

NITRATO EN EL AGUA SUBTERRÁNEA DEL VALLE DE HUAMANTLA, TLAXCALA, MÉXICO

Hipólito MUÑOZ^{1,2}, M. Aurora ARMIENTA³, Andrea VERA¹ y Nora Ceniceros³

¹ Laboratorio de Ciencias Ambientales, Centro de Investigación en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Km. 10.5 Autopista Texmelucan-Tlaxcala, Ixtacuixtla, Tlaxcala. C.P. 90120

² Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geofísica, UNAM

³ Instituto de Geofísica, UNAM, Ciudad Universitaria, Coyoacán 04510 D.F., México

(Recibido noviembre 2003, aceptado marzo 2004)

Palabras clave: contaminación, nitratos, análisis estadístico, agricultura

RESUMEN

Se investigó la influencia de diversos parámetros ambientales e hidrogeológicos en los contenidos de nitratos del agua subterránea del Valle de Huamantla, Tlaxcala. Se realizaron dos muestreos que incluyeron el 17 y 22 % de los pozos del área de estudio. Las concentraciones de nitrato se determinaron por potenciometría con electrodo de ión selectivo. Estadísticamente, por análisis de varianza paramétrica y no paramétrica, se analizó la existencia de diferencias en las concentraciones de nitrato con relación a la ubicación, el uso del agua y el tipo de agricultura que se practica donde se encuentran los pozos. La concentración promedio de nitrato en la temporada de sequía (segundo muestreo) resultó casi el doble respecto a la registrada en la temporada de lluvias (primer muestreo). En el primer muestreo se detectaron cuatro lentes y en el segundo siete, donde la concentración sobrepasó la norma de 44.29 mgL^{-1} de NO_3^- establecida por la World Health Organization (1985) para el agua potable. No se encontraron diferencias estadísticas de las concentraciones de nitratos con relación a la profundidad del nivel estático, pero la ubicación (localización del pozo en el valle o en la montaña) y el tipo de agricultura (temporal o de riego) sí influyeron en las mismas.

Key words: pollution, nitrates, statistics, agriculture

ABSTRACT

Nitrate concentrations in groundwater from the Huamantla Valley, Tlaxcala, were investigated in relation with environmental and hydrogeological parameters. Two groundwater-sampling campaigns were performed in the study area. Nitrate concentration was measured by potentiometry with an ion selective electrode. Parametric and non-parametric variance analyses were applied to assess nitrate concentration depending to location, water use, and agricultural practices. Average nitrate concentration was almost twice higher in the dry season (second sampling period) than in the rainy season (first sampling period). Four lenses in the first, and seven in the second sampling campaigns, were detected above the World Health Organization NO_3^- drinking water limit of 44.29 mgL^{-1} . Statistical significant differences were not found between nitrate content and static water level. Nitrate concentration was found to depend on location (low-plain or mountain) and agricultural practice (irrigation or seasonal).

INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua subterránea por nitratos (NO_3^-) es un problema muy extendido en muchos lugares del mundo (Canter 1997) e impone una seria amenaza al abastecimiento de agua potable (Pauwels *et al.* 2001). La Organización Mundial de la Salud establece $10 \text{ mgL}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$ (44.29 mgL^{-1} de NO_3^-) como concentración máxima en agua subterránea (WHO 1985). Las fuentes de nitrato en agua subterránea se pueden dividir en: naturales, residuos orgánicos, agricultura e irrigación (Keeney 1986, 1989). Se han realizado diversas investigaciones para conocer la relación entre la calidad del agua subterránea y las actividades agrícolas (Guimerà 1998). Hall (1992), determinó la existencia de una relación directa entre la cantidad de nitrógeno aplicado al suelo como fertilizante, principalmente estiércol, y la concentración de nitrato en agua subterránea. Hudak (2000) encontró una relación inversa entre la concentración de NO_3^- y la profundidad de los pozos. Paramasivam *et al.* (2001) midieron concentraciones menores a 10 mgL^{-1} de N-NO_3^- bajo la zona radicular (2.4 m) de un cultivo de cítricos. Se han registrado mayores concentraciones de NO_3^- en agua subterránea en años secos respecto a los años húmedos (Óenema *et al.* 1998). Kaçaroglu y Günay (1997), indicaron que la concentración de NO_3^- es menor en la época de lluvias y mayor en la época de estiaje. La actividad agrícola (especialmente la fertilización) es la principal fuente de niveles altos de nitratos, los pozos someros (de menos de 30 m de profundidad) son los más vulnerables (Spalding y Exner 1993, Mueller *et al.* 1995, Nolan *et al.* 1997). Kolpin *et al.* (1994), encontraron que los acuíferos no consolidados tuvieron concentraciones más altas que los acuíferos consolidados. Pacheco *et al.* (2001) reportan concentraciones de 7 a 156 mgL^{-1} en 12 pozos de agua potable en Yucatán, México. Antón y Díaz (2000) registraron 80 mgL^{-1} de nitrato en agua subterránea del Valle del Mezquital, México; el origen de este nitrato está ligado a la presencia de nitrógeno en el agua residual utilizada para riego.

El objetivo de este trabajo es determinar si la ubicación, el uso del agua y el tipo de agricultura, influyen en las concentraciones de nitrato en el agua subterránea del Valle de Huamantla, Tlaxcala. Para ello se cuantificaron los contenidos de nitratos en muestras de pozos y se analizaron estadísticamente con respecto a las variables mencionadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El área de estudio se encuentra localizada al este del estado de Tlaxcala, en el Eje Neovolcánico Mexicano; entre las coordenadas $19^\circ 15' - 19^\circ 30'$ latitud Norte y

$97^\circ 40' - 98^\circ 00'$ longitud Oeste (Fig.1). Es una zona con actividad agropecuaria intensa. La agricultura es tecnificada con empleo de irrigación. Los suelos predominantes son fluvisoles limosos-arenosos y regosoles dísticos (Werner 1988). El perfil hidrogeológico está conformado por cuatro unidades: dos del terciario y dos del cuaternario. Es un acuífero libre, con una zona vadosa muy permeable cuyo suelo es fluvisol producto de grandes depósitos fluvio-glaciales (brechas sedimentarias). La litología está constituida básicamente por andesitas y tobas de composición intermedia. El acuífero se encuentra constituido por sedimentos terciarios, aluviones recientes y material no consolidado (INEGI 1986).

Muestreo

Los muestreos del agua subterránea se realizaron en el verano de 2001 y en la primavera de 2002. En el primer periodo se muestrearon 36 pozos y en el segundo 46 que corresponden, respectivamente, al 17 y 22 % de los pozos que hay en el área de estudio (Fig.1). La toma de muestras de agua se realizó directamente del tubo de descarga del pozo. Se efectuaron *in situ* las mediciones de pH, temperatura, E_H y conductividad eléctrica (CE), con una celda de flujo de $23.5 \times 23.5 \times 12 \text{ cm}$, con entrada y salida opuestos, para evitar estancamiento del agua. Con una válvula se reguló el flujo de agua en la celda, para evitar aireación. La celda tiene cuatro orificios en

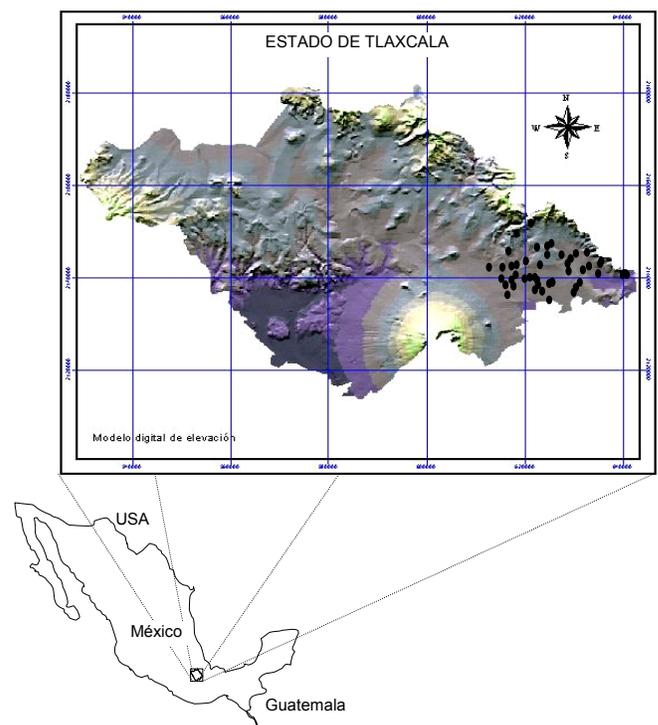


Fig. 1. Localización del área de estudio, Valle de Huamantla, al este del estado de Tlaxcala (INEGI 1986a). Sitios de muestreo señalados por los puntos

la parte superior para la introducción de los electrodos. La bomba se mantuvo en operación de 15 a 20 minutos. Las muestras se almacenaron a baja temperatura hasta su análisis. La Comisión Nacional del Agua (CNA) Gerencia Tlaxcala, efectuó la determinación de alcalinidad, calcio, magnesio, cloruro y sulfato en muestras de 46 pozos. Para la construcción de los diagramas de Piper, se calculó la concentración de sodio+potasio por medio de la ecuación de balance de cargas (Drever 1997), que puede ser escrita de la siguiente manera:

$$m_{Na^+} + m_{K^+} + 2m_{Ca^{2+}} + 2m_{Mg^{2+}} = m_{Cl^-} + 2m_{SO_4^{2-}} + m_{HCO_3^-} + 2m_{CO_3^{2-}}$$

La determinación de nitrato, se realizó con electrodo de ión selectivo (EIS) en el Centro de Investigaciones en Ciencias Biológicas (CICB) de la Universidad Autónoma de Tlaxcala. El EIS (Instrulab®) se calibró para cada lectura. Por analogía entre la ecuación de la curva y la ecuación de Nernst ($E_H = E^0 + (RT/nF)\ln Q$) se calculó la concentración (Q) a partir de los valores de E_H (mV). Donde E^0 es la ordenada al origen y RT/nF la pendiente.

Análisis de datos

Se construyeron mapas de isoconcentraciones de nitrato mediante la técnica de *kriging*, con el programa Surfer 32 versión 6.01 (Golden Software Inc. 1992-95). Mediante análisis de varianza, se determinó la existencia de diferencias en las concentraciones de nitrato con relación a la ubicación, profundidad del nivel estático, uso del agua y con el tipo de agricultura que se practica donde se encuentran los pozos. Se realizaron pruebas de normalidad gráficamente y por medio de la prueba Shapiro-Wilk (McBean y Rovers 1998) a los datos de nitrato. Sin embargo, debido a que Reimann y Filzmoser (2000), reportaron que los datos geoquímicos y ambientales no tienen distribución normal, se realizó análisis de

varianza tanto paramétrica como no paramétrica. Los pozos se agruparon de la siguiente manera: uso del agua (potable-agrícola), ubicación (valle-montaña), agricultura (riego-temporal). El análisis de varianza no paramétrica se llevó a cabo mediante la prueba de Kruskal-Wallis (McBean y Rovers 1998).

RESULTADOS

Características químicas generales

Las características generales de los resultados del muestreo de agua subterránea, que se realizó entre el verano-otoño de 2001 (final de la temporada de lluvias) y primavera de 2002 (antes del inicio de la temporada de lluvias) se presentan en la **tabla I**. La concentración promedio de nitrato fue mayor antes de la temporada de lluvias en 2002, que al final de ésta en 2001. La varianza y la desviación estándar fueron más elevados en el segundo muestreo (temporada de sequía). Este comportamiento se observó en los datos de CE y potencial redox (E_H). El mínimo y el máximo del pH y de la temperatura fueron similares entre los dos muestreos. Los valores mínimo y máximo del E_H fueron más altos en el segundo muestreo que en el primero.

Los tres tipos de promedio (aritmético, armónico y geométrico) son mayores en 2002 para el pH y el E_H , y en 2001 para la temperatura y la CE. De acuerdo con el diagrama de Piper (**Fig. 2**) (Custodio y Llamas 1983), el agua subterránea que predomina en el acuífero de Huamantla es del tipo bicarbonatada mixta.

Concentraciones de nitratos

Las concentraciones de nitratos resultaron ser en general mayores en el segundo muestreo (inicio temporada de lluvias), que en el primero (final de la temporada de

TABLA I. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE DATOS DEL MUESTREO DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL VALLE DE HUAMANTLA

Estadístico	pH		T(°C)		E_H (mV)		C.E.(μ S)		Nitrato(mgL ⁻¹)	
	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2001	2002
N	38	46	38	46	29	46	36	46	36	46
Mínimo	6.2	6.5	17.0	18.0	269	298	259	230	2.1	8.4
Máximo	8.7	8.4	34.1	31.8	422	693	826	872	51.0	77.1
Promedio A.	7.4	7.7	21.3	21.0	353	357	434	419	21.3	36.7
Mediana	7.5	7.7	20.3	20.3	362	347	398	386	19.0	35.0
Moda	7.4	7.7	19.6	20.6	408	324	-	371	-	58.4
Promedio H.	7.4	7.7	21.0	20.8	346	352	397	381	12.9	27.8
Promedio G.	7.4	7.7	21.1	20.9	350	354	414	398	15.8	32.3
D.E.	0.53	0.44	3.01	2.47	49.6	56.2	140	146	12.8	17.4
Varianza	0.28	0.19	9.06	6.08	2458	3159	19544	21323	163.4	301.8
Curtosis	0.42	-0.05	7.79	6.81	-1.10	29.19	0.61	2.20	-0.25	-0.25

H=Armónico, G=Geométrico, D.E.=Desviación estándar, E_H =Potencial redox, C.E.=Conductividad eléctrica, A=Aritmético

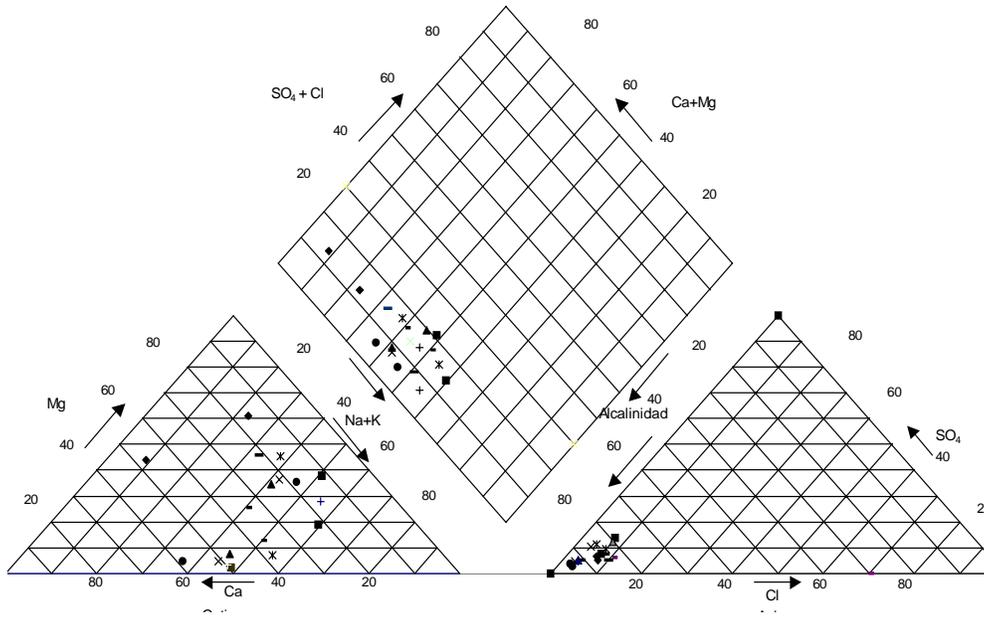


Fig. 2. Diagrama de Piper. Muestras de agua subterránea del Valle de Huamantla, Tlaxcala. Los puntos, independientemente de su forma, representan sitios de muestreo

lluvias), estos resultados coinciden con el comportamiento reportado por Kaçaroglu y Günay en un acuífero aluvial de Turquía (1997). En términos generales las isolíneas de concentración de nitrato tienen el mismo patrón de distribución espacial en los dos periodos de muestreo (**Figs. 3a** y **3b**). En el primer muestreo se detectaron cuatro lentas y en el segundo siete donde la concentración sobrepasó la norma de 44.29 mgL^{-1} de NO_3^- establecida por la Organización Mundial de la Salud (WHO 1985). El porcentaje de los pozos muestreados arriba de la norma fue de 11 % en el primer muestreo y de 41 % en el segundo.

Se localizó un punto con alta concentración de nitrato en una zona urbana, junto a ésta se encuentra un estan-

camiento de agua residual de la Ciudad de Huamantla. Sin embargo, el pozo donde se registró la concentración alta se encuentra aproximadamente a un kilómetro corriente arriba de la acumulación superficial del agua residual. Al tiempo de la escritura de este trabajo, esta ciudad empezó a tratar sus aguas residuales. En la mayoría de estos lugares se practica agricultura intensiva, Anualmente se siembran dos cultivos no tradicionales por año con el empleo de dosis altas de fertilizantes y agua. Se observó una relación inversa aunque no muy clara, entre la concentración de nitrato y el nivel estático (NE), a menor profundidad del NE se registró mayor concentración de nitrato y viceversa.

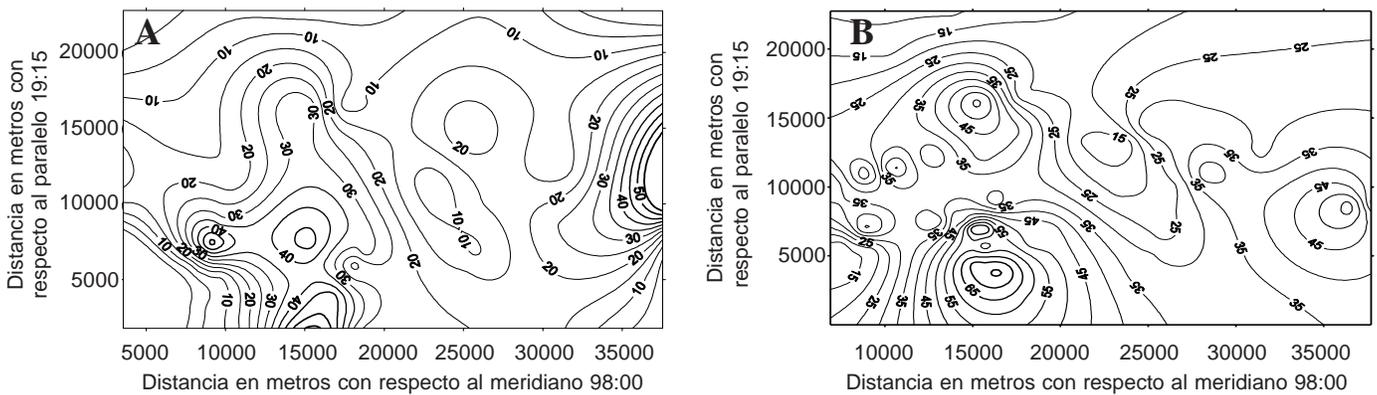


Fig. 3. Isolíneas de concentración de nitrato (mg/L) en el agua subterránea del Valle de Huamantla: **A.** Muestreo verano-otoño 2001, **B.** Muestreo primavera 2002

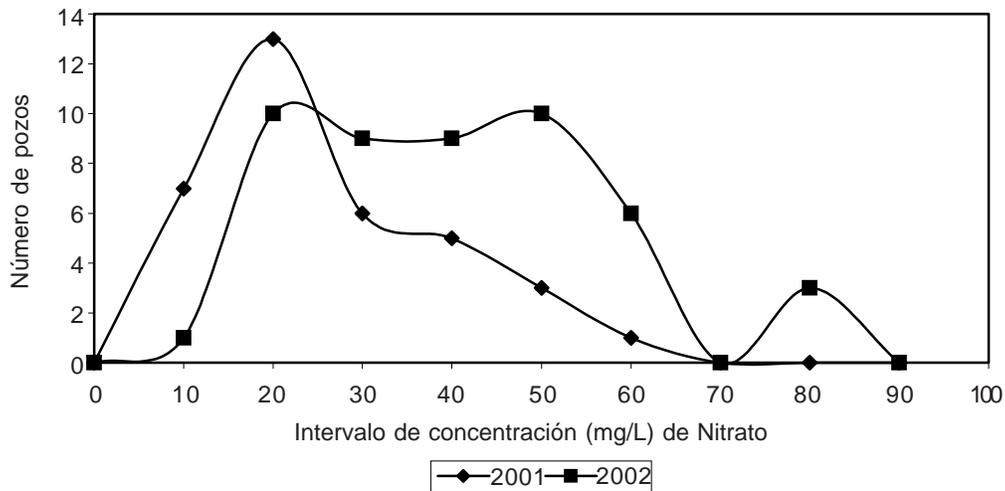


Fig. 4. Distribución de concentración de nitrato (mg/L) en los dos periodos de muestreo. ♦ Muestreo verano-otoño 2001, ■ Muestreo primavera 2002

Análisis de varianza

Las curvas de distribución de la frecuencia de concentración de nitrato, de los dos periodos de muestreo se presentan en la figura 4. La curva del primer muestreo no presenta distribución normal y está sesgada a la izquierda, lo cual coincide con lo encontrado por Hudak (2000), quien estudió la concentración de nitrato en un acuífero libre y con zona vadosa muy permeable como el del Valle de Huamantla. La curva del segundo periodo de muestreo tiene una distribución trimodal, es aplanada con respecto a la primera curva y también está sesgada a la izquierda, en esta curva se observan las concentraciones más altas.

La prueba de normalidad (Fig. 5), que consiste en graficar los datos de la variable versus la función de distribución acumulativa, genera incertidumbre con respec-

to a la determinación del ajuste de los datos de concentración de nitrato a una distribución normal. Si los datos tienen este tipo de distribución formarán una línea recta (McBean y Rovers 1998), pero en este caso la línea recta no está bien definida. Sin embargo, por la prueba numérica de Shapiro-Wilk se puede suponer que los datos están distribuidos normalmente debido a que $W_{calculado} = 0.949$ para 2002 y 0.928 para 2001, mientras que $W_{tablas} = 0.947$ para 2002 y 0.935 para 2001. La normalidad se rechaza cuando $W_{calculada} \lll W_{tablas}$ (McBean y Rovers 1998). Los resultados del análisis de las varianzas paramétrica y no paramétrica para determinar la influencia del nivel estático, del entorno, de la ubicación y del uso del agua en los contenidos de nitratos, se encuentran en la **tablas II** y **III**, respectivamente. La comparación de ambos métodos de análisis de varianza se en-

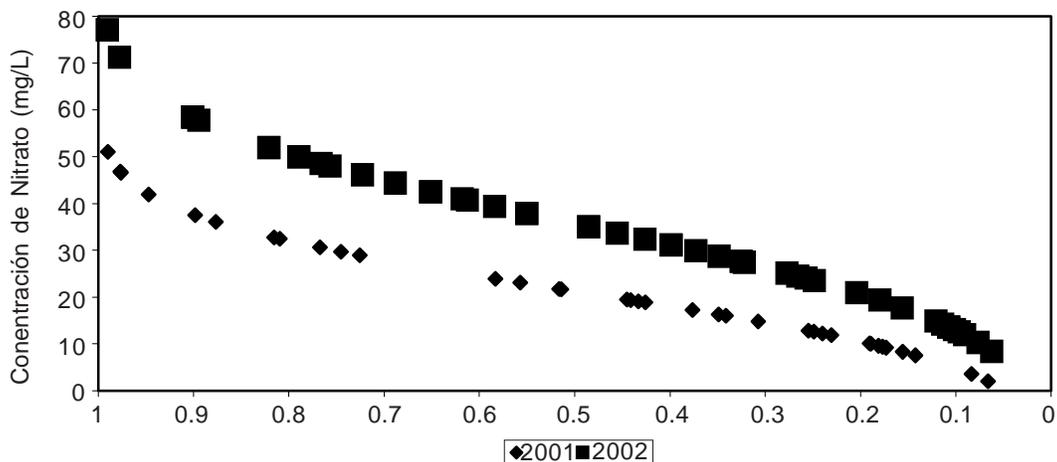


Fig. 5. Prueba gráfica de distribución de normalidad. Concentración de nitratos versus función de distribución acumulativa con valores de media y desviación estándar reportados en la **tabla I**

TABLA II. ANÁLISIS DE VARIANZA PARAMÉTRICA DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRATO

Factor de variación	Valor de F		
	Calculada	Tablas	
		0.05	0.01
Nivel estático	1.07	2.44	3.23
Entorno (temporal-riego)	26.40	3.96	6.96
Ubicación (valle-montaña)	43.43	3.96	6.96
Uso (potable-agrícola)	13.43	3.96	3.96

cuenta en la **tabla IV**. Estos resultados indican que la profundidad del NE no tiene efecto en la concentración de nitrato de los pozos muestreados, pero la ubicación (localización del pozo en el valle o en la montaña) y el tipo de agricultura (temporal o de riego) sí afectan las

TABLA III. ANÁLISIS DE VARIANZA NO PARAMÉTRICA DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRATO

Factor de variación	Año	H _{calculada}	H _{tablas,0.05}	H _{tablas,0.01}
Uso	2001	2.210	3.841	6.635
	2002	3.030	3.841	6.635
Ubicación	2001	5.860	3.841	6.635
	2002	11.010	3.841	6.635
Entorno	2001	6.180	3.841	6.635
	2002	5.730	3.841	6.635
Nivel estático	2001	2.848	5.991	9.210
	2002	1.900	5.991	9.210

concentraciones de nitratos. Sólo en cuanto al uso del agua (potable o riego) que se extrae del pozo, los dos métodos de análisis de varianza dieron resultados contradictorios.

DISCUSIÓN

Se observó un efecto estacional sobre pH, temperatura, E_H , C.E. y nitrato del agua subterránea del acuífero de Huamantla. El pH, E_H y nitrato resultaron tener valores menores al final de la temporada de lluvias que al inicio de éstas, es decir las lluvias tienen un efecto diluyente. Esto puede ser indicador de la conexión entre

TABLA IV. COMPARACIÓN DE LOS DOS TIPOS DE ANÁLISIS DE VARIANZA

Fuente de variación	Análisis de varianza	
	Paramétrica	No paramétrica
Nivel estático	No dif. sig.	No dif. sig.
Entorno	Dif. alt. sig.	Dif. sig.
Ubicación	Dif. alt. Sig.	Dif. alt. sig. (2002)
		Dif. sig. (2001)
Uso	Dif. alt. sig.	No dif. sig.

el acuífero y la superficie terrestre, aunque la relación inversa entre el NE no es muy clara por lo que el análisis de varianza no lo detecta. Los lentes (compuestos por varios pozos) de alta concentración de nitrato se localizan en lugares con intensa actividad agrícola, como se constató visualmente durante el muestreo. También se encontraron diferencias muy significativas de concentración de nitrato entre los pozos que se localizan en las partes bajas (valle) con agricultura de riego y los que se encuentran en los lomeríos (montaña) con agricultura de temporal. Este resultado es más evidente con el análisis paramétrico, $F_{calculada} = 26.4$ para tipo de agricultura y 43.43 para ubicación $> F_{0.01} = 6.96$, mientras que con el análisis de varianza no-paramétrica las diferencias entre la $F_{calculada}$ y la $F_{0.01}$ son menores que las anteriores (**Tabla III**). Con este análisis se hace más evidente que las concentraciones de nitrato de los pozos que se localizan en las partes bajas del valle con agricultura intensiva son diferentes de aquellas que se localizan en lomeríos con agricultura de temporal. Esto podría reforzar el argumento de que el nitrato presente en el agua subterránea del acuífero proviene de la agricultura intensiva.

CONCLUSIONES

Las precipitaciones pluviales tienen efecto de dilución en la concentración de nitratos. Los pozos más vulnerables a la contaminación por nitratos son aquellos localizados en las partes bajas del valle que además están sujetos a agricultura de riego.

El desarrollo de la agricultura intensiva puede incrementar las concentraciones de nitratos en el agua subterránea, lo que implicaría más pozos con concentraciones mayores que la norma. Este incremento representaría una amenaza a la salud pública. Una posible solución sería implementar controles de fertilización e irrigación, para lo cual es necesario generar un banco de datos sobre la historia y la situación presente de las entradas y salidas de nitrógeno y agua del sistema del Valle de Huamantla.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Sistema de Investigación Ignacio Zaragoza del CONACyT y a la Comisión Nacional del Agua, Gerencia Estatal Tlaxcala, quienes con el proyecto 19990806016 apoyaron la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

Antón D.J. y Díaz D.C. (2000). *Sequía en un mundo de agua*, Piriguazú Ediciones / CIRA-UAEM, San José / Toluca, 420 p.

- Canter L.W. (1997). *Nitrate in groundwater*, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 259 p.
- Custodio E. y Llamas M.R. (1983). *Hidrología subterránea*, España, 1200 p.
- Drever J.I. (1997). *The Geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments*, Prentice-Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 436 p.
- Guimerà J. (1998). Anomalously high nitrate concentration in groundwater. *Ground Water* 36, 275-282.
- Golden Software Inc. (1992-1995).
- Hall W.D. (1992). Effects of nutrient management on nitrate levels in ground water near Nephtrata, Pennsylvania. *Ground Water* 30, 720-730.
- Hudak P.F. (2000). Regional trends in nitrate content of Texas groundwater. *J. Hydrol.* 228, 37-47.
- INEGI 1986. Síntesis Geográfica del Estado de Tlaxcala. INEGI – SPP.
- INEGI 1986^a. Mapa de elevación topográfica del Estado de Tlaxcala. INEGI
- Kaçaroglu F. y Günay G. (1997). Groundwater nitrate pollution in an alluvian aquifer, Eskisehir urban area in its vicinity, Turkey. *Environ. Geol.* 31, 178-184.
- Keeney D. (1986). Sources of nitrate to ground water: CRC Critical Reviews in Environ. Control 16, 257-304.
- Keeney D. (1989). Sources of nitrate to ground water. In: *Nitrogen management and ground water protection*, Follett, R.F., Elsevier Science Publisher, Amsterdam, pp 23-24.
- Kolpin D.W., Burkart M.R. y Thurman E.M. (1994). Herbicides and nitrates in near –surface aquifers in the Midcontinental United States. United States Geological Survey Water-Supply Paper 2413, 1-34.
- McBean E. y Rovers F.A. (1998). *Statistical procedures for analysis of environmental monitoring data and risk assessment. Environmental Management and Engineering Series*, Prentice Hall, Upper Saddle River NJ, Vol. 3, 313 p.
- Mueller D.K., Hamilton P.A., Helsel D.R., Hitt K.J. y Ruddy B.C. (1995). Nutrients in ground water and surface water of the United States – an analysis of data through 1992. United States Geological Survey Water-Resources Investigations Report 95-4031, 1-74.
- Nolan B.T., Ruddy B.C., Hitt K.J. y Helsel D.R. (1997). Risk of nitrate in groundwaters of the United States – a national perspective. *Environ. Sci. Technol.* 31, 2229-2236.
- 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.
- Pacheco J., Marin M., Cabrera A., Steinich B. y Escolero O. (2001). Nitrate temporal and spatial patterns in 12 water-supply wells, Yucatan, México. *Environ. Geol.* 40, 708-715.
- Paramasivan S., Alva A.K., Fares A. y Sajwan K.S. (2001). Estimation of nitrate leaching in an entisol under optimum citrus production. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65. 914-921.
- Pauwels H., Lachassagne P., Bordenave P., Foucher J.C. y Martelat A. (2001). Temporal variability of nitrate concentration in a schist aquifer and transfer to surface water. *Appl. Geochem.* 16, 583-596.
- Reimann C. y Filzmoser P. (2000). Normal and lognormal data distribution in geochemistry: death of a myth. Consequences for the statistical treatment of geochemical and environmental data. *Environ. Geol.* 39, 1001-1014.
- Spalding R.F. y Exner M.E. (1993). Occurrence of nitrate in groundwater – a review. *J. Environ. Qual.* 22, 392-402.
- Werner G. (1988). *Los suelos en el Estado de Tlaxcala, Altiplano Central Mexicano*, Gobierno del estado de Tlaxcala-Universidad Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala Tlax. 198 p.
- World Health Organization (1985). Health hazards from nitrates in drinking water. In: *Report on a WHO meeting in Copenhagen, march 5-9, 1984*. Regional office for Europe, Copenhagen Denmark,49-66.