



EL EXCESO DE NITRATOS: un problema actual en la agricultura

FELIPE DE JESÚS MARTÍNEZ GASPAR, DÁMARIS L. OJEDA BARRIOS,
O. ADRIANA HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, JAIME J. MARTÍNEZ TÉLLEZ y GUADALUPE DE LA O QUEZADA
Facultad de Ciencias Agrotecnológicas/Universidad Autónoma de Chihuahua

Las comunidades agrarias tradicionales han recurrido a lo largo del tiempo a diferentes sistemas que tienden a concentrar los nutrientes en determinadas áreas del terreno, fundamentalmente mediante el manejo de estiércol bovino. De hecho, hoy en día, una parte significativa de las

tierras cultivadas del mundo está sufriendo una fuerte pérdida de nutrientes que pone en peligro todo el sistema productivo. Merece la pena recordar que no fue hasta el siglo XIX, con los trabajos de Liebig (que demostraban la esencialidad del nitrógeno) y los de muchos otros, como Boussingault, cuando fue posible comprobar la necesidad de aportar al suelo, de forma asimilable, los nutrientes extraídos por las plantas (Sánchez *et al.*, 1997).



A pesar de que la llamada rotación con leguminosas permitió un incremento muy importante de la producción, fue hasta la introducción de los fertilizantes minerales (primero naturales y después de síntesis) cuando se produjeron fuertes y continuos incrementos de producción, asociados a nuevas tecnologías, riego y mejora del material vegetal, así como control de plagas y enfermedades. El nitrógeno (N) es, después de la temperatura y del agua, el tercer factor limitante de la producción agrícola. Durante muchos años, la investigación y experimentación, así como las recomendaciones derivadas de ellas, se han centrado en optimizar la producción con un enfoque a nivel parcela. Se han trabajado y desarrollado estrategias para determinar las cantidades, momento y forma en que se deben aplicar los abonos nitrogenados con base en dosis óptimas técnicas y económicas (Boixadera y Cortés, 2000).

También la industria ha contribuido de forma significativa a este desarrollo al producir nuevos fertilizantes que su vez han permitido el desarrollo de tecnologías de alta producción: abonos con alto grado de pureza y solubilidad para fertirrigación y fertilizantes de liberación lenta, entre otros. Todo este sistema descansa sobre dos supuestos: se trata de optimizar la producción (técnica y económica) sin considerar las salidas de nutrientes al sistema, máximo como una simple pérdida económica que, considerando los precios actuales, no es muy importante, especialmente en los casos de cultivos más intensivos (hortalizas) que son, casualmente, también las menos eficientes en el uso de nitrógeno (Cadahía, 2005).

Fertilizantes nitrogenados

El nitrógeno añadido como abono puede estar como urea, NH_4^+ y NO_3^- . Este nitrógeno sigue los mismos modelos de reacción que el nitrógeno liberado por los procesos bioquímicos a partir de residuos de plantas. Así, la urea es sometida a la amonificación (formación de NH_4^+) y nitrificación previas para su utilización por los microorganismos y plantas. El amonio puede ser oxidado a nitratos y ser fijado por las partículas sólidas del suelo o utilizado sin cambio por los microorganismos y las plantas. Los nitratos pueden ser absorbidos directamente por microorganismos y plantas o pueden perderse por volatilización y lavado (Boixadera y Cortés, 2000).

Entre los efectos secundarios de la aplicación de fertilizantes nitrogenados se encuentran: la aportación de nutrientes como S, Mg, Ca, Na y B; la variación de la reacción del suelo (acidificación o alcalinización); el

incremento de la actividad biológica del suelo con importantes efectos indirectos sobre la dinámica global de los nutrientes; daños por salinidad y contaminación de acuíferos, causados por una dosificación muy alta, y daños causados por las impurezas en los productos de descomposición y la acción de la cianamida cálcica como herbicida y fungicida.

Efectos de la contaminación del suelo

Un suelo contaminado es aquel que ha superado su capacidad de amortiguación para una o varias sustancias y como consecuencia pasa de actuar como un sistema protector a ser causa de problemas para el agua, la atmósfera y los organismos. Al mismo tiempo se modifican sus equilibrios biogeoquímicos y aparecen cantidades anómalas de determinados componentes que originan modificaciones importantes en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En definitiva se produce un empeoramiento de las propiedades del suelo y una disminución de la masa de suelo. Estos efectos tiene dos consecuencias generales: a corto plazo disminución de la producción y aumento de los gastos de explotación (cada vez el suelo necesita mayor cantidad de abonos y cada vez produce menos); a largo plazo infertilidad total y desertificación del territorio (Gaiak, 2007). Los principales contaminantes del suelo son muy diversos. Los metales pesados en pequeñas dosis pueden ser benéficos para los organismos vivos y de hecho son utilizados como micronutrientes, pero pasado un umbral se convierten en elementos nocivos para la salud. Las emisiones ácidas atmosféricas proceden generalmente de la industria, del tráfico rodado, abonos nitrogenados que sufren el proceso de desnitrificación. Como consecuencia de esta contaminación se disminuye el pH del suelo, con lo que se puede superar la capacidad tampón y liberar elementos de las estructuras cristalinas que a esos pH pueden solubilizarse y son altamente tóxicos para animales y plantas. El mal uso del agua de riego provoca la salinización y la sodificación del suelo. En el primer caso se produce una acumulación de sales más solubles que el yeso que interfieren en el crecimiento de la mayoría de los cultivos y plantas no especializadas (se evalúa por la elevación de la conductividad eléctrica del extracto de saturación). En el segundo caso se produce una acumulación de sodio intercambiable que tiene una acción dispersante sobre las arcillas y de solubilización de la materia orgánica, que afecta muy negativamente a las propiedades físicas del suelo (agregados menos estables, sellado del suelo, encostramiento y disminución

de la conductividad hidráulica), por lo que el medio será menos apto para el crecimiento de los cultivos.

Los plaguicidas y los fertilizantes son generalmente productos químicos de síntesis y sus efectos dependen tanto de las características de las moléculas orgánicas (mayoría de los plaguicidas) como de las características del suelo (Gaiak, 2007).

La reducción del efecto contaminante de los nitratos procedentes de fuentes agrícolas se está persiguiendo en muchas zonas agrícolas del mundo. El uso de los modelos de simulación puede ser una manera de hacer frente a esta problemática. En la actualidad existe gran variedad de modelos capaces de ayudar en la interpretación de los procesos de transferencia de agua y solutos en agricultura (Samper y González, 2005).

Impacto ambiental del exceso de fertilizantes nitrogenados: nitratos, un problema actual

El cambio climático y el calentamiento global continúan siendo temas de considerable debate a nivel científico y de interés público. En forma creciente, la agricultura es vista como un gran contribuyente a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), emisiones que manejan el potencial de calentamiento global (PCG). Los fertilizantes nitrogenados utilizados han sido identificados como el principal factor (Snyder *et al.*, 2007).

Los nitratos son la forma de nitrógeno más importante que absorben las plantas. El contenido de nitratos (N-NO_3) del suelo es variable y depende de factores como temperatura, humedad, estado vegetativo del cultivo, manejo del suelo, etcétera. Se han desarrollado muchos métodos de diagnóstico y recomendación para distintos cultivos en los que la principal variable predictiva es el nivel de nitratos del suelo. Estas metodologías usan el N de nitratos en el estrato 0-60 cm de profundidad para estimar los requerimientos de fertilizante. Sin embargo, en la práctica el muestreo hasta esa profundidad no suele realizarse por limitaciones de tiempo, esfuerzo y economía. Los nitratos actualmente constituyen la principal “fuente de contaminación difusa” de las aguas (superficiales y subterráneas), que se caracterizan por una gran cantidad de puntos de entrada de la contaminación en el terreno y por la dificultad que supone hacer una localización precisa de las zonas donde se produce la entrada de los contaminantes; tienden a adquirir cada vez mayor protagonismo en la degradación de los recursos hídricos, ya que cuanto mayor es el grado de depuración y limitación de los vertidos puntuales, mayor es el peso relativo de este tipo de

contaminación, sobre todo si se tiene en cuenta que en determinadas cuencas hidrográficas la aportación de nitrógeno de origen difuso representa más del 50 % del total de la cuenca (Álvarez *et al.*, 2000).

Un exceso de nitrógeno, que es fertilizante, tiene innegables repercusiones en el medio ambiente, amenazando el equilibrio en tierra, mar y aire. De entrada, altera el equilibrio de las especies vegetales terrestres: las que asimilan mejor el nitrógeno crecen más rápidamente y predominan, mientras que otras desaparecen. La situación se agrava en los sistemas acuáticos (ríos, lagos y costas es donde van a parar los excedentes de nutrientes y demás residuos). La presencia en la atmósfera de gases ricos en nitrógeno también se deja sentir en el ambiente: el óxido nítrico es causante de fenómenos como el *smog* o la lluvia ácida, y el óxido nitroso es sospechoso de producir efecto invernadero. Como vemos, el exceso de nitrógeno puede tener efectos tan devastadores como los gases de efecto invernadero (Boixadera y Cortés, 2000).

Los compuestos nitrogenados agregados al suelo, como los fertilizantes, abonos y residuos orgánicos, son degradados mediante la acción microbiana, produciendo (entre otros compuestos inorgánicos) nitratos, los cuales son esenciales para la nutrición vegetal, pero a la vez pueden ser contaminantes del medio ambiente. Los nitratos son altamente solubles y no son retenidos por las cargas negativas de los coloides del suelo, de modo que se mueven libremente con el agua de drenaje, a través del perfil, hacia los acuíferos. El movimiento de estos compuestos nitrogenados solubles desde el suelo hacia sistemas acuáticos afecta el equilibrio de estos últimos y conduce a una disminución en el nivel de oxígeno del agua, con la consecuente muerte de peces u otras especies acuáticas y pérdida de la biodiversidad. Las sales de nitrato son muy solubles, por lo que la posibilidad de que se produzca la lixiviación del anión es elevada, y más teniendo en cuenta el bajo poder de adsorción que presenta la mayoría de los suelos para las partículas cargadas negativamente (Carpenter *et al.*, 1998).

El problema ambiental más importante relativo al ciclo del nitrógeno es la acumulación de nitratos en el subsuelo que, por lixiviación, pueden incorporarse a las aguas subterráneas o bien ser arrastrados hacia los cauces y reservorios superficiales. En estos medios los nitratos también actúan como fertilizantes de la vegetación acuática de tal manera que, si se concentran, pueden originarse la eutrofización del medio. En un medio eutrofizado se produce la proliferación de especies

como algas y otras plantas verdes que cubren la superficie, esto trae como consecuencia un elevado consumo de oxígeno y su reducción en el medio acuático, asimismo dificulta la incidencia de la radiación solar por debajo de la superficie. Estos dos fenómenos producen una disminución de la capacidad autodepuradora del medio y una merma en la capacidad fotosintética de los organismos acuáticos.

La cantidad de nitratos que se lixivian hacia el subsuelo depende del régimen de pluviosidad y del tipo del suelo. La mayoría de los suelos poseen abundantes partículas coloidales, tanto orgánicas como inorgánicas, cargadas negativamente, con lo que repelerán a los aniones, y como consecuencia estos suelos lixiviarán con facilidad a los nitratos. Por el contrario, muchos suelos tropicales adquieren carga positiva, y por tanto manifiestan una fuerte retención para los nitratos. La textura de los suelos es un factor importante en relación con la lixiviación. Cuanto más fina sea la textura, más capacidad de retención presentarán. Por otra parte, para una misma dosis de fertilizante nitrogenado, por ejemplo $200 \text{ Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, la lixiviación es mayor cuando el suelo presenta un drenaje más alto. Asimismo podemos evaluar el exceso de N que se puede producir en función de la cantidad de N fertilizante aplicado y del drenaje del suelo.

Los ecosistemas tienden a ser fuente de nitratos si son intensamente fertilizados o muy disturbados. Se duplicó la tasa de ingresos de nitrógeno en los sistemas terrestres y aún continúa aumentando; gran parte de este incremento proviene de la aplicación de fertilizantes y del uso de cultivos de leguminosas (Vitousek *et al.*, 1997). Altos niveles de nitratos en el suelo pueden conducir a niveles relativamente altos de nitratos en el agua de consumo, lo cual afecta en gran medida a la salud humana. El consumo de agua con nitratos produce metahemoglobinemia, una enfermedad mortal para los lactantes (Spalding y Exner, 1993), y más recientemente se ha asociado con el desarrollo del linfoma de no-Hodgkin (Ward *et al.*, 1996).

Sin embargo, la presencia de nitratos en el suelo tarda algunas décadas en contaminar el agua subterránea, según un experimento realizado por científicos del suelo e hidrológicos del Laboratorio Nacional de Cultivo de Suelo, perteneciente al Servicio de Investigación Agrícola. Para el estudio, los expertos han aplicado fertilizante en el suelo en cantidades tres veces mayores de lo normal. La concentración de nitrato del suelo se rastreó durante la década posterior. Los resultados indican que los nitratos en el agua sub-

terránea se incrementó en 25 % en una década. La filtración de nitrato de fertilizantes agrícolas se ha asociado con preocupaciones sobre la calidad del agua potable y la condición conocida como hipoxia, en la que los cuerpos de agua contienen niveles bajos de oxígeno (Pacheco y Cabrera, 2003). De aquí la importancia de monitorear los niveles de nitratos en los pozos o en cualquier otra fuente de suministro de agua para consumo. La concentración límite de nitrato para el agua de consumo humano fijada por el Servicio de Salud Pública de EE.UU. es de $10 \text{ mg N}\cdot\text{NO}_3^- \cdot \text{L}^{-1}$. A su vez, los nitratos también afectan el medio ambiente a través de la eutrofización de estuarios y ecosistemas costeros (Ryther y Dunstan, 1996).

La concentración de nitratos en el agua subterránea es un tópico común de muchas discusiones acerca de la calidad del agua, ya que es de importancia tanto para humanos como para animales. Debido a sus propiedades físicas, no pueden olerse ni sentirse y su presencia en concentraciones potencialmente peligrosas es detectada cuando se manifiesta un problema de salud. A menudo es difícil precisar el origen de la contaminación, debido a que puede provenir de muchas fuentes. La entrada de los nitratos en aguas subterráneas es un resultado de procesos naturales y del efecto directo o indirecto de las actividades humanas. Los procesos naturales incluyen la precipitación, el intemperismo de los minerales y la descomposición de la materia orgánica. Los nitratos provenientes de las actividades humanas incluyen la escorrentía de terrenos cultivados, los efluentes de lagunas y tanques sépticos, la fertilización excesiva de nitrógeno, la deforestación y el cambio en la materia orgánica del suelo como resultado de la rotación de cultivos (Pacheco y Cabrera, 2003).

El problema de los nitratos es que son contaminantes móviles en el agua subterránea que no son adsorbidos por los materiales del acuífero y no precipitan como un mineral. Estos dos factores permiten que grandes cantidades de nitrato disuelto permanezcan en el agua subterránea. Debido a su naturaleza soluble, los nitratos tienden a viajar grandes distancias en la superficie, específicamente en sedimentos altamente permeables o rocas fracturadas (Álvarez *et al.*, 2000).

Mientras que la contaminación por fuentes puntuales se origina de diversos medios, tales como efluentes de tanques sépticos y depósitos de excretas, la contaminación no puntual se distribuye en amplias áreas, como son los campos donde los fertilizantes nitrogenados han sido aplicados. El único control del nitrato por debajo de la superficie es la reducción del nitrato o desnitrificación.

La reducción del nitrato es una reacción natural en la cual el nitrato es reducido a gases de nitrógeno, menos peligrosos, por la acción de bacterias. En donde esta reducción no ocurre, los nitratos que persisten en los abastecimientos de agua son un riesgo; así, áreas con alto riesgo incluyen acuíferos bajo agricultura intensiva y la vecindad de campos con alta densidad de tanques sépticos. Por su naturaleza, los acuíferos son lentos para contaminarse pero, una vez contaminados, difícilmente se autodepuran. La única opción para evitar futuras contaminaciones por nitratos en acuíferos someros susceptibles es iniciar con el control del uso de suelo (Pacheco y Cabrera, 2003).

Para hacer frente a la problemática que supone la contaminación por nitratos, muchos países se han visto obligados a iniciar cambios en su ordenamiento legislativo, configurando normativas que regulen las explotaciones agrícolas y ganaderas, así como la eliminación de los residuos ganaderos. La máxima preocupación en torno a la contaminación del agua por nitratos estriba en el efecto que puede tener sobre la salud humana la ingestión de nitratos, ya sea disueltos en el agua o en los alimentos. Por citar un ejemplo, en la región de Cisjordania desde hace unos años es un problema de gran importancia, tanto para la ciudadanía israelí como muy especialmente para la Palestina, la cual se abastece de aguas subterráneas cuyos escasos pozos sobreexplotan los israelíes. Si a la sobreexplotación se une una deficiente manutención de las tuberías, hace que el agua se sature en nitratos y que los palestinos solo obtengan del grifo (especialmente en verano) unas gotas parduscas (Milliarium, 2004).

Aunque los nitratos son un producto normal del metabolismo humano, el agua con altas concentraciones de nitratos representa un riesgo para la salud, especialmente en los niños. Si se bebe agua con elevadas concentraciones de nitratos, la acción de determinados microorganismos en el estómago puede transformar los nitratos en nitritos, que al ser absorbidos en la sangre convierten a la hemoglobina en metahemoglobina. La metahemoglobina se caracteriza por inhibir el transporte de oxígeno en la sangre. Aunque la formación de metahemoglobina es un proceso reversible, sí puede llegar a provocar la muerte, especialmente en niños ("síndrome del bebé azul"). También pueden formar nitrosaminas y nitrosamidas compuestos que pueden ser cancerígenos.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) fija el límite de nitrato en el agua de consumo humano en 50 mg·l⁻¹ de nitrato (como N). En cambio, la Agencia para

la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica (EPA) sitúa este límite en 10 mg·l⁻¹ de nitrato. Por su parte la comunidad europea, y siguiendo sus directrices el Ministerio de Sanidad español, fijan los niveles máximos permitidos de nitratos en 50 mg·l⁻¹ de N. El consumo de altos contenidos de nitrato en la dieta humana es peligroso debido a que este ion contribuye a la formación de agentes cancerígenos (Hill, 1990; Garbisu *et al.*, 1999; Jaworska, 2005). El contenido de nitratos aceptable en la ingesta diaria corresponde a 3.65 mg·kg⁻¹ de peso vivo; es decir, la ingesta diaria de nitratos de una persona con un peso corporal de 70 kg no debería superar los 250 mg (Milliarium, 2004).

La contaminación por nitratos de las aguas subterráneas en México es un problema que ha ido en aumento a través del tiempo. Lo anterior, en la mayoría de los casos, se atribuye a las actividades antropogénicas, y específicamente a la agricultura y la ganadería. La lixiviación de nitratos en la agricultura se asume inevitable debido a las altas tasas de fertilizantes nitrogenados aplicados a los cultivos y a la necesidad de lixiviar periódicamente las sales presentes en los horizontes superiores del perfil del suelo. A la fecha las prácticas agrícolas en México y otras partes del mundo han tenido como objetivo maximizar los rendimientos de los cultivos, sin considerar el deterioro ambiental que se pudiera ocasionar por el uso desmedido de los insumos. Recientemente el manejo sostenible de los recursos naturales se ha constituido en una prioridad nacional. Dentro de este contexto, la cuantificación del estado actual de los acuíferos con respecto a la concentración de elementos contaminantes es básica. El conocimiento de lo anterior permitirá delinear nuevos sistemas de producción agrícolas y pecuarios en áreas afectadas, que minimicen el impacto adverso sobre algo tan preciado como el recurso hídrico. Las zonas agrícolas en este estudio comprenden la Comarca Lagunera, Chihuahua, Sinaloa, Sonora y Guanajuato. Los resultados muestran que los acuíferos muestreados en la Comarca Lagunera presentan valores de concentración de nitratos muy por arriba de la norma oficial. Teniendo concentraciones de más de 200 ppm de N-NO₃, los cuales son inadecuados tanto para el consumo humano como animal. En estados como Chihuahua y Guanajuato el problema no es tan severo, pero se encontraron concentraciones de más de 10 ppm de N-NO₃ en algunos de los pozos que se analizaron; en los otros estados muestreados se detectaron solo pozos aislados que reportaron problemas de contaminación por este anión (Martínez *et al.*, 2006).

El nitrato se encuentra presente en la comida y en la bebida; como fuente principal de nitratos tenemos a las verduras. Por término medio, en el mundo occidental, un adulto tiene una ingestión de nitratos de unos 70 mg de nitrato/día a través de las verduras; los vegetarianos toman aproximadamente tres veces más. Además, el cuerpo humano produce 30-60 mg/día de nitrato como parte del metabolismo normal.

Es esencial mantener el agua que consumimos tan pura como sea posible, pero deberíamos recordar que el nitrato no es extraño al hombre. El límite actual es de 50 mg·l⁻¹ de nitrato en el agua potable (OMS y CEE) y deberá considerar un margen de seguridad. La lixiviación de nitratos hacia el subsuelo puede contaminar los acuíferos subterráneos, creando graves problemas de salud si se consume agua rica en nitratos, debido a su transformación en nitritos por participación de unas bacterias existentes en el estómago y la vejiga urinaria. Como resultado, en el suelo podemos encontrar nitrógeno orgánico (proteínico, ácidos nucleicos, azúcares) e inorgánico (NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻), siendo generalmente el orgánico el más abundante (85 al 95 % son valores normales). La movilidad de los nitratos en el suelo y su capacidad de contaminación de aguas subterráneas constituyen un problema fundamental de protección medioambiental en sistemas agrarios intensivos. Entonces, para afrontar este inconveniente, que bien se puede considerar como un problema moderno de uso del suelo, es necesario desarrollar y emplear todas las herramientas adecuadas (Cadahía, 2005; Boixadera y Cortés, 2000).

Conclusiones

La contaminación por nitratos del agua proveniente de las prácticas agrícolas es un problema agroambiental actual que está repercutiendo en la salud humana y animal. Esto es una referencia para comprender la naturaleza a la que se está viendo y seguirá viéndose sometida la agricultura a nivel mundial, nacional y estatal. Esta problemática constituye un problema grave a nivel mundial dadas las repercusiones que tiene; es por ello que se debe hacer esfuerzos para mejorar las técnicas que permitan mejorar la detección de agentes contaminantes y monitorear constantemente los ecosistemas sujetos a impactos ambientales severos, con el fin de tomar las medidas preventivas. La adición de fertilizantes nitrogenados usados en la agricultura y que se lixivian en forma de nitratos deteriora la calidad del agua que se encuentra en los mantos freáticos, y al ser extraída tanto para consumo humano como agrícola y ganadero, va a resultar perjudicial. Se debe profundi-

zar no solo en aspectos clásicos de investigación, como la cuantificación del ciclo del nitrógeno, sino también adoptar instrumentos de gestión idóneos, pero es claro que exige un marco socioeconómico, legal y administrativo adecuado.

Literatura citada

- AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE: "The Nitrate Problem", *Ground Water Quality and Agricultural Practices*, vol. 4, 2003, pp. 153-174.
- ÁLVAREZ, C.R.; ÁLVAREZ, R. y STEINBACH, H.: "Predictions of Available Nitrogen Content in Soil Profile Depth Using Available Nitrogen Concentration in Surface Layer", *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 32, 2000, pp. 759-769.
- BOIXADERA, J. y CORTÉS, A.: "Nitratos, agua y agricultura, un problema moderno de utilización del suelo", *Horticultura*, España, 2000.
- CADAHÍA, C.: *Fertirrigación, Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*, 3a. ed., Ediciones Mundi-Prensa, España, 2005, p. 57.
- CARPENTER, S.R.; CARACO, N.E.; CORRELL, D.L.; HOWARTH, R.W.; SHARPLEY, A.N. y SMITH, V.H.: "Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen", *Ecol. Applic.*, 8, 1998, pp. 558-568.
- GAIK, E.: *Fertilizantes de plantas, esterilizantes de suelos. Agricultura y contaminación*, Gara, Baigorri Argitaletxea, 2007.
- GARBISU, C.; BLANCO, A.; ALKORTA, I.; LLAMA, M. y SIERRA, J.L.: "Biotecnología con cianobacterias", *Investigación y Ciencias*, 1999, 64-71.
- HILL, M.J.: "Nitrates and Nitrites from Food and Water in Relation to Human Disease", en: WOOD, ELIS (ed.): *Food Science and Technology*, Londres, 1990, pp. 163-193.
- JAWORSKA, G.: "Content of Nitrates, Nitrites and Oxalates in New Zealand Spinach", *Food Chemistry*, 89, 2005, pp. 235-242.
- MARTÍNEZ, J.G.; CASTELLANOS, Z.; RIVERA, M.; NUÑEZ, R. y FAZ, C.: "Contaminación por nitratos en acuíferos del norte de México y del estado de Guanajuato", *Agrofaz*, publicación semestral de investigación científica, ISSN 1665-8892, vol. 6, n. 3, 2006, pp. 379-388.
- MILLIARIUM AUREUM, S.L.: *Introducción a la problemática de la contaminación por nitratos*, Ed. Ingeniería Civil y Medio Ambiente, 2004.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS)-ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS): "Nitratos, nitritos y compuestos de N-nitroso", *Criterios de salud ambiental*, 5, 1990, pp. 131-135.
- PACHECO, J. y CABRERA, A.: "Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas", *Ingeniería, revista académica*, 7, 2003, pp. 47-54.
- RYTHER, J.H. y DUNSTAN, W.M.: "Nitrogen, Phosphorus, and Eutrophication in the Coastal Marine Environment", *Sci.*, 171, 1996, pp. 1008-1013.
- SAMPER CALVETE, F.J. y PAZ GONZÁLEZ, A.: "Estimación del drenaje y lavado de nitratos en un sistema de cultivo de cereal de invierno en condiciones de secano y clima mediterráneo húmedo", *Estudios de la zona no saturada del suelo*, vol. VII, 2005.
- SÁNCHEZ, L.F.; GARCÍA-MIRAGAYA, J. y CHACÓN, N.: 1997. "Nitrogen Mineralization in Soils Under Grasses and Under Trees in a Protected Venezuelan Savanna", *Acta Ecología*, 18(1), 1997, pp. 27-37.
- SNYDER, C.S., BRUULSEMA, T.W. y JENSEN, T.L.: *Greenhouse Gas Emissions from Cropping Systems and the Influence of Fertilizer Management -A Literature Review*, International Plant Nutrition Institute, Norcross, Georgia, E.U., 2007.
- SPALDING, R.F. y EXNER, M.E.: "Occurrence of Nitrate in Groundwater. A Review", *J. Environ. Qual.*, 22, 1993, pp. 392-402.
- VITOUSEK, P.M.; ABER, J.D.; HOWARTH, R.W.; LIKENS, G.E.; MATSON, P.A.; SCHINDLER, D.W.; SCHLESINGER, W.H. y TILMAN, D.G.: "Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Sources and Consequences", *Ecol. Applic.*, 7, 1997, pp. 737-750.
- WARD, M.H.; MARK, S.D.; CANTOR, K.P.; WEINSIBURGER, D.D.; CORREAVILLASEÑOR, A. y ZAHM, S.H.: "Drinking Water Nitrate and the Risk of NonHodgkin's Lymphoma", *Epidemiol.*, 7, 1996, pp. 465-471. 