

ORIGEN DE LOS NITRATOS (NO₃) Y NITRITOS (NO₂) Y SU INFLUENCIA EN LA POTABILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Origin of nitrate (NO₃) and nitrites (NO₂) and their influence in the potability of the underground waters

Constantino DE MIGUEL-FERNÁNDEZ¹, Yaniel Misael VÁZQUEZ-TASET¹

(1) Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. [Email: cdemiguel@ismm.edu.cu](mailto:cdemiguel@ismm.edu.cu)

RESUMEN- Se exponen los principales factores de origen antrópico, geológico y climático que pueden originar contaminación por nitratos (NO₃) y nitritos (NO₂) y que más influyen en las condiciones de Cuba. Se analiza la contaminación por estos compuestos nitrogenados en territorios del Sur del Valle del Cauto y la provincia Holguín, así como en territorios de otros países. Se concluye que en las condiciones de Cuba, la contaminación por nitratos y nitritos puede considerarse alarmante, atendiendo al grado de desarrollo actual y a su posible incidencia sobre la salud de la población, esto último evaluado de forma cualitativa. Finalmente se recomiendan varias medidas para detallar las causas principales de la contaminación y como erradicarlas.

Palabras clave: contaminación, compuestos nitrogenados, salud

ABSTRACT- It is shown the main antropic, geologic and climatic factors that can originate nitrates (NO₃) and (NO₂) nitrites (NO₂) contamination as well as its influence in the conditions of Cuba. The contamination in territories at the South of the Cauto Valley, Holguin province and territories of others countries is analysed. It is concluded that in the conditions of Cuba the contamination can be considered as alarming by the level of actual development and the possible incidence with respects to the health of the population, evaluated in a qualitative form. Recommendations of various means and methods necessary for the detail classification of the principal causes of contamination and control of it are offered.

Key words: contamination, nitrogenated compounds, health

INTRODUCCIÓN

A partir de la revisión de la literatura especializada, se analiza la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos y nitritos y se ofrece información acerca de la problemática actual de los acuíferos cubanos, así como una recomendación general para el estudio de las causas de la contaminación actual y protección de los acuíferos contra la misma.

Durante el proceso de perforación de pozos en Cuba en acuíferos freáticos con fines de suministro a población, se ha detectado contaminación de las aguas subterráneas por nitratos y nitritos en los análisis químicos realizados a las muestras de agua de los aforos. En ocasiones la contaminación se explica por presencia de fuentes contaminantes en las cercanías de los pozos, sin embargo, en muchos casos no existen fuentes contaminantes de origen antrópico, por lo que éstas deben ser naturales y son desconocidas.

En el presente trabajo se refleja de forma extractada las distintas causas que pueden originar contaminación con nitratos y nitritos, como resultado del estudio de distintas fuentes bibliográficas y trabajos propios del autor (De Miguel, 1986). Se analizan los factores que pueden ser agentes importantes de contaminación y sobre los cuales hay poco conocimiento en la actualidad, por lo que se requiere el estudio de todos los factores relacionados para poder determinar, en las condiciones climáticas y de país agrícola, con una densa población rural y amplio desarrollo agropecuario, cuáles son los factores que más influyen en la contaminación por nitratos y nitritos de las aguas subterráneas y poder tomar medidas al respecto.

Contaminación por nitratos (NO_3) y nitritos (NO_2) en las aguas subterráneas y su influencia en la potabilidad de estas aguas

Los horizontes acuíferos freáticos (aguas sin presión), están relacionadas con la denominada zona de origen de las aguas subterráneas (zona de hidrogénesis). Por las condiciones litológicas de esta zona, que coincide con la corteza de intemperismo, generalmente se presentan altas permeabilidades en los sedimentos o rocas acuíferas y en ellas influyen directamente las características y fenómenos que se desarrollan en el medio ambiente superficial y en los suelos (capa vegetal), por ser este el primer acuífero a partir de la superficie del terreno.

De lo antes expuesto se desprende que los horizontes acuíferos freáticos están generalmente en estrecha relación con las aguas superficiales de origen fluvial y pluvial, incluyendo las de riego, y por ello, con los fenómenos químicos y biológicos que se desarrollan en la capa vegetal (suelos) y en la zona no saturada.

Los compuestos nitrogenados presentes en las aguas naturales están íntimamente relacionados con el ciclo del nitrógeno. La mayor parte del nitrógeno aparece en forma gaseosa en la atmósfera (78 % en volumen), en forma oxidada constituye una relativamente importante fracción en los suelos y sustancias orgánicas (tejidos de animales o vegetales que lo extraen de la

atmósfera para su metabolismo). En las rocas sin embargo, solo se presenta como elemento minoritario.

El nitrógeno puede aparecer en forma de NH_3 , NH_4 y por oxidación, estas formas reducidas pueden transformarse en NO_2 y finalmente en NO_3 que es la forma más usual y estable (De Miguel, 1999). Los procesos de oxidación reducción de las especies nitrogenadas por fenómenos biológicos y en consecuencia, los productos finales del número y tipo de organismos que intervengan en ellos.

Generalmente el NH_4 o el amonio libre, aparecen solo como trazas en aguas subterráneas, aumentando su concentración cuando el medio es fuertemente reductor. Este compuesto es el producto final de la reducción de sustancias orgánicas o inorgánicas nitrogenadas que naturalmente se incorporan al agua subterránea.

Dado que la presencia de amonio favorece la multiplicación microbiana, su detección en cantidad significativa en el agua se considera como indicio de probable contaminación reciente. El ión nitrito puede estar presente en las aguas bien como consecuencia de la oxidación del NH_3 o como resultado de la reducción microbiana o no de los nitratos. Su presencia en el agua debe considerarse como un indicio fundado de una posible contaminación reciente (dada su inestabilidad) y tal vez de la no potabilidad del agua debido a la toxicidad de este ión.

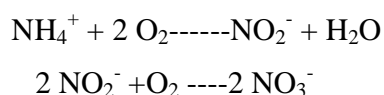
No obstante, la sola presencia de nitrito y amonio en el agua subterránea no debe ser considerada como resultado de una contaminación sin analizar las posibles causas de su presencia, dado que en un acuífero las condiciones de oxidación no son siempre favorables y estos iones, incorporados de manera natural al acuífero, pueden mantenerse durante cierto tiempo en el equilibrio con su forma oxidada, el nitrato.

Los nitratos pueden estar presentes en las aguas subterráneas bien como resultado de la disolución de rocas que los contengan, lo que ocurre raramente, bien por la oxidación bacteriana de materia orgánica. Su concentración en aguas subterráneas no contaminadas raramente excede de 10 mg/L.

El origen de los nitratos en las aguas subterráneas no siempre puede esclarecerse. Estos son relativamente estables pero pueden ser fijados por el terreno o ser reducidos a nitrógeno o amonio en ambientes reductores. A menudo son indicadores de contaminación alcanzando entonces elevadas concentraciones y presentando por regla general una estratificación clara con predominio de las mayores concentraciones en la parte superior de los acuíferos libres o freáticos.

Los horizontes acuíferos freáticos en territorios del trópico y subtropical donde existen altas temperaturas y abundantes precipitaciones atmosféricas, están expuestos a una fácil contaminación de origen orgánico, tanto por la descomposición de la materia orgánica que se encuentra en los suelos como por residuos fecales de origen animal o humana que de forma directa o indirecta se depositan en la corteza terrestre.

Durante la estancia de la materia orgánica en la zona no saturada (incluyendo el suelo) y posteriormente en la zona de saturación, esta sufre toda una serie de transformaciones en forma escalonada, influenciada por la acción de bacterias y microbios que habitan esta zona (Feodorova,1985), las albúminas compuestas se transforman en aminoácidos, posteriormente en amonio (NH_4), luego en nitritos (NO_2) y al final en nitratos (NO_3).



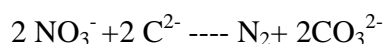
Este proceso de transformación de la materia orgánica es muy complejo, en el mismo participan bacterias oxidantes llamadas nitrobacterias. La velocidad de ejecución de esta transformación depende del grado de desarrollo de las condiciones que propician la misma. Como resultado de la transformación de la materia orgánica, tenemos que el nitrógeno pasa de compuesto orgánico a compuesto simple, soluble en el agua.

La aparición de los nitritos y nitratos en el agua subterránea también puede ser de origen químico, provocado por el vertimiento de residuales industriales y por la utilización de fertilizantes orgánicos y sobre todo nitrogenados en áreas agrícolas. Puesto que las plantas solo pueden aprovechar el nitrógeno en forma de nitratos, el tipo de fertilizante aplicado condiciona la proporción de nitrógeno utilizable por las mismas y, en consecuencia, la cantidad no aprovechada por las plantas se filtra hacia el acuífero. La concentración de nitrato en el agua de infiltración depende pues del tipo de fertilizante y, además de la frecuencia, cantidad y modo de aplicación así como del nitrógeno orgánico o inorgánico ya existente en el suelo, también del grado de permeabilidad, grado de humedad y otras características del suelo.

Los nitritos de forma natural pueden encontrarse en suelos que contengan un PH superior a 7.7 Los fertilizantes nitrogenados pueden originar directamente nitritos en lugar de nitratos cuando estos son aplicados en suelos algo alcalinos a partir de un PH de 7 a 7.3, en este caso la concentración de nitritos en el suelo puede alcanzar magnitudes semejantes a los nitratos con concentración máxima hasta de 100 mg/L (Guerra,1979).

El proceso de descomposición de la materia orgánica y la transformación de esta y de compuestos químicos, principalmente los nitrogenados, pueden llegar a influir notablemente en la calidad química del agua subterránea, como agua potable, con la adición ó incremento de iones NO_3 y NO_2 , de estos elementos el mas nocivo es el nitrito (NO_2), su origen como ya se ha analizado puede ser por distintas causas y por procesos geoquímicas. o bioquímicos que se producen en la zona no saturada y acuíferos freáticos.

De los nitratos por reacciones reversibles puede producirse también el nitrito debido a procesos de desnitrificación, al combinarse el nitrato con el carbono C que se libera de los procesos de descomposición de la materia orgánica, durante este proceso se libera el nitrógeno N_2 (Jackson, 1970) y por combinación de este con el oxígeno disuelto en las rocas y aguas, puede producirse de nuevo iones de nitrito (NO_2) y nitrato (NO_3).



Al igual que el nitrógeno que se libera por procesos de desnitrificación, este elemento puede agregarse al agua por el lavado de los suelos (Guerra, 1979). En la atmósfera existen gases como el O_2 , CO_2 y el N_2 , solubles en el agua, bajo la influencia de descargas eléctricas que se producen en la atmósfera, principalmente durante las turbonadas el nitrógeno (N_2) se une con el hidrogeno (H) y con el oxígeno (O_2) formando ácido nítrico (NH_3) y nitrito (NO_2), de tal forma, tanto el ácido nítrico como el nitrito diluidos con las aguas de las precipitaciones atmosféricas llegan al suelo y por infiltración de las aguas penetran hasta el acuífero.

Por experimentos ejecutados en territorios europeos de Rusia se demostró que anualmente por deposición a través de precipitaciones atmosféricas en el suelo se depositan de 3 a 4.5 Kg. por hectárea de ácido nítrico y nitrito (Shvartsev, 1972). En países altamente industrializados en estos procesos influyen también las llamadas lluvias ácidas. También se ha comprobado que mientras mayor es el contenido de elementos nitrogenados, mayor será la carga eléctrica de sus partículas, de modo que se facilita la dispersión y arrastre por las aguas que se infiltran hasta la zona acuífera.

Este proceso por las condiciones climáticas de Cuba puede ser un factor de gran importancia en la formación y origen de nitratos y nitritos en las aguas subterráneas freáticas, sobre este proceso tenemos muy poco conocimiento, por lo que debe ser estudiado por la importancia que el mismo puede representar en nuestras condiciones climáticas y acuíferos freáticos.

Otras causas que pueden dar origen a los nitratos y nitritos lo representan algunas raíces con nódulos (tubérculos) en las cuales habitan bacterias que absorben el nitrógeno de la atmósfera y producen nitratos en cantidades superiores a las requeridas por las plantas, este exceso de nitrato puede pasar a ser componente de las aguas freáticas.

En Cuba en los distintos abastos a partir de las aguas subterráneas, generalmente se utilizan las aguas de origen freático, debido a que son las aguas subterráneas que pueden ser explotadas sin grandes inversiones económicas, representan ser los acuíferos de mayor acuosidad y también debido a que por las condiciones geológicas y geográficas de la isla son las aguas de menor salinización, aunque las mismas son las mas propensas a la contaminación por materias y productos de los que se derivan elementos de alta nocividad. Esto debido a que nuestro país, es un país agrícola, donde en los últimos años se ha aplicado ampliamente los adelantos tecnológicos de la agricultura, con el desarrollo de riego, utilización de herbicidas, plaguicidas y principalmente fertilizantes nitrogenados, también por nuestras condiciones climáticas. Además, existe una amplia población rural disgregada por todo el territorio y un amplio desarrollo pecuario que se concentran en mayor grado en los territorios llanos, donde precisamente están desarrollados los principales acuíferos freáticos.

De igual forma en gran número de ciudades se tienen repartos sin sistemas de alcantarillados en los que los pobladores cuentan con depósitos (fosas) para los residuales domésticos, sin impermeabilización de sus paredes. En estos mismos repartos en muchos casos los habitantes, para satisfacer el deficiente abasto de agua de acueducto, se abastecen de agua de pozos particulares (criollos), que generalmente se encuentran contaminados tanto por bacterias que originan distintas enfermedades, como por nitratos y nitritos originados de las propias bacterias y materias orgánicas en descomposición.

Todo lo antes relacionado representa serios problemas sanitarios y ambientales para la población cubana, aunque también ocurre en otros países. A continuación presentamos la tabla 1 donde, además de datos obtenidos de literatura sobre el contenido de nitratos y nitritos en aguas subterráneas de distintos países, se incluye datos de esta contaminación en provincias orientales de Cuba (De Miguel, 1986; Expedientes de Pozos INRH, Holguín, com. esc).

TABLA 1. Datos de contenido de nitrito y nitrato.

Países	Contenido medio en mg/L		
	NO ₃	NO ₂	Cantidad de análisis
Antigua URSS			
Sur de Siberia	...	0,03	749
Depresión Kansko-Tasévkaya	1,2	0,08	78
Llanura Barakínskay	5,52	0,07	282
Salairski Krysh	1.33	0.19	1339
Región Sayano Altay	0.74	0.10	693
Estados Unidos de América			
Estados del Sur	2.10	---	92
California	3.40	---	25
Zonas del Norte	3.19	---	284
Sureste de los Apalaches	4.30	---	269
Sierra Nevada	0.20	---	96
Otros			
Zona Oriental de Nigeria	1.63	0.09	71
Valle del África Occidental	1.63	0.09	330
Islas Hawai	0.90	---	86
Finlandia (Territorio de Plandia)	0.93	0.01	704
Suecia	1.20	0.01	16
Otros países del trópico y subtropical.	1.87	0.07	5216
Cuba			
Zona sur del Valle del Cauto	11.70	0.176	230
Provincia Holguín	22.25	0.274	1042

Como puede observarse de la tabla anterior la contaminación de las aguas subterráneas por nitritos y nitratos puede considerarse de proporciones internacionales, agudizándose la misma en los países tropicales. En el caso de Cuba los datos son alarmantes, representados por el contenido medio ponderado de análisis ejecutados para estudios con distintos fines de abasto de agua, los mismos abarcan un amplio territorio (más de 10 000 km²) y caracterizan la situación actual de contaminación existente por nitratos y nitritos.

Por estudios efectuados por la OMS (Norma Internacional para Calidad del Agua Potable, 1972) y otras instituciones de la salud, se ha detectado que los nitratos son perjudiciales para los niños,

sobre todo para los lactantes, cuando su concentración en el agua es mayor de 45mg/L, pues al reducirse a nitritos, puede provocar la enfermedad conocida como metahemoglobinemia, que es una intoxicación de la sangre, pudiendo alcanzar consecuencias fatales en muchos casos. Mayor perjuicio en la población infantil causa aún el consumo de aguas contaminadas directamente por nitrito.

El consumo de aguas contaminadas por nitratos y nitritos, son perjudiciales al hombre en general, debido a que por la acción de estos compuestos con bacterias intestinales, pueden formarse nitrosaminas, las cuales a causa de su posible acción cancerogénica, resultan peligrosas al hombre.

En algunos países donde las fuentes de agua para acueductos se encuentra contaminadas por nitratos y nitritos, se distribuye agua potable embotellada para el consumo, principalmente para los niños y en muchos casos para toda la población.

En general las afectaciones que los nitratos y nitritos pueden provocar en el ser humano, están mejor definidas para la población infantil y sobre todo para los niños lactantes, mientras que para lo adultos aún no esta totalmente esclarecido el grado de afectación, prueba de ello es que en distintos países las normas de consumo de estos elementos varían.

En Cuba se han establecido normas estrictas, siendo 45 mg/L el máximo deseable para los nitratos. Para los nitritos se establece una concentración de 0 mg/L, es decir, este compuesto debe estar ausente en el agua para consumo humano (Norma Cubana para Agua Potable, 1984).

CONCLUSIONES

En las condiciones hidrogeológicas de Cuba, los acuíferos de mayor explotación de aguas subterráneas para el consumo de la población están propensos a ser contaminados por nitratos y nitritos como consecuencia del desarrollo agropecuario, industrial y poblacional, existiendo en la actualidad extensas zonas acuíferas contaminadas en magnitudes alarmantes, por lo que debe elaborarse con carácter prioritario, un programa para el estudio de las causas y factores que generan esta contaminación, definir las principales y tomar las medidas necesarias que permitan detener el desarrollo de la contaminación y dentro de lo posible, eliminar la misma, con el objetivo de preservar las aguas subterráneas como parte integral del medio ambiente y

proporcionar a la población un agua de buena calidad con formas racionales de explotación, que permitan el uso sostenible de estos geo-recursos.

Como resultado de este trabajo se recomienda evaluar y tomar medidas en todas las ramas de la economía relacionadas con emisión de elementos contaminantes y sobre todo, generadores de contaminantes nitrogenados, que son los más desarrollados, para disminuir hasta concentraciones admisibles los elementos que se generen. De igual forma por las instituciones que correspondan deberán crearse las condiciones para la ejecución de los sistemas de acueductos y sobre todo de alcantarillados, priorizándose las áreas urbanas que carecen de estas redes, con el objetivo de preservar la salud de la población con medidas preventivas tan importantes como lo representa la higienización de las áreas urbanas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- De Miguel, F. C.; 1986, Formación y Evaluación de las Reservas de Explotación de las Aguas Subterráneas de los Sedimentos del Mioceno-Cuaternario de la Cuenca del Río Cauto en Cuba, Editorial LGI, San Petersburgo.
- De Miguel, F. C.; 1999, Hidrogeología Aplicada, Editorial "Félix Varela", La Habana. 453 Páginas.
- Expedientes de Pozos, Departamento de Hidrología. Instituto de Recursos Hidráulicos. Holguín.
- Feodorova, T. K. ; 1985, Procesos Físico Químicos en las Aguas Subterráneas, Editorial "Niedra", Moscú, 348 Páginas.
- Guerra, F. D.; 1979, Edafología General, Editorial DAP, La Habana. 350 Páginas
- Jackson, M. L.; 1970, Análisis Químico de Suelos. Wisconsin, E.U.A. 288 Páginas.
- OMS; 1973 Normas Internacionales Para el Agua Potable, La Habana. 25 Páginas.
- MINSAP, 1984, Norma Cubana para Agua Potable, Gazeta Oficial de Cuba.
- Shvartsev S. L. 1978, Hidrogeoquímica de la Zona de Hidrogénesis. Editorial Niedra, Moscú. 325 páginas.