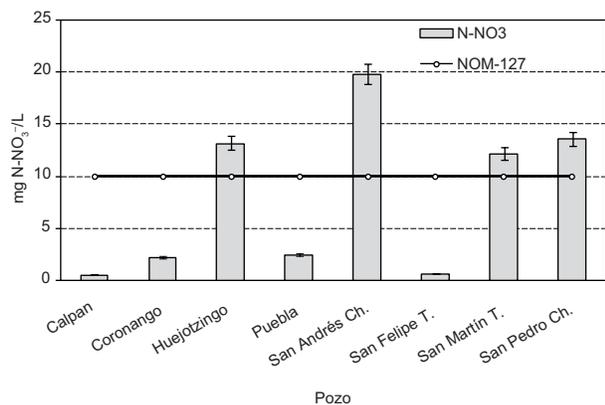


Fig. 4. Concentración promedio anual y desviación estándar de $N-NO_3^-$ por municipio

Martín Texmelucan donde se localiza el pozo San Martín 4 que presentó un valor muy por encima de la norma ($48 \text{ mg } N-NO_3^-/L$), situación que no se refleja en el promedio al no presentar una concentración similar el resto de los pozos de ese municipio.

De manera general, las isolíneas obtenidas a partir de los datos experimentales, con la concentración anual promedio de nitrato, muestran tres lentes que coinciden con los municipios donde se localizan los pozos con mayor concentración de nitrato. En la figura 5 es posible observar estos tres lentes que muestran un patrón de distribución espacial orientado hacia los municipios de San Martín Texmelucan, Huejotzingo, San Andrés y San Pedro Cholula, es decir, los municipios más contaminados se encuentran en las zonas de mediana y baja altura del acuífero en estudio. Lo anterior indica que probablemente más pozos están contaminados con nitrato dentro de esta área.

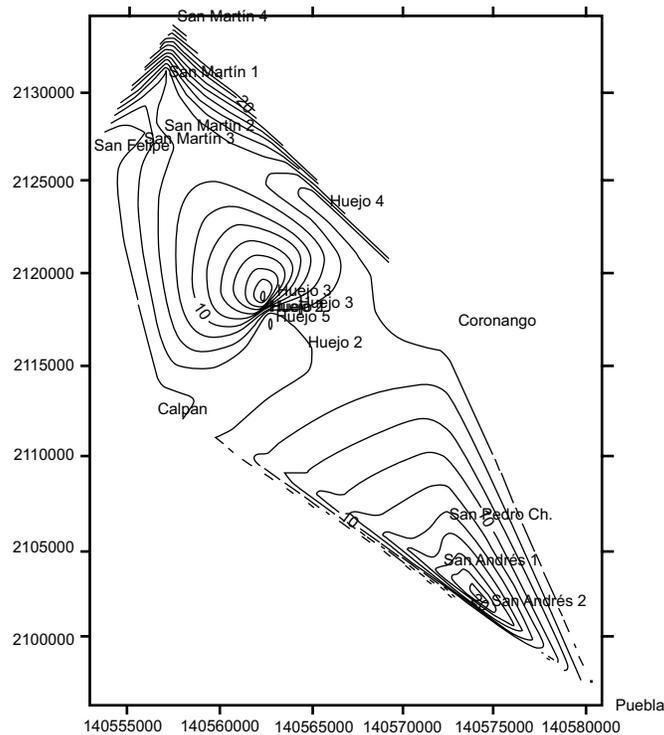


Fig. 5. Isolíneas de concentración de nitrato ($\text{mg N-NO}_3^-/\text{L}$) en el agua subterránea de 8 municipios del Acuífero Valle de Puebla

El pozo San Martín 4 tiene las concentraciones más altas de nitrato, su concentración alcanzó $48 \text{ mg N-NO}_3^-/\text{L}$ en febrero de 2009. Sin embargo, este pozo en muestreos posteriores, presentó disminución en su concentración aproximadamente a la mitad de la inicial, para volver a incrementarla en los meses finales del muestreo (sep/09 a feb/10), sin alcanzar la concentración más alta de todo el año.

Los pozos donde se detectó la menor concentración, fueron Calpan y San Felipe Teotlalcingo, en promedio, $0.5 \text{ mg N-NO}_3^-/\text{L}$ y $0.6 \text{ mg N-NO}_3^-/\text{L}$, respectivamente. Es importante mencionar que la comunidad de San Felipe Teotlalcingo se abastece de agua a partir de los deshielos del volcán Iztaccíhuatl y las muestras fueron tomadas de las cajas almacenadoras de agua que abastecen a la población. La concentración máxima alcanzada en este municipio fue de $1.6 \text{ mg N-NO}_3^-/\text{L}$ en agosto de 2009.

Se observó que la concentración de nitrato en algunos pozos estudiados se incrementa cuando inicia el periodo de lluvias. La **figura 6** muestra la tendencia de aquellos que muestran esta directriz; el pozo San Felipe Teotlalcingo, (**Fig. 6A**), a pesar de su baja concentración, tiene un claro incremento con la máxima precipitación pluvial en septiembre, lo mismo sucede en Calpan al aumentar la concen-

tración de nitrato con relación al incremento de la precipitación pluvial, sin embargo disminuye en agosto para incrementarse nuevamente en el mes más lluvioso. La **figura 6B** muestra que los pozos Huejo 5 y San Martín 3 presentan picos de concentración al inicio del periodo de lluvias disminuyendo de forma inmediata al siguiente mes, regresando a su concentración inicial. El pozo Huejo 4 presenta cierta variabilidad en su concentración cuando la precipitación pluvial comienza a incrementarse alcanzando el pico mayor en octubre, un mes después del mes más lluvioso.

En la **figura 6C**, se observa que el pozo San Andrés 1 presenta una clara elevación de la concentración de nitrato en el mes con mayor precipitación pluvial para disminuir gradualmente en los meses posteriores. En cuanto al pozo de San Pedro Cholula presenta una ligera elevación en agosto. Situación contraria presentan los pozos Huejo 1 y San Martín 2 con un aparente efecto de dilución al inicio de las lluvias y en el punto más alto de las mismas (**fig. 6D**). La concentración de nitrato de los 7 pozos restantes permanece constante durante todo el año de monitoreo y no es posible observar influencia de la precipitación pluvial sobre la concentración de nitrato, ejemplo de ello es el pozo San Martín 4 (**Fig. 7**).

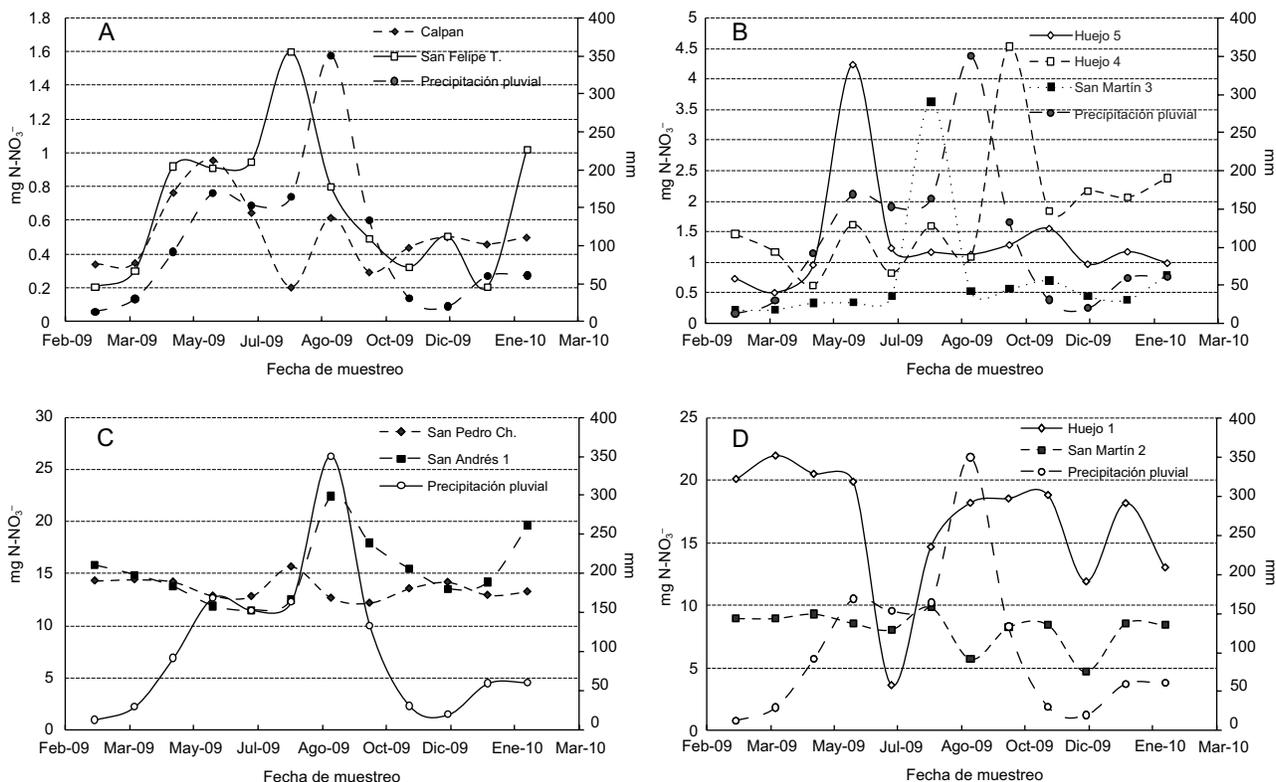


Fig. 6. Variación mensual en la concentración de NO_3^- en diferentes pozos. Pozos con concentraciones inferiores al límite máximo establecido por las norma-127: A. Calpan y San Felipe Teotlalzingo. B. Huejo 4, Huejo 5 y San Martín 3. Pozos con concentraciones muy cercanas o superiores a lo establecido en la norma-127: C. San Andrés 1 y San Pedro Cholula. D.-Huejo 1 y San Martín 2

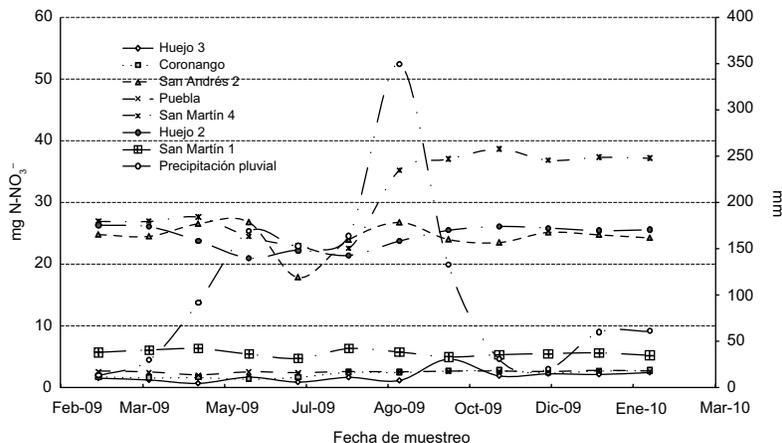


Fig. 7. Variación mensual en la concentración de NO_3^- en pozos donde no se presentó alteración considerable en un año

DISCUSION DE RESULTADOS

Los resultados que se encontraron en esta zona de estudio, en cuanto a N-NO_3^- , no difieren significativamente de lo que otros autores han reportado en zonas cercanas (Muñoz *et al.* 2004). En este estudio se encontró, de acuerdo con lo esperado, que los

pozos que se localizan a mayor altitud (Calpan y San Felipe T.) no presentan problema con los índices de concentración de NO_3^- , en mayor medida debido a que las aguas estudiadas, provienen del deshielo del volcán cercano. Sin embargo, los resultados no son tan claros en pozos que se consideraron de mediana y baja altitud, donde las pruebas de hipótesis no

arrojaron ninguna concordancia. Existen pozos que siendo muy cercanos geográficamente, inclusive en el mismo municipio, presentan índices de contaminación desiguales, el caso más concreto es en el municipio de San Martín Texmelucan, donde se encuentra el pozo con mayor índice de contaminación. Este resultado sugiere que la cercanía a la industria (textil en este caso), tiene un impacto mayor en los índices NO_3^- de que la ubicación del pozo y su relación con la precipitación pluvial o incluso los cultivos intensivos de la tierra. Por supuesto los pozos más contaminados que se detectaron se encuentran ubicados en la zona de media y baja altitud, lo que sugiere que el escurrimiento y la infiltración de agua superficial contaminada podría influir después de la temporada de lluvias, sin la certeza que la altura sea la variable que propicie la diferencia de concentración de nitrato con respecto a la precipitación pluvial

De acuerdo con la bibliografía, la tendencia en los cambios de concentración de nitrato en agua superficial y subterránea es difícil de establecer debido a que las concentraciones cambian lentamente y la diferencia entre años es comúnmente menor que las fluctuaciones dentro de cada año de monitoreo (Oakes 1996). Esta situación pareciera presentarse en el presente trabajo, al encontrar pozos cuyas concentraciones fluctúan en los meses que presentan la mayor precipitación pluvial y también pozos cuya concentración no se altera mes con mes. Desafortunadamente, al no contar con antecedentes de años previos no es posible observar si las diferencias entre las medias de cada año son significativas. Cabe destacar que el análisis de variación del ion NO_3^- , con respecto a la precipitación pluvial se realizó con la lluvia reportada para el valle de Puebla, lo que eventualmente puede presentar variación en los resultados al no contar con información puntual.

Es importante señalar que además de las actividades agrícolas (Guimera 1998), existen otros factores que afectan la concentración de nitrato en los acuíferos, como lo son el uso y el tipo de suelo, que favorece o resiste la filtración del agua de lluvia que arrastra al ión nitrato, la variabilidad meteorológica (Gunay 1997, Oenema *et al.* 1998, Muñoz *et al.* 2004) la profundidad de los pozos (Hudak 2000) y la frecuencia de fertilización, lo que origina cambios en la filtración del nitrato hacia los depósitos de agua (Hall 1992). En el valle de Puebla el suelo se compone predominantemente de depósitos aluviales que con mayor frecuencia son de tipo arenoso, lo cual facilita su transporte (CNA 2003, Bautista 2009). Como se ha explicado, la precipitación pluvial es la variable meteorológica que ha afectado de manera

más importante la concentración de algunos pozos de este acuífero pero se desconoce si esta afectación es constante año con año.

CONCLUSIONES

En promedio la concentración de nitrato encontrada en 16 pozos de 8 municipios comprendidos dentro del Acuífero Valle de Puebla no supera significativamente el límite permitido por la norma mexicana. Sin embargo el 44 % de los pozos analizados presenta niveles de nitrato que pueden significar un riesgo para la salud de la población que consume agua de estos pozos. Se encontró que el 56 % de los pozos monitoreados durante un año presentó variaciones en la concentración de nitrato, variaciones que parecen guardar una relación directa con la precipitación pluvial. No es posible concluir que las variaciones en la concentración de nitrato sólo se deban a la precipitación pluvial ya que existen otros factores que la pueden afectar y que no fueron estudiados en el presente trabajo, sin embargo se observa que los pozos con mayores concentraciones de nitrato se concentran en los municipios de mediana a baja altitud.

Es importante resaltar que si no se toman acciones pertinentes para evitar la contaminación del acuífero en el valle, pronto se tendrán concentraciones más allá de los 10 mg $\text{N-NO}_3^-/\text{L}$, que establece la norma-127 como máximo recomendado, en todos los pozos de agua.

AGRADECIMIENTOS

Ruby Brenes y Rosario Ruiz agradecen el financiamiento para la realización de este trabajo a CONACyT FOMIX-Puebla 77298.

REFERENCIAS

- Bautista S. (2009). Mapa de vulnerabilidad a la contaminación del Acuífero del Valle de Puebla, Método Drástico. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Facultad de Ingeniería. Colegio de Ingeniería Geofísica. Puebla, Méx. 64 p.
- Canter L.W. (1997). *Nitrates in groundwater*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 261 p.
- Comisión Nacional del Agua [CNA]. (2008). Estadísticas del Agua en México, 2008. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, 228 p.

- Comision Nacional del Agua [CNA] (2003). Determinación de la disponibilidad de agua subterránea en el Acuífero Valle de Puebla, Estado de Puebla, Subdirección General Técnica, 18 p.
- Ćurčić J. M., Djukic M., Vasiljevic I., Ninkovic M., y Jovanovic M. (2007). Determination of nitrate by the IE-HPLC-UV method in the brain tissues of Wistar rats poisoned with paraquat. *J. Serb. Chem. Soc.* 72, 347-356.
- Díaz D. (2004). Oxido nítrico mutagénesis y cáncer. *Rev. Cubana Invest. Biomed.* 23, 184-189.
- FIRA (2009). El mercado de los fertilizantes en México: situación actual y perspectiva 2009. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Dirección de Análisis Económico y Sectorial, México, 25 p.
- Filintas T. A. (2005). Land use systems with emphasis on agricultural machinery, irrigation and nitrates pollution, with the use of satellite remote sensing, geographic information systems and models, in watershed level in central Grecia. Tesis de Maestría, Department of Environmental Studies, Faculty of Environment, University of Aegean, Mitilini, Grecia. 122 p.
- Guimerà J. (1998). Anomalously high nitrate concentration in groundwater. *Ground Water* 36, 275-282.
- Hill M. (1996). Nitrates and nitrites from food and water in relation to human disease. En: *Nitrates and nitrites in food and water* (Woodhead Publishing Limited, Ed) Cambridge, Inglaterra. pp 163-187.
- Muñoz H., Armienta A., Vera A. y Cenicerros N (2004). Nitrate en el agua subterránea del Valle de Huamantla, Tlaxcala, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 20, 91-97.
- Massamaram M.D., Backer L.C. y Moll D.M. (2006). A review of nitrates in drinking water: maternal exposure and adverse reproductive and developmet outcomes. *Environ. Health Persp.* 114, 320-327.
- SSA(1994). Modificación a la Norma Oficial Mexicana. NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaría de Salud.
- SCFI (2000). NMX-AA-008-SCFI-2000. Análisis de Agua– Determinación del pH–Método de Prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.
- SCFI (2000). NMX-AA-093-SCFI-2000. Determinación de conductividad electrolítica - Método de Prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
- SSA (1993). NOM 014-SSA1-1993 Procedimientos Sanitarios para el Muestreo de Agua para Uso y Consumo Humano en Sistemas de Abastecimiento de Agua Públicos y Privados. Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana.
- Oakes D. (1996). Nitrate in water. En: *Nitrates and nitrites in food and water* (Woodhead Publishing Limited, Ed) Cambridge Inglaterra. pp 33-58.
- Óenema O., Boers P.C.M., van Eerdt M.M., Fraters B., van der Meer H.G., Roest C.W.J., Schröder J.J. y Willems W.J. (1998). Leaching of nitrate from agriculture to groundwater: the effect of policies and measures in the Netherlands. *Environ. Pollut.* 102-S1, 471-478.
- Organización Mundial de la Salud. (2006). Guías para la calidad del agua potable. Vol. 1, Recomendaciones. Ediciones de la OMS, Ginebra, 398 p.
- Pacheco J. y Cabrera A. (2003). Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. *Ing. Rev. Académica.* 7, 47-54.
- SEMARNAT (2009). El Medio Ambiente en México 2009: en Resumen. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dirección General de Estadística e Información Ambiental, México, 53 p.
- SEMARNAT (2005) Indicadores básicos del desempeño ambiental de México 2005. Secretaria del Media Ambientes y Recursos Naturales. Tomado del sitio <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/snua/Pages/snua.aspx>
- SMN (2009-2010). Servicio Meteorológico Nacional Tomado del sitio <http://smn.conagua.gob.mx>