

ANUARIO

2010

**Evaluación del Origen
de Nitratos en el
Agua Subterránea de
Delicias Chihuahua,
usando Técnicas Isotópicas**

**M.S. Espino-Valdés
C.J. Navarro-Gómez
M. Royo-Ochoa**

EVALUACIÓN DEL ORIGEN DE NITRATOS EN EL AGUA SUBTERRÁNEA DE DELICIAS, CHIHUAHUA, USANDO TÉCNICAS ISOTÓPICAS

M. S. Espino-Valdés
C. J. Navarro-Gómez
M. Royo-Ochoa

Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ingeniería,
Centro de Investigación en Materiales Avanzados S. C. (CIMAV)
correo: mespino@uach.mx
correo: carmen.navarro@cimav.edu.mx

INTRODUCCIÓN

El nitrato es uno de los contaminantes más comunes identificados en el agua subterránea. En concentraciones mayores a 10 mg N-NO₃/L el nitrato interfiere con la capacidad transportadora de oxígeno de la hemoglobina en infantes, provocando metahemoglobinemia, comúnmente llamada “síndrome del niño azul” (Kiely, 1999). Los nitratos también se han relacionado con la formación de nitrosaminas carcinogénicas en humanos (Clark, 1997; Kiely, 1999). El nitrato en agua subterránea se deriva de varias fuentes puntuales y no puntuales tales como tanques sépticos y la oxidación de compuestos orgánicos nitrogenados presentes en los suelos. Sin embargo, la principal causa de incremento en las concentraciones de este ion en el agua subterránea es la aplicación extensiva de fertilizantes y residuos orgánicos en la agricultura (Appelo, 1993; Kiely, 1999). En muchos casos, los nitratos se originan por conversión del nitrógeno orgánico o amoniacal que se encuentra de forma natural o es introducido en la zona del suelo por actividades humanas (Freeze, 1979). En las granjas de animales se producen considerables cantidades de desechos orgánicos nitrogenados que tienden a concentrarse en los lugares de confinamiento (Hem, 2005).

El ion nitrato es muy móvil y en condiciones húmedas se puede lixiviar fácilmente a la zona de raíces a través del suelo y del subsuelo permeable (Kiely, 1999). La amonificación y la nitrificación son procesos que ocurren normalmente por encima del nivel freático, generalmente en la zona del suelo, donde abundan la materia orgánica y el oxígeno (Freeze, 1979). Los acuíferos poco profundos constituidos por sedimentos muy permeables o roca fracturada comúnmente contienen considerable oxígeno disuelto; en estos ambientes hidrogeológicos los nitratos migran a través de largas distancias desde la zona de aplicación (Freeze, 1979). El análisis de nitratos en muestras de agua subterránea nos permite evaluar la extensión de la contaminación por este ion; sin embargo es necesario también tener conocimiento de los posibles orígenes del problema. Una herramienta útil que puede proporcionar un indicio de la fuente de nitratos es la medición de la relación isotópica

$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ comúnmente conocida como desviación isotópica ($\delta^{15}\text{N}$). El rango típico de $\delta^{15}\text{N}$ para fertilizantes es -5 o/oo a $+5$ o/oo, mientras que los valores observados en desechos animales o humanos son mayores a 10 o/oo. Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre 5 o/oo y 10 o/oo pueden indicar un origen orgánico o la mezcla de las fuentes (Kendall y McDonell, 1998).

El acuífero Delicias-Meoqui abastece de agua para fines agrícolas, domésticos e industriales a una vasta región que incluye a los municipios de Julimes, Rosales, Meoqui, Delicias y Saucillo. Estudios anteriores (Saucedo, 1996; Barrera, 2008) revelaron la presencia de nitratos en concentraciones por encima de la norma en las áreas rural y urbanas de varias localidades ubicadas en el área de este acuífero, habiendo encontrado en el municipio de Delicias el mayor número de fuentes de agua potable que presentan contaminación por nitratos. El objetivo de este estudio es identificar el origen de los nitratos empleando valores de $\delta^{15}\text{N}$ como trazador isotópico en el agua subterránea del municipio de Delicias.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Delicias pertenece al Estado de Chihuahua; se encuentra ubicado a 65 km al sur de la capital, Chihuahua, y a 70 km al norte de Camargo (Figura 1). Sus coordenadas corresponden a $28^{\circ} 11'$ de Latitud Norte y $105^{\circ} 28'$ de Latitud Oeste y su altitud promedio es de 1170 msnm. La superficie territorial constituye el 0.21% de la superficie estatal, lo que significa que es el municipio más pequeño del estado. Cuenta con 496 localidades, de las cuales 495 son rurales. Ciudad Delicias es la cabecera municipal en donde se concentra el 85% de la población total ($130,000$ habitantes). Los principales núcleos de población son las localidades de Miguel Hidalgo, Colonia Revolución, Colonia Campesina, Colonia Terrazas, Colonia Nicolás Bravo (Kilómetro Noventa y Dos) y Colonia Abraham González (La Quemada).

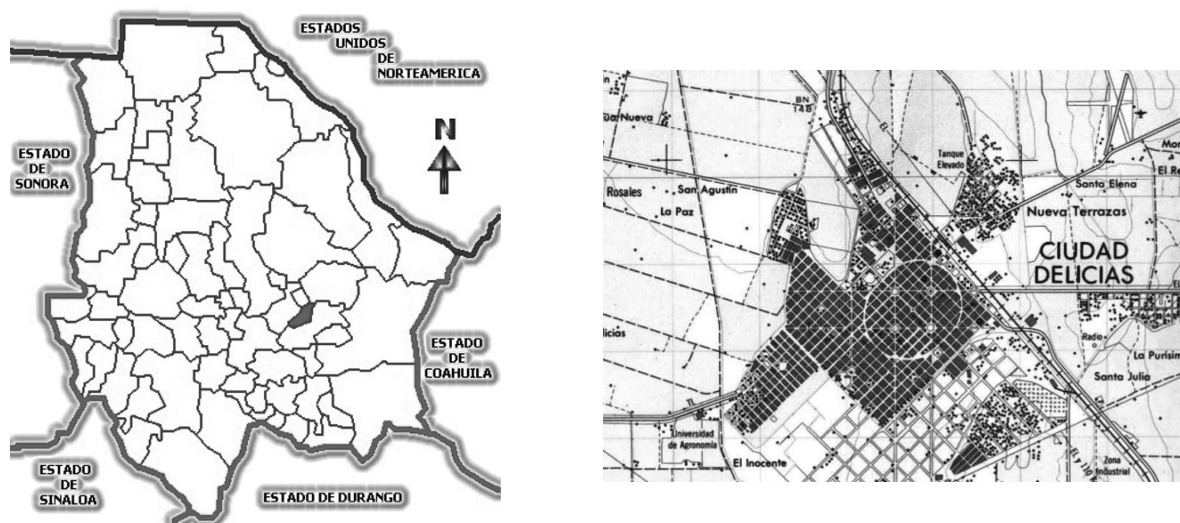


Figura 1. Localización del área de estudio. Municipio de Delicias y Ciudad Delicias, Chih.

A pesar de su corta edad, ya que fue fundada en 1960, la ciudad de Delicias ha sobresalido como una economía en constante evolución. Es la tercera ciudad en importancia en el estado después de Ciudad Juárez y Chihuahua. Delicias es una de las cuencas lecheras más importantes del país; en la región existen más de 100 establos de más de 50 cabezas en producción. De estos, 28 establecimientos cuentan con más de 300 hasta 14,000 vacas que producen más de 1'200,000 litros al día. Se cuenta también con varios centros de acopio y procesadoras de leche que han generado una importante derrama económica por la producción de forrajes, equipos de ordeña y servicios relacionados con esta industria. En la región también destacan otras actividades como la agricultura de nogal, chile, tomate, cebolla y cacahuate. Además, a nivel nacional e internacional esta entidad se distingue en el ramo de fabricación de muebles.

La ciudad de Delicias se caracteriza por tener un buen sistema de calles y avenidas que se conectan en cuatro plazas importantes. Debido a su topografía, existen varios drenes o canales que son cauces naturales de arroyos que cruzan la ciudad, los cuales en temporadas de lluvias ocasionan problemas de inundación. El clima es semiárido, con una temperatura media anual de 18.6 °C y variaciones entre 13 °C y 42 °C. La precipitación pluvial media anual es de 294.7 milímetros, con un promedio anual de 82 días de lluvia y una humedad relativa del 45%. Los vientos dominantes proceden del sudoeste. El Valle de Delicias se ubica en la porción centro-sureste del Estado de Chihuahua, y constituye una extensa planicie aluvial sobre la cual discurre el Río Conchos, y su afluente el Río San Pedro.

Las sierras que limitan al valle se levantan abruptamente sobre las planicies, mostrando flancos escarpados, con un relieve desarrollado sobre todo en rocas sedimentarias calcáreas del Mesozoico; hacia la porción oeste domina la Sierra Madre Occidental, en la cual predominan las rocas volcánicas. El Valle de Delicias consiste en una profunda depresión tectónica o fosa rellena por sedimentos fluvio-lacustres del Cuaternario y Terciario Superior. Las sierras de la parte occidental están constituidas por unidades volcánicas riolíticas, andesíticas y basálticas del Terciario Superior, así como unidades de rocas sedimentarias clásticas (conglomerados y areniscas) del Oligoceno y Mioceno.

El límite oriental del Valle de Delicias lo conforman las sierras de Ojuelos, Humboldt, La Boquilla, Cerro El Salgadeño, Cerro Las Ánimas y la sierra Palomas; todos estos elementos orográficos se componen de rocas volcánicas, específicamente, tobas riolíticas del Oligoceno, salvo la Sierra de Ojuelos que es de la misma edad, pero de composición traquítica (SGM, 2000). Un rasgo importante de los amplios valles es la presencia de grandes abanicos aluviales recientes, originados por los principales arroyos que bajan de la Sierra Alta. Estos rellenos aluviales constituyen los acuíferos más importantes de la región. En el acuífero regional del Valle de Delicias los espesores varían de 400 m en la porción sur del valle, a 250 m en la parte norte, y 150 m en el centro del valle. El basamento ha sido interpretado principalmente como conformado por rocas sedimentarias carbonatadas y volcánicas (Martínez-Leyva, 2001).

La hidrografía superficial está integrada principalmente por los ríos Conchos y San Pedro, con recorrido de sur a norte. El Conchos es el principal afluente del río Bravo y constituye básicamente la Región Hidrológica 24 poniente. Este río nace en la vertiente oriental de la Sierra Tarahumara y recibe varios ríos en su trayectoria poniente a oriente. Uno de ellos es el río San Pedro, proveniente también de la sierra, que antes de su confluencia con el Conchos abastece al vaso de la presa Francisco I. Madero (Las Vírgenes). Este almacenamiento se construyó con la finalidad de, junto con el agua procedente de la presa Boquilla que se localiza al sur del área, abastecer al Distrito de Riego 05 que cuenta con 68,000 hectáreas y es uno de los más importantes del país. Entre estas dos presas surten casi a la totalidad del distrito a través de una red de canales, en su mayoría sin revestir. En la ciudad de Delicias, debido a la topografía del área, existen varios drenes que siguen los cauces naturales de los arroyos. Entre ellos se encuentra el Dren Laguna Seca, que atraviesa la ciudad de sureste a noroeste y desemboca en el río San Pedro, a la altura de ciudad Meoqui. Este dren por mucho tiempo ha sido responsable de inundaciones en tiempo de lluvia y de contaminación ambiental ya que tiempo atrás fue empleado para recibir las descargas de aguas residuales de varias industrias ubicadas en la región sureste de la ciudad.

METODOLOGÍA

Se revisaron los datos recientes de muestras de agua subterránea colectadas en las fuentes de agua potable de 17 localidades rurales del municipio y la ciudad de Delicias. En ésta última se consideraron 22 pozos (Figuras 2 y 3).

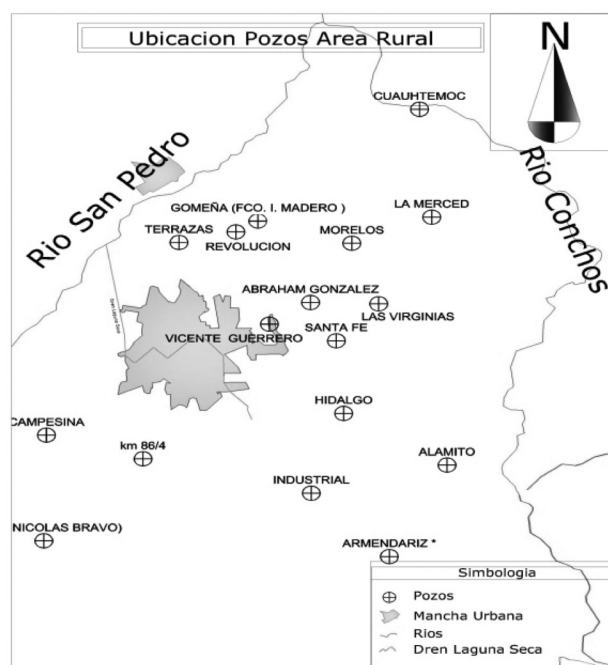


Figura 2. Localización de puntos de muestreo en la zona rural del municipio de Delicias, Chihuahua.

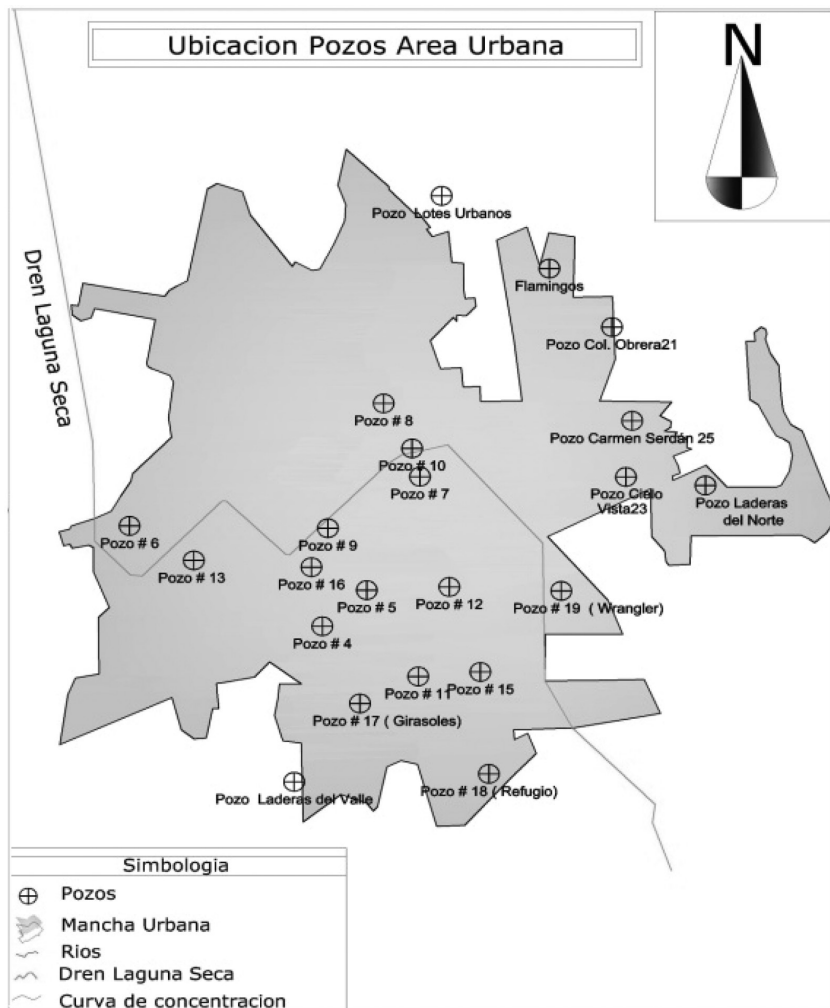


Figura 3. Localización de puntos de muestreo en la ciudad de Delicias.

Se analizaron varios parámetros hidrogeoquímicos para identificar las familias de agua existentes, poniendo especial énfasis en la presencia de nitratos como indicador de posible contaminación por actividades agrícolas y/o disposición inadecuada de desechos humanos y animales.

El análisis de nitratos fue realizado por el método espectrofotométrico ultravioleta de acuerdo con la norma oficial mexicana NMX-AA-082-1986. Se identificaron las áreas con niveles de nitratos superiores al límite establecido en la norma de agua potable (10 mg N-NO₃/L).

Con base en los resultados de nitratos se seleccionaron 19 pozos para realizar el análisis isotópico de ¹⁵N a fin de identificar el posible origen de la contaminación detectada. El análisis de δ¹⁵N se efectuó por medio de espectrofotometría de masas de flujo continuo acoplada a un analizador elemental Costech.

Los resultados de ¹⁵N se reportan en unidades de δ°/oo que se definen de la siguiente manera:

$$\delta^{15}\text{N} = \frac{R_m - R_{std}}{R_{std}} \times 1000$$

donde R_m y R_{std} son las relaciones ¹⁵N/¹⁴N de la muestra y el estándar, respectivamente. El estándar de referencia usado para esta medición es el aire.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de nitratos

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la comparación de los análisis de nitratos con el valor de 10 mg N-NO₃/L establecido como límite máximo permisible para el agua destinada al consumo humano (Modificación a la NOM-127-SSA1-1994).

Sitio de muestreo	No. de pozos analizados en 2009	Número de pozos fuera de norma	Porcentaje	Concentración de nitratos (mg N-NO ₃ /L)	
				Rango	Promedio
Localidades rurales del municipio	17	5	29 %	4.1 - 21.8	9.4
Ciudad de Delicias	22	10	45 %	3.6 - 22.3	9.7

Tabla 1. Resultados de N-NO₃ en el agua subterránea de las áreas rural y urbana del municipio de Delicias

En el área rural se encontraron 5 pozos (29 % del total) con concentraciones fuera de norma. El rango de variación comprende desde 4.1 hasta 21.8 mg N-NO₃/L, con un valor promedio de 9.4. Lo anterior puede apreciarse en la Figura 4 en la que se presentan las concentraciones de nitratos detectadas en cada una de las fuentes del área, siendo Cuauhtémoc, Gomeña, La Merced, Vicente Guerrero y Las Virginias las localidades con concentraciones de nitratos por encima de la norma.

En la ciudad de Delicias son 10 pozos (el 45% del total) los que superan la norma, mientras que el rango de concentración fluctúa entre 3.6 y 22.3 mg N-NO₃/L, con un valor promedio de 9.7. En la Figura 5 se aprecian las concentraciones de nitratos en los pozos de ciudad Delicias. Los pozos que se encuentran por encima del límite establecido en la norma de agua potable se ubican en el

área sureste de la ciudad, en donde se presenta también el mayor abatimiento del nivel freático de la zona. En el conjunto destaca el pozo No. 19 (Wrangler) que presenta una concentración de 22.3 mg N-NO₃/L y se localiza a unos cuantos metros del drenaje Laguna Seca que recibe algunas descargas contaminantes en su trayectoria.

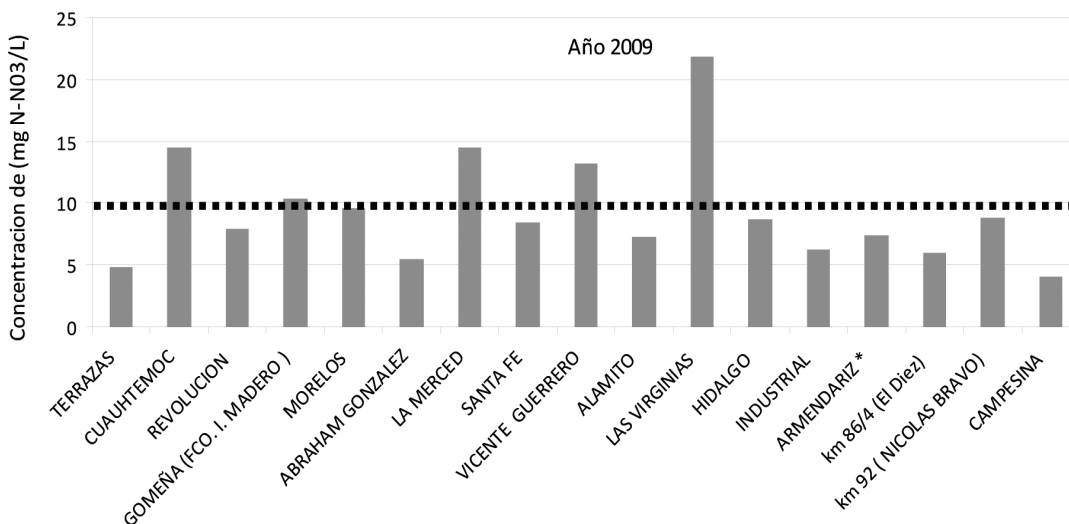


Figura 4. Concentración de nitratos en los pozos de agua potable de localidades rurales del municipio de Delicias.

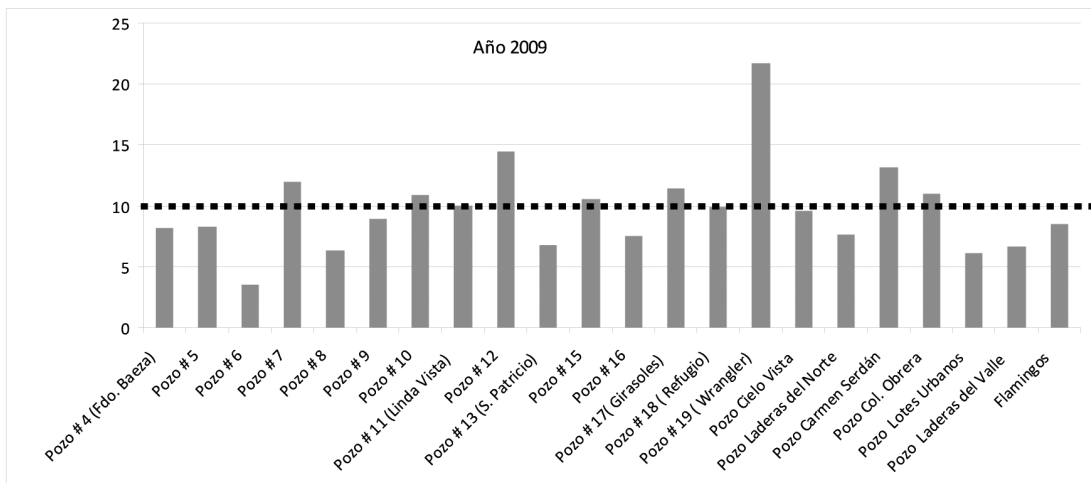


Figura 5. Concentración de nitratos en los pozos de agua potable de la ciudad de Delicias.

Análisis de δ¹⁵N

En las Tablas 2 y 3 se aprecian los resultados de la desviación isotópica de ¹⁵N/¹⁴N medida como δ¹⁵N para las muestras de agua colectadas en los pozos rurales y en la cabecera municipal, ciudad Delicias, respectivamente.

En la zona rural el rango de variación de $\delta^{15}\text{N}$ es de 4.4 a 11.5 o/oo, con un promedio de 6.9.

Esto indica que el nitrógeno presente en el agua se debe principalmente a la mezcla de fertilizantes minerales con residuos de origen animal, como pueden ser los provenientes de establos y fosas sépticas del área. Es importante resaltar que en esta región agrícola se aplican grandes cantidades de fertilizantes a base de urea y amoníaco de alta solubilidad.

Estos compuestos liberan el nitrógeno excedente no utilizado por los cultivos, el cual en la zona no saturada del acuífero es susceptible de oxidación mediante el proceso de nitrificación.

En la ciudad de Delicias los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de los 10 pozos analizados varían entre 8.2 y 11.7 o/oo, con un promedio de 10.6 o/oo. En esta zona el 90 % de las fuentes analizadas presentó valores de $\delta^{15}\text{N}$ superiores a 10 o/o lo que indica un origen animal de los residuos nitrogenados.

Sitio de muestreo	No. de pozos analizados en 2009	Número de pozos fuera de norma	Porcentaje	Concentración de nitratos (mg N-NO ₃ /L)	
				Rango	Promedio
Localidades rurales del municipio	17	5	29 %	4.1 - 21.8	9.4
Ciudad de Delicias	22	10	45 %	3.6 – 22.3	9.7

Tabla 2. Resultados de $\delta^{15}\text{N}$ para 9 pozos del área rural.

Valores de $\delta^{15}\text{N}$ o/oo	Fuente potencial de nitratos	No. de pozos	% del total
< 5	Fertilizantes comerciales	0	0
5 - 10	Mezcla de fertilizantes y desechos animales y/o humanos	1	10
> 10	Desechos animales y/o humanos	9	90

Tabla 3. Resultados de $\delta^{15}\text{N}$ para 10 pozos de la ciudad de Delicias.

CONCLUSIONES

El 38 % del total de los pozos de agua potable estudiados presentaron concentración de nitratos por encima del valor límite establecido en la norma de agua potable, con lo que se concluye que existe contaminación difusa por nitratos en el agua subterránea del área de estudio.

El análisis isotópico de la relación $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ medida como $\delta^{15}\text{N}$ indica que la presencia de altas concentraciones de nitratos en el área rural del municipio de Delicias se debe a la combinación de residuos de fertilizantes con desechos orgánicos procedentes de escurrimientos de fosas sépticas y/o residuos animales.

En el caso de la ciudad de Delicias la contaminación difusa por nitratos corresponde a la zona de mayor extracción de agua subterránea y se relaciona con la presencia de residuos orgánicos de origen animal. Estos pueden deberse a la presencia de antiguas fosas sépticas, la lixiviación procedente de los establos ganaderos y las descargas de aguas residuales que se realizan en el dren Laguna Seca, el cual coincide en su trayectoria con el área en que se localiza la contaminación.

La información proporcionada en este estudio representa una herramienta útil en la subsecuente elaboración de estrategias para el manejo sustentable de los recursos hidrológicos de la región.

Entre las medidas recomendables se encuentran las siguientes:

- Promover la dosificación adecuada de fertilizantes y el uso eficiente del agua en el riego para reducir el volumen de lixiviación en el acuífero.
- Exigir el tratamiento de las aguas residuales industriales y eliminar las descargas en los drenes que cruzan la ciudad de Delicias.
- Establecer sistemas de tratamiento para la desmineralización en las fuentes de agua potable que tienen alto contenido de nitratos.

El conocimiento del contenido de $\delta^{15}\text{N}$ en los nitratos del agua subterránea es una herramienta útil que en este estudio fue aplicada para distinguir la contaminación causada por fertilizantes sintéticos de la ocasionada por desechos animales y/o humanos.

REFERENCIAS

- Appelo, C.A. J. and Postma. (1993). *Geochemistry, groundwater and pollution*. A. A. Balkema/Rotterdam/Brookfield. The Netherlands.
- Barrera, Y. (2008). *Estudio Hidrogeoquímico y de Vulnerabilidad a la Contaminación del Acuífero Meoqui-Delicias, en el Estado de Chihuahua*. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Clark, I. & P. Fritz. (1997). *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Lewis Publishers.
- Freeze, R. A. y John a. Cherry. (1979). *Groundwater*. Prentice Hall Inc. U. S. A.
- Hem, J. D. (2005). *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. Reimpresión de la edición 1970. U. S. Geological Survey. U. S. A.
- Kendall, C. and J. J. McDonell. (1998). *Isotope Tracers in Catchment Hydrology*. Elsevier Science B. V. Amsterdam.
- Kiely, G. (1999). *Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. McGraw Hill.
- Martínez-Leyva, P. (2001). *Relación del Arsénico con el Sistema Hidrogeológico Regional en el Área de Delicias, Chihuahua, Tesis de Maestría*, Facultad de Ingeniería, U.A.CH.
- 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.
- Saucedo, L. R., 1996. *La Calidad del Agua y el Uso de Fertilizantes y Plaguicidas en los Municipios de Delicias, Rosales y Meoqui del Estado de Chihuahua*. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Chihuahua.
- SGM, 2000, Carta Geológico-Minera Ciudad Delicias, Chihuahua, H-13-11, Esc. 1: 250,000, Servicio Geológico Mexicano, Secretaría de Economía, Coordinación General de Minería.