

Noticias de UTN

Calidad de Aguas para Consumo Humano: Presencia de Nitrato en Aguas Subterráneas. Revisión del estado de situación

Eleonora Moschione - Universidad Tecnológica Nacional - Unidad Académica Mar del Plata
Buque Pesquero Dorrego 281. Tel: 0223-480-5049 - emoschione@yahoo.com.ar

Resumen - La contaminación por nitratos en aguas subterráneas es una problemática frecuente en zonas urbanizadas y rurales de compleja gestión y solución. Si bien se trata de una especie química presente en la naturaleza, diferentes actividades antrópicas son fuente de nitratos elevando sus concentraciones en agua a tenores que superan los valores de referencia establecidos por la reglamentación. El principal efecto sobre la salud es la metahemoglobinemia, síndrome agudo que afecta especialmente a niños menores de 3 meses, mientras que otras enfermedades han sido desestimadas en los últimos años por falta de evidencias clínicas. La aplicación de tecnologías de tratamiento para eliminar el exceso de nitratos en el agua es factible, aunque costosa, y con requerimientos de gestión de residuos que ponen de manifiesto la necesidad de adoptar medidas que logren un equilibrio entre costos y beneficios garantizando la protección de la salud de la población de modo ambientalmente sustentable.

Palabras clave: Nitrato, aguas subterráneas, salud humana

Abstract - Nitrate pollution in groundwater is a frequent problem in urban and rural areas, difficult to manage and solve. Although it is a natural chemical species, different antropic activities are nitrate source, raising its concentrations in water to levels overcoming the reference values established by the regulations. The main health effect is methaemoglobinaemia, acute syndrome that affects specially children under 3 months, while other illnesses have been rejected in the last years, because of lack of clinical evidence. The application of treatment technologies is possible but expensive and requires management of wastes, showing the necessity of taking actions equilibrating costs and benefits, which guarantee health protection in a sustainable way.

Key words: Nitrate, groundwater, human health

INTRODUCCIÓN

La presencia de nitratos en aguas para consumo humano constituye uno de los contaminantes más frecuentemente detectados en los recursos hídricos subterráneos en relación con efectos de actividades antrópicas en zonas urbanas y rurales. La búsqueda de soluciones para esta problemática requiere un enfoque actualizado que considere los efectos para la

salud verdaderamente vinculados con la ingesta de nitratos, así como también las posibles medidas para resolver o mitigar este tipo de contaminación teniendo en cuenta la relación costo beneficio de la aplicación de tecnologías específicas desde el punto de vista operativo y económico. En este artículo se presenta una actualización de la información disponible en referencia a fuentes de aporte de nitratos a las aguas subterráneas, afectación de la salud comprobada por

la presencia de este contaminante y recomendaciones de acción al respecto.

ANTECEDENTES

Nitratos en el ambiente

El nitrato (NO_3^-) es la especie química más estable del nitrógeno en medio acuoso. Forma parte de los procesos propios del ciclo de este elemento en la naturaleza participando de reacciones químicas y biológicas en los diferentes compartimientos ambientales (aire, agua y suelo). Su gran solubilidad y movilidad en el subsuelo hace de esta especie un indicador de uso frecuente para la evaluación de contaminación en aguas subterráneas a causa de actividades humanas.

Las aguas subterráneas libres de contaminación presentan concentraciones naturales de nitrato muy escasas de entre 0 y 10 mg/l NO_3^- . En aguas superficiales generalmente los valores son menores de 1 mg/l NO_3^- (Nitrates and nitrites in drinking water, WHO, 2011). Los efluentes domésticos e industriales, aguas servidas, uso de fertilizantes nitrogenados y actividades de granja sin una gestión adecuada constituyen las principales fuentes antropogénicas de aporte de nitratos al ambiente.

Las especies de nitrógeno presentes naturalmente en el medio (litosfera, atmósfera, hidrosfera y biosfera) sufren procesos químicos y biológicos interconvirtiéndose unas en otras en el ciclo del nitrógeno. Constantemente ocurren procesos de transformación entre los compartimientos de este ciclo mediados por diferentes grupos de microorganismos fijadores de nitrógeno. Una vez transformado en amonio, el nitrógeno puede ser asimilado por las plantas y generar biomasa vegetal o ser transformado en nitrato. El ión amonio, en general, es rápidamente retenido por la matriz rocosa del suelo, en mayor o menor medida de acuerdo a su composición, mientras que el nitrato no se liga, transportándose con el agua fácilmente hacia la zona saturada y finalmente acuíferos inferiores.

En fase acuosa el nitrógeno se presenta en forma aniónica como nitrato (NO_3^-) y nitrito (NO_2^-) o catiónica como amonio (NH_4^+) pasando por estados de oxidación intermedios. El nitrito y especies orgánicas son inestables en aguas aireadas y suelen utilizarse como indicadores de contaminación por descarga de efluentes domésticos. La presencia de nitrato y amonio también puede ser indicativa del mismo tipo de

polución, aunque con un origen más antiguo o alejado del sitio contaminado (Hem, 1985).

Los efluentes ricos en nitrógeno (orgánico e inorgánico) representan una importante fuente de nitratos al medio ya que las formas de nitrógeno presentes en ellos, fundamentalmente amonio, son transformadas a nitrato en condiciones aeróbicas. Este proceso es mediado por microorganismos y tiene lugar predominantemente en la superficie edáfica de suelos aireados y también en aguas suficientemente oxigenadas (Nitrates and nitrites in drinking water, WHO, 2004). En el ámbito urbano las pérdidas provenientes de sistemas cloacales obsoletos, infiltración de efluentes industriales y gran densidad de pozos sépticos en áreas sin servicio de saneamiento constituyen el principal aporte de nitratos a las aguas subterráneas.

El uso de fertilizantes nitrogenados representa el principal aporte de nitrato a gran escala en zonas de explotación agrícola. Fundamentalmente este tipo de compuestos pueden clasificarse en cuatro grupos de acuerdo a la especie química que aportan: nítricos, amónicos, amónicos y nítricos, y derivados de amidas como la urea (Pacheco et al., 2003). La necesidad de controlar las cantidades de nitrógeno aportadas al suelo artificialmente a fin de evitar la contaminación del recurso hídrico subyacente es mundialmente reconocida, impulsando que muchos países hayan desarrollado políticas al respecto (Directiva Nitratos 91/676-CEE, 1991). En áreas rurales las actividades de irrigación cumplen un rol fundamental en el transporte de nitratos superficiales hacia las aguas subterráneas.

Las excretas de los animales de cría (bovinos, porcinos o aves) son ricas en compuestos nitrogenados, por lo que en lugares de acumulación de las mismas, como corrales o feedlots, las posibilidades de contaminación de aguas subterráneas por infiltraciones desde la superficie se incrementan notablemente (Pacheco et al., 2003). Resulta importante una adecuada gestión de los residuos generados en este tipo de actividades intensivas así como los que se producen en la industria tambera que opera con un gran número de animales en espacios reducidos.

Los aportes de contaminantes al medio hídrico subterráneo no sólo presentan una dirección de transporte vertical. En las zonas más profundas (acuífero saturado) el agua se moviliza predominantemente en sentido horizontal, en la dirección del gradiente hi-

dráulico, lo que hace posible que se vean afectadas por contaminación por nitratos zonas muy alejadas de su fuente de origen (Nitrates and nitrites in drinking water, WHO, 2004).

Efectos sobre la salud humana

El ser humano se encuentra expuesto a diferentes especies del nitrógeno y, como integrante de los procesos naturales del planeta, interviene activamente en varias etapas del ciclo de este elemento. Los nitratos presentes en el organismo humano pueden provenir de dos fuentes: exógena, por ingesta de alimentos y agua, o endógena, debida a la actividad metabólica. Cada una de ellas provee aproximadamente 70 a 75 mg diarios de nitrato (Löbbe, 2006).

De las fuentes exógenas, normalmente el 80% proviene de los vegetales y entre el 10 y el 15%, del agua potable de consumo. La mayor parte de los nitratos son absorbidos en las porciones proximales del intestino delgado, por lo cual sólo el 2% alcanza el colon, donde se transforman en nitritos que, por acción de la flora intestinal, generan amonio, metabolizado finalmente en el hígado, dando lugar a la formación de urea. Los nitratos ingeridos se excretan principalmente en forma pasiva por la orina, mientras que aproximadamente el 10% de los NO_3^- de origen exógeno se eliminan a través de la transpiración y las lágrimas (Löbbe, 2006).

El motivo que lleva a considerar a nitratos y nitritos como agentes de riesgo para la salud humana, particularmente en los bebés menores de 3 meses, es la metahemoglobinemia. Se trata de un cuadro clínico agudo, poco frecuente, que puede tener diversas causas como la ingesta de alimentos con altas concentraciones de nitrato, el consumo de agua con elevados tenores del mencionado ión, algunas patologías congénitas y otras fuentes ambientales.

Los nitratos en el organismo son transformados a nitritos (verdadera especie tóxica) y éstos oxidan el hierro presente en la hemoglobina desde su estado de oxidación (II) a (III) generando metahemoglobina, una forma oxidada de la hemoglobina, impidiendo su función natural como especie transportadora de oxígeno desde los pulmones hacia los tejidos, produciéndose una situación de anoxia (Nitrates and nitrites in drinking water, WHO, 2011). Normalmente en una persona sana existe una concentración de metahemoglobina normal de un 2% sin provocar inconvenientes

a la salud, mientras que se observa sintomatología clínica si este valor asciende a más del 10%, resultando mortal en niveles superiores al 70% (Palacios, 1997).

Los niños menores a tres meses de edad son más sensibles a esta enfermedad debido a los siguientes factores:

- Poseen un tipo de hemoglobina especial (hemoglobina F) más susceptible a la conversión a metahemoglobina por parte de los nitritos presentes.
- Tienen un pH estomacal más alto que favorece la transformación de nitratos a nitritos mediada por bacterias presentes naturalmente en el sistema gastrointestinal.
- El complejo enzimático capaz de reducir la metahemoglobina a hemoglobina es más deficiente en los lactantes.
- La ingesta de líquido en relación al peso corporal es más alta en niños pequeños que en los mayores o personas adultas.

Otros grupos con mayor probabilidad de afectación son las embarazadas, las personas con deficiencias enzimáticas puntuales (glucosa-6-fosfatodeshidrogenasa o metahemoglobina-reductasa) y aquellas con cuadros de acidez gástrica reducida (Nitrates and nitrites in drinking water, WHO, 2011).

Se han realizado estudios epidemiológicos buscando vinculación entre la presencia de nitratos en el agua y algunos tipos de cáncer sin hallar una asociación demostrada entre la exposición de los seres humanos al nitrito o el nitrato y el riesgo de cáncer (WHO Guidelines for Drinking-water Quality, 2011).

También se han detectado efectos beneficiosos de la presencia de nitratos en el agua y la alimentación. Existen estudios que indican un rol de los nitratos y la vía metabólica en la que participan, en la prevención de enfermedades cardiovasculares y episodios trombóticos, así como en mecanismos de defensa contra patógenos gastrointestinales. (Nitrates and nitrites in drinking water, WHO, 2011).

Fuentes de exposición e ingesta diaria

La importancia relativa de los nitratos provenientes del agua de bebida en la ingesta diaria se ve fuertemente influenciada por la concentración de esta especie en el medio hídrico y el tipo de alimenta-

ción según costumbres y cultura de la población. Cuando la cantidad de nitratos en el agua de bebida está por debajo de los 50 mg/l los alimentos constituyen la fuente principal de nitratos en dietas ricas en vegetales. Aguas con concentraciones mayores a este valor pueden constituir la principal fuente de nitratos para el organismo, sobre todo en niños pequeños alimentados a biberón en los que la proporción de líquido ingerida con respecto a su masa corporal es muy alta (Nitrates and nitrites in drinking water. WHO, 2011, Varsavsky y Dillon, 2004).

Los nitratos presentes en los alimentos pueden encontrarse como constituyentes naturales en ellos como ocurre en los vegetales de hoja, tubérculos y raíces comestibles, o ser adicionados. Es muy amplio el uso de nitratos como aditivos en quesos, carnes y embutidos, como conservantes y fijadores del color evitando el desarrollo de microorganismos y mejorando el aspecto de los alimentos frente al consumidor (Palacios, 1997). En referencia al agregado de nitritos como aditivo alimentario el Código Alimentario Argentino reglamenta claramente esa operación. Existen otras fuentes de exposición además de la alimentaria e hídrica, según puede verse en la Tabla 1.

La ingesta diaria de nitratos dependerá fuertemente de los hábitos alimentarios y la calidad de agua de bebida, siendo ambas fuentes susceptibles de una regulación adecuada a fin de evitar efectos adversos en la salud.

De acuerdo a las concentraciones de nitratos y nitritos presentes en los alimentos y el agua en término medio, se calcula que la ingesta semanal aproximada del ser humano está compuesta por: 400 a 450 mg provenientes del agua, 85 a 105 mg a partir de vegetales, 210 a 225 mg por consumo de fiambres o embutidos y 110 mg por aire inhalado (emisiones naturales, cigarrillos, contaminación antropogénica) (Ryczel, 2006).

La concentración de nitratos en los alimentos pueden alcanzar valores de cientos a miles de partes por millón (mg/kg), como se ejemplifica en la Tabla 2.

Niveles guía y normativa vigente

Los estudios epidemiológicos que dieron base a los valores guía, adoptados por la mayoría de los países, fueron realizados por los investigadores Bosch y Walton entre 1950 y 1951. En ellos no se encontraron efectos adversos en aguas con tenores de nitratos por

Agente	Fuente/Usó
NITRATOS/ NITRITOS INORGÁNICOS	§ Agua de pozos contaminados. § Conservadores de productos cárnicos. § Algunos vegetales (espinacas, zanahorias, etc). § Tratamientos para quemaduras a base de nitrato de plata. § Sales de uso industrial. § Contaminantes de los tanques de óxido nitroso para anestesia.
NITRITOS ORGÁNICOS -Nitritos de butilo e isobutilo -Nitrito de amilo -Nitroglicerina	§ Propelentes para desodorantes de ambiente. § Inhalantes en el equipo de antidotos para cianuros. § Medicamentos orales, sublinguales o transdérmicos para el tratamiento de la angina.
OTROS -Nitrobenceno. -Anestésicos locales. -Sulfonamidas, Sulfonas. -Fenazopiridina. -Antimaláricos. -Acido p-aminosalicílico. -Productos de la combustión.	§ Disolventes industriales, limpiadores de armas. § Benzocaína, lidocaína, propitocaína, prilocaína. § Medicamentos antibacterianos, bactericidas. § Piridum. § Cloroquina, primaquina. § Dapsone. § Incendios, incineración.

*Tabla 1 - Fuentes de exposición a nitratos
Fuente: ATDSR en Albert Palacios, 1997*

debajo de 10 mg N-NO₃-/l (equivalente a 45 mg NO₃-/l), mientras que sí referían patologías en aguas con contenidos de nitratos varias veces superiores a este nivel. Además en el trabajo de Bosch fue detectada la presencia de coliformes en el 88% de las muestras analizadas por contaminación bacteriana (IRIS-EPA, 1997), donde el alto contenido de nitratos era acompañado por una carga microbiológica que probablemente propiciara la transformación de éstos a nitritos, por lo que resulta sumamente importante tener en cuenta la calidad fisicoquímica y bacteriológica a la hora de evaluar el posible riesgo sobre la salud por la

Contenido de nitratos en alimentos		
< 100 mg/kg	100 a 1000 mg/kg	> 1000 mg/kg
Espárragos	Repollo	Remolacha
Ajo	Zanahoria	Brócoli
Hongos	Coliflor	Lechuga
Cebolla	Achicoria	Espinaca
Arvejas	Pepinos	Perejil
Papas	Apio	Nabo
Batatas	Carnes	
Tomates	Quesos	
Lácteos	Embutidos	

Tabla 2 - Contenido de nitratos en algunos alimentos
Fuente: Varsavsky et al., 2004

presencia de nitratos en el agua.

Dado que se obtuvieron datos que indicaban la presencia de nitritos en algunos sistemas de abastecimiento de agua, siendo éste el agente directo para la formación de metahemoglobina, la OMS consideró que también debía proponerse un valor guía para los nitritos (Tabla 3). Aceptando una potencia relativa respecto a la formación de metahemoglobina de 10:1, para la relación $\text{NO}_2^- : \text{NO}_3^-$ (en términos molares) se propuso un valor guía provisional para el nitrito de 3 mg/l. Por otra parte, dado que los nitratos y nitritos pueden estar presentes en el agua de bebida en forma simultánea, la suma de las razones de la concentración de cada uno de ellos y su respectivo valor guía no debe superar la unidad.

En los últimos años se ha recopilado evidencia confirmando que, si bien el elevado contenido de nitratos es un factor de riesgo de metahemoglobinemia importante, cuando los valores se encuentran entre 50 y 100 mg/l el mismo se ve especialmente incrementado en presencia de infecciones gastrointestinales acompañantes, por lo que las autoridades deben mantener una vigilancia microbiológica más estricta en el agua de suministro público cuando los niveles de nitrato están cercanos a los valores de referencia (WHO-Guidelines for drinking water, 2011).

TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN

En nuestro país, a nivel nacional, la Ley 18284 (Código Alimentario Argentino), en su artículo 982, establece que será considerada “agua potable de sumi-

Especie química	Valor de referencia
Nitrato (NO_3^-)	50 mg/l para proteger a los lactantes alimentados con biberón contra la meta-hemoglobinemia (exposición a corto plazo).
Nitrito (NO_2^-)	3 mg/l para la metahemoglobinemia en lactantes (exposición a corto plazo).
Nitrito y nitrato en conjunto ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$)	La suma de los cocientes entre la concentración de cada uno y su valor de referencia no debe ser mayor que 1.

Tabla 3 - Valores guía de nitrato y especies relacionadas para agua potable
Fuente: Guías para la Calidad del Agua Potable, OMS, 2011

nistro público” y “agua potable de uso domiciliario” aquella que presente una concentración de la especie nitrato (NO_3^-) < 45 mg/l y de nitrito (NO_2^-) < 0.10 mg/l.

En el ámbito de la Provincia de Buenos Aires, la Ley 11820 establece el marco regulatorio para la prestación de servicios públicos de provisión de agua potable, fijando las concentraciones máximas de 50 mg/l y 3 mg/l para las especies químicas nitrato y nitrito respectivamente.

Los sistemas de tratamiento para la remoción de nitratos en aguas contaminadas son variados, incluyendo desarrollos tecnológicos de eficiencia comprobada y otros en etapas de ajuste. Los procesos de ósmosis inversa e intercambio iónico son los más utilizados actualmente, con equipos disponibles en el mercado, que requieren un ajuste específico a las necesidades particulares de cada caso. El agua tratada sufre modificaciones en su composición química, además de la remoción de nitratos, por lo que su calidad debe ser verificada antes del consumo o distribución final. El costo, tanto a escala doméstica como colectiva, y la necesidad de operación mediante personal entrenado en instalaciones a gran escala, hacen de estos sistemas una opción que no siempre es posible desde el punto de vista económico y operativo (Moschione, 2010). Ésto ha promovido estrategias

de mitigación que no resuelven el problema en forma directa pero permiten el acceso a agua segura, como la mezcla de aguas contaminadas con otras de buena calidad antes de su distribución, la profundización de perforaciones, la extracción de agua desde zonas más alejadas o el abastecimiento de agua envasada para bebida y cocción de alimentos, destinando el agua disponible para el resto de los usos (higiene, sanitarios, riego, limpieza de instalaciones, etc.) en los que requerimientos de calidad no son tan exigentes.

Frente a los costos de los sistemas de tratamiento para la remoción de nitratos y los inconvenientes que generan la disposición de los residuos que éstos producen, especialmente en el caso de la regeneración de resinas de intercambio iónico y ósmosis inversa, la OMS (2011) recomienda la mezcla con agua de mejor calidad para lograr los valores de referencia para nitratos y nitritos.

CONCLUSIONES

La presencia de nitratos por encima de los valores de base mencionados para aguas superficiales y subterráneas debe considerarse como un contaminante ambiental de origen antropogénico urbano o rural. Debe evaluarse de modo integrado el verdadero riesgo que las concentraciones halladas impliquen para la salud de los usuarios, la factibilidad de otras fuentes de agua, la necesidad y la relación costo-beneficio de la aplicación de tratamientos de purificación.

La gran solubilidad y movilidad del ion y su sencillo análisis hacen de esta especie química un excelente indicador de contaminación hídrica que puede aprovecharse para la protección y adecuada de gestión sustentable de los recursos hídricos.

De acuerdo a la OMS concentraciones que superen los valores de referencia durante períodos breves no representan un riesgo de afectación a la población adulta normal. Sin embargo debe atenderse y controlarse la calidad del agua de consumo, sobre todo cuando la fuente de abastecimiento es una perforación privada no sometida a controles periódicos por las autoridades sanitarias. Este organismo también destaca la vinculación de los efectos adversos por nitratos en concentraciones elevadas en el agua de consumo y la calidad microbiológica de la misma, especialmente en el rango de nitratos entre 50 y 100mg/l.

El uso de dispositivos de purificación para la remoción de nitratos en aguas contaminadas mediante

procesos de intercambio iónico u ósmosis inversa es posible y eficaz. Sin embargo estos sistemas resultan costosos y generan residuos, por lo que es importante decidir la necesidad de un tratamiento o la mezcla con agua con bajos tenores de nitratos, evaluando el uso que se requiere de la misma (bebida humana o animal, higiene, riego, uso industrial, recreativo, etc.) y los estándares de calidad exigidos.

REFERENCIAS

Nitrate and nitrite in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, WHO/SDE/WSH 07.01/16/Rev/1, 2011.

Hem, Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, 1985.

Nitrates and nitrites in drinking water. Rolling Revision of the WHO guidelines for Drinking Water Quality. World Health Organization, 2004.

Varsavsky, Dillon, "Nitratos en el medio ambiente ¿Qué se sabe y qué se dice?", Industria y Química, Revista de la Asociación Química Argentina N° 347, 2004.

Pacheco Avila, Cabrera Sansores, "Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas", Artículo de divulgación. Revista Ingeniería 7-2. pp. 47-54. UADY, México, 2003.

Directiva Nitratos 91/676-CEE, Relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura. DOCE 375/L, 1991.

Löbbe, "Metabolismo de los nitratos y nitritos. Efectos sobre la salud. II Foro: Nitratos y Nitritos en la alimentación humana", FANUS, 2006.

Palacios, América, "Nitratos y nitritos. ECO. Introducción a la toxicología ambiental", Metepec, Capítulo 17, ECO, p.279-96, 1997.

Ley Nacional 18284. Código Alimentario Argentino, capítulo XII, artículo 982, 2012.

Ley Provincial 11820. Prestadores del Servicio de Agua Potable en la Provincia de Buenos Aires, 1996.

Ryczel, "Presencia en el agua de bebida de nitratos y nitritos y su impacto sobre la salud", ATA INFORMA, Boletín Informativo de la Asociación Toxicológica Argentina, año 20, número 71, 2006.

Integrated Risk Information System (IRIS), 076 Nitrate. U.S. Environmental Protection Agency, 1997.

WHO Guidelines for Drinking-water Quality, 4th Edition. ISBN 978 92 4 154815 1, 2011.

Moschione, "Evaluación Integral de la problemática de nitratos en aguas subterráneas en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. Alternativas de tratamiento y solución con tecnologías disponibles". Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental, 2010.



No están citados en el texto

