

TITULO: Factores ambientales y contaminación de fuentes de abasto de agua por nitratos en una zona rural

Autores: del Puerto Rodríguez Asela M.¹, Solano Suárez Raymel ², Suárez Tamayo Susana³, Cuellar Luna Liliam⁴, Maldonado Cantillo Geominia⁵, Cantero Barroso Dainelys ⁶.

¹ Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología/Centro de Epidemiología y Salud Ambiental/Departamento Evaluación de Riesgo, La Habana, Cuba, delpuerto@infomed.sld.cu

² Centro Provincial de Higiene, Epidemiología y Microbiología/Laboratorio de Química, Provincia Pinar del Río, Cuba, raymel@princesa.pri.sld.cu

³ Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología/Centro de Epidemiología y Salud Ambiental, La Habana, Cuba, susanast@infomed.sld.cu

⁴ Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología/Centro de Epidemiología y Salud Ambiental/Departamento Evaluación de Riesgo, La Habana, Cuba, lcuellar@inhem.sld.cu

⁵ Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología/Centro de Epidemiología y Salud Ambiental/Departamento Evaluación de Riesgo, La Habana, Cuba, geominia@inhem.sld.cu

⁶ Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología/Laboratorio Microbiología, La Habana, Cuba, dainelys@inhem.sld.cu

Resumen:

Introducción: El nitrato contamina las aguas superficiales y subterráneas como consecuencia de la actividad agrícola, del tratamiento de aguas residuales y de la oxidación de los desechos nitrogenados en la excreta humana y animal. **Objetivos.** Identificar los factores ambientales que influyen en la contaminación de fuentes de abasto de agua rurales por nitrato. **Material y método.** Estudio ecológico de comparación múltiple en tres fuentes de abasto de aguas subterráneas del municipio San Juan y Martínez con antecedentes de registros históricos de concentraciones de nitratos por encima de los LMA de la norma cubana de agua. Se realizó caracterización fisicoquímica, determinación de metales, inspección técnico – sanitaria a cada fuente y ensayo de fitotoxicidad aguda con semillas de lechuga por año de estudio. Se utilizaron medidas de tendencia central y comparaciones de medias para muestras pareadas en período de lluvia y seca. **Resultados:** Se encontraron deficiencias técnicas y sanitarias en el uso y explotación de las fuentes, valores elevados de nitrato en las determinaciones puntuales, y no se encontraron diferencias estadísticamente significativas de las concentraciones de nitratos en las dos épocas del año. Los ensayos de fitotoxicidad coincidieron con los valores puntuales elevados de nitrato. **Conclusiones:** La contaminación de las aguas por nitrato se debe a múltiples factores, de forma natural: precipitación, el intemperismo de los minerales y la descomposición de la materia orgánica y de causa antropogénica; escorrentía de terrenos cultivados, efluentes de tanques sépticos de asentamientos humanos cercanos a la fuente, fertilización excesiva con nitrógeno y el cambio en la materia orgánica del suelo como resultado de la rotación de cultivos.

Palabras claves: Contaminación por nitrato, factores ambientales, fitotoxicidad.

I. INTRODUCCIÓN

Se ha estimado que un 20 % de la incidencia total de enfermedades puede atribuirse a factores medioambientales (1,2). Los nitratos y nitritos son compuestos iónicos que se encuentran en la naturaleza, formando parte del ciclo del nitrógeno. El ión nitrato (NO_3^-) es la forma estable de las estructuras oxidadas del nitrógeno y, a pesar de su baja reactividad química, puede ser reducido por acción microbiológica. El ión nitrito (NO_2^-) es oxidado con facilidad por procesos químicos o biológicos a nitrato, o bien reducido originando diversos compuestos. (3,4)

El nitrato se utiliza principalmente en los fertilizantes inorgánicos para la agricultura, como agente oxidante, en la producción de explosivos y en la fabricación de vidrio. Puede llegar a las aguas superficiales y a las aguas subterráneas como consecuencia de la actividad agrícola (incluyendo el exceso de aplicación de fertilizantes nitrogenados inorgánicos y abonos), producto del tratamiento de aguas residuales y de la oxidación de los desechos nitrogenados en la excreta humana y animal, incluyendo tanques sépticos. (5,6,7,8,9)

Se seleccionó la provincia de Pinar del Río y especialmente tres fuentes de abasto de aguas subterráneas del municipio San Juan y Martínez por el antecedente histórico de haber tenido valores elevados de nitratos y estar asentadas en una zona rural con áreas de cultivo intensivo del tabaco, que utiliza como fertilizante compuestos nitrogenados para la obtención de una mejor calidad del producto final. El objetivo del estudio fue determinar el impacto de los factores ambientales que influyen en la contaminación por nitrato de las fuentes de abasto de agua rurales estudiadas.

II. MATERIAL Y MÉTODO

Estudio ecológico de comparación múltiple en tres fuentes de abasto de aguas subterráneas (Hoyo de Mena, Vivero y Calderón) del municipio San Juan y Martínez de la provincia Pinar del Río, en el período comprendido entre marzo de 2013 a diciembre de 2015, las cuales se encuentran asentadas en una zona rural y poseen el antecedente de haber tenido registros históricos de concentraciones de nitratos por encima de los valores normados según la NC 827:2012 Agua potable Requisitos sanitarios (10).

La toma de las muestras de agua se concibió según los periodos de lluvia o de seca y a cada fuente de abasto se le realizó una caracterización fisicoquímica, determinación de metales, al inicio y al final del estudio, ensayo de fitotoxicidad aguda con semillas de lechuga por año de estudio, así como una inspección técnico - sanitaria para precisar las condiciones de las fuentes de abasto de agua a muestrear según las recomendaciones de la Norma Cubana de Fuentes de Abastecimiento de agua del 2014 (11). Para este fin se tomaron en cuenta dos parámetros generales, cada uno con elementos a evaluar:

Según peligro potencial de contaminación:

- Animales domésticos, vaquerías, criaderos de cerdos u otros animales a menos de 20 metros de la fuente.
- Viviendas situadas a menos de 10 metros de la fuente de abasto.
- Viviendas con mala disposición de excretas (letrina a menos de 10 metros).
- Zona de cultivos aledaños a la fuente de abasto (con evidencia de fertilización).

- Otras fuentes contaminantes cercanas a las fuentes de abasto (almacén de fertilizantes u otras sustancias químicas tóxicas.
 - Acumulación de desechos (líquidos o sólidos) en la parte exterior de la fuente de abasto.
- Según requerimientos técnicos de la fuente de abasto:
- Profundidad del pozo
 - Protección de la abertura superior del pozo (tapa de concreto o caseta techada)
 - Fuente de abasto con cerca perimetral (perímetro de régimen estricto)
 - Definición de las zonas de protección sanitaria.
 - Protección interna del pozo (hasta 3 metros interior del pozo)
 - Elevación y declive del borde superior sobre el terreno.

Para realizar la caracterización química de las fuentes muestreadas, se determinaron los parámetros: nitrato, nitrito y nitrógeno amoniacal, pH, fluoruros, salinidad, Sólidos Totales Disueltos (STD), dureza total, cloruros, sulfatos y metales (As, Al, Cd, Ni, Pb, Ca, Cu, Zn, Fe, Mn, Hg y Cr), según los métodos internacionales utilizados al efecto (12,13) Los resultados de los análisis de las muestras de agua se compararon con las Límites Máximos Admisibles recomendados en la Norma Cubana de Agua potable y las normas de la Organización Mundial de la Salud. (11,14)

El bioensayo de inhibición de la prolongación de la raíz del vegetal propuesto por Dutka, B.J. 1989 (¹⁵) con el empleo de semillas de *Lactuca sativa* L. permite determinar el efecto letal a través del porcentaje de semillas germinadas y el efecto sub-letal con la inhibición de la prolongación de la raíz con respecto al control negativo. (¹⁶17) Se utilizó como control positivo el cloruro de sodio al 0.5% y el control negativo, el agua destilada estéril. Para este ensayo de toxicidad aguda se seleccionaron 40 semillas con similares dimensiones por observación directa, que no habían sido tratadas con fungicidas ni plaguicidas, presentaban buen poder germinativo y baja variabilidad de la elongación de la raíz. Las semillas se conservaron en placas de Petri en refrigeración (4°C), en oscuridad y en ambiente seco.

Efecto Letal: Se determinará la toxicidad medida por el porcentaje de semillas germinadas con relación al control negativo de la siguiente forma; no tóxicas (más del 90 % de semillas germinadas con relación al control), tóxicas (valores entre 75 - 90 % de germinación) y muy tóxicas (valores menores del 75 % de germinación con respecto al control). Efecto subletal: El porcentaje de inhibición (PI) de la prolongación de la raíz, se obtendrá mediante la fórmula: (16)
$$\text{PI} = \frac{\text{Media (muestra)} - \text{Media (control)}}{\text{Media (control)}} * 100$$

Cuya interpretación es la siguiente:

PI = valor negativo. Tóxica (inhibición de la elongación de la raíz)

PI = valor positivo. Se consideró estimulación del crecimiento.

PI = 0. No tóxica

Para el análisis de los resultados se usó el programa SPSS versión 20. Se utilizó la media como medidas de tendencia central para resumir las concentraciones de nitratos y nitritos en las fuentes y el porcentaje de inhibición de la germinación y elongación de la raíz del vegetal en la prueba de toxicidad.

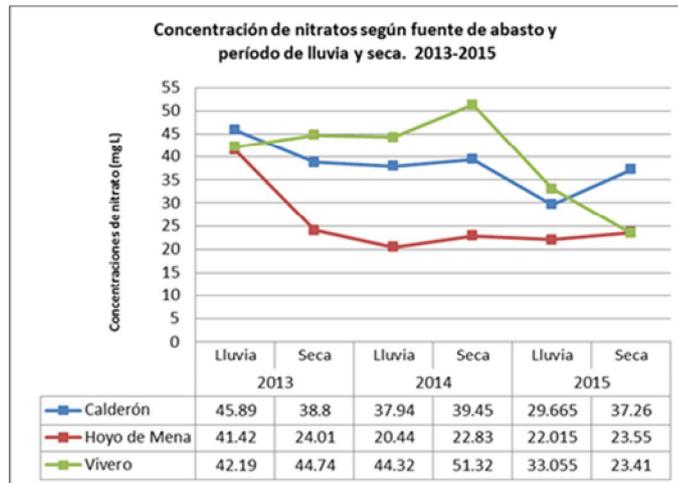
Se realizaron comparaciones de medias para muestras pareadas (determinaciones del mismo pozo en lluvia y seca) utilizando la prueba no paramétrica de signos de Wilcoxon ($P < 0,05$), con el fin de identificar si existían diferencias significativas entre las concentraciones de nitratos y nitritos en las dos épocas de año.

III. RESULTADOS

Estas tres fuentes de abasto al ser caracterizadas inicialmente según los parámetros técnicos definidos y según el peligro potencial de contaminación, se encontraron deficiencias técnicas y sanitarias no compatibles con las normativas cubanas para el uso y explotación de las mismas, destacándose el no cumplimiento de las zonas de protección sanitarias de las fuentes; solo existe la zona de régimen estricto con la protección de las mismas con cercas perimetrales, se evidenció la presencia de animales domésticos y siembra de plantas (plátanos, árboles frutales, etc.) en el área interior y cercanas de la cercas perimetrales de las fuentes; existencia de viviendas muy cercanas al perímetro de las fuentes de agua (menos de 10 m) con sistemas individuales de disposición de excretas (letrinas, fosas, etc.); existencia de zonas de cultivo intensivo de tabaco y cultivos varios con fertilización permanente y acúmulo de agua por roturas de las conductoras y desechos sólidos (basura) cercanos a ellas (18,19)

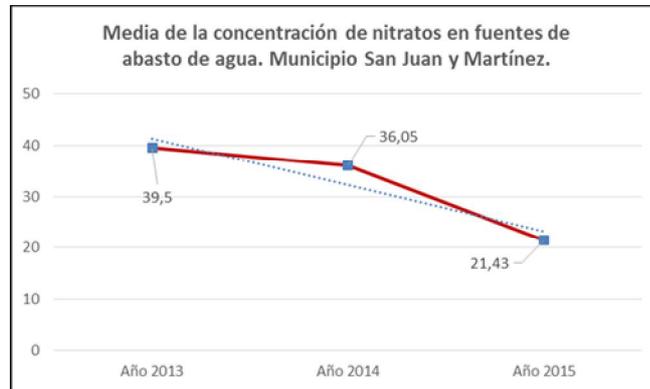
Los resultados de las determinaciones físico-químico arrojaron valores dentro de los Límites Máximos Admisibles (LMA) para las Normas Cubanas de Agua potable y de Fuentes de Abasto de Agua, destacando solamente valores elevados de nitrato en determinaciones puntuales realizadas a las fuentes en el transcurso del período estudiado. Al aplicar las pruebas estadísticas correspondientes (Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon) para analizar el comportamiento de las concentraciones de nitratos en las fuente de abasto según los períodos de lluvia (mayo a octubre) o de seca (noviembre a abril), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.953$) de las concentraciones de nitratos en las dos épocas del año (Fig.1), siendo esto un comportamiento inusual, ya que la ocurrencia de mayor congregación de éste ión ocurre en el período de seca y la infiltración por arrastre en período de lluvia. En los últimos años, debido al fenómeno del Niño en Cuba se están observando cambios en estos períodos alternativos de lluvia y seca. (20)

Fig.1: Concentración de nitratos según fuente de abasto y período de lluvia y seca. Municipio San Juan y Martínez. Años 2013-2015.



Los suelos cercanos a estas fuentes de abasto, son ácidos (pH entre 4.5-6.8), siendo preparados con anterioridad antes de la siembra del tabaco, con el objeto de equilibrar el pH de los mismos, por lo que se añade inicialmente Carbonato de Calcio (CaCO₃). Al momento de la siembra se aplica al suelo la fórmula completa NPK (Nitrato, Fósforo y Potasio), para compensar la disminución de la disponibilidad de algunos de estos nutrimentos, que se han perdido a causa de la acidez y posteriormente se vuelven a fertilizar los cultivos con compuestos a base de Nitrato, para la mejor obtención en la calidad del tabaco (21). En cuanto a las determinaciones de metales (As, Al, Cd, Ni, Pb, Ca, Cu, Zn, Fe, Mn, Hg y Cr) realizadas al inicio y al final del período en las tres fuentes de abasto, el metal Aluminio (Al) fue el único elemento que presentó un valor por encima de las normativas descritas para este metal, de forma discreta, en la fuente de abasto de agua, denominada Calderón (Fig.2).

Fig. 2: Media de la concentración de nitratos en fuentes de abasto de agua. Municipio San Juan y Martínez. Provincia Pinar del Río. Años 2013-2015.



Las plantas constituyen una buena herramienta de trabajo para medir alarma de peligro ambiental por ser más sensibles que otros sistemas de ensayos disponibles, son de fácil manipulación, almacenaje y bajo costo, además de presentar buena correlación con otros sistemas de pruebas. Durante la germinación y los primeros días de crecimiento de la plántula, ocurren numerosos procesos fisiológicos, en los que la presencia de una sustancia tóxica o la concentración elevada de nutrientes puede interferir alterando la supervivencia y el desarrollo normal del vegetal (22,23).

La evaluación de fitotoxicidad, se basó en la medición de dos criterios; efecto letal y efecto sub-letal. Según los resultados obtenidos en este ensayo de toxicidad aguda, en el año 2013 en las tres fuentes de abasto estudiadas, se manifestó un efecto tóxico para la germinación y elongación de la raíz del vegetal, diagnosticándose un efecto letal y un efecto sub-letal positivo, resultado que coincide con las concentraciones de nitratos en este periodo en las fuentes Calderón y Vivero, los cuales presentaron valores por encima o cercanos a los Límites Máximos Admisibles (LMA) (45.89 mg/L y 44.74 mg/L respectivamente) según las normas cubanas.

En el año 2014, se manifestó un efecto letal para las fuentes Hoyo de Mena y Calderón y un efecto no tóxico para la fuente Vivero. Para el efecto sub-letal las tres fuentes estuvieron positivas, a pesar de que en la fuente Hoyo de Mena se evidenció una sobre estimulación del crecimiento de la raíz del vegetal, lo cual es otro efecto de toxicidad. Estos resultados no coinciden con los valores de nitratos encontrados en las tres fuentes de abasto.

En el año 2015, se manifestó un efecto letal para la fuente Vivero y un efecto no tóxico para las fuentes Hoyo de mena y Calderón. Para el efecto subletal se encontraron valores de toxicidad en las tres fuentes, no correspondiendo directamente con los valores de nitratos encontrados.

Podemos relacionar los efectos negativos en el proceso de germinación y elongación de la raíz del vegetal con el valor elevado de forma discreta del metal Aluminio, con las deficiencias técnicas y sanitarias detectadas en las fuentes de abasto, que no son compatibles con lo estipulado en las normativas cubanas. Estos resultados obtenidos pudieran deberse además a otros factores no incluidos en este estudio, como pudieran ser; la presencia de concentraciones elevadas de otros metales, minerales u otros parámetros físico - químicos, que provocarían toxicidad en esta especie de lechuga utiliza para el ensayo de fitotoxicidad (24).

IV. CONCLUSIONES

La contaminación de las aguas por nitrato se debe a múltiples factores, de forma natural: precipitación, el intemperismo de los minerales y la descomposición de la materia orgánica y de causa antropogénica; escorrentía de terrenos cultivados, efluentes de tanques sépticos de asentamientos humanos cercanos a la fuente, fertilización excesiva con nitrógeno y el cambio en la materia orgánica del suelo como resultado de la rotación de cultivos, entre otros.

REFERENCIAS

- ¹ Stewart BW, Kleihues P, eds. World Cancer Report. [Internet]. Lyon: IARC; 2003. [cited 2016 Jan 12]. Available from: <http://www.iarc.fr/en/publications/pdfs-online/wcr/2003/>.
- ² Vargas Marcos F. Salud y Medio Ambiente. [Internet]. [Citado en 13 enero 2016]. Disponible en: <http://www.fundadeps.org/opinion/archivos/opinion-saludmedioambiente-fvargas-20130306.pdf>
- ³ World Health Organization. Nitrate and nitrite in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. [Internet]. Geneva WHO; 2011 [cited 2016 Jan 12]. Available from: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/nitratenitrite2ndadd.pdf.
- ⁴ Elika. Fundación Vasca para la Seguridad Alimentaria. Nitratos y Nitritos en hortalizas de hojas verdes. [Internet] [Citado en 22 enero 2016]. Disponible en: http://www.elika.eus/datos/pdfs_agrupados/Documento143/28.Nitratos.pdf
- ⁵ Antón A, Lizaso J. Nitritos, Nitratos y Nitrosaminas. [Internet]. Fundación ibérica para la seguridad alimentaria., 2001. Tomo 30, Folio 1-25 [citado en 22 febrero 2016]. Disponible en: http://www.proyectopandora.es/wpcontent/uploads/Bibliografia/13181019_nitritos_nitratos.pdf
- ⁶ Vargas M. Francisco. Salud y Medio Ambiente. La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. [Internet] [Citado en 13 enero 2016]. Disponible en: <http://www.fundadeps.org/opinion/archivos/opinion-saludmedioambiente-fvargas-20130306.pdf>
- ⁷ Cáncer y Ambiente. [Internet] [Citado en 9 febrero 2016]. Disponible en: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/096/html/sec_8.html
- ⁸ Cañas PR, Sardiñas OP, García MM. Concentración de nitratos en aguas destinadas al consumo. Agua y Salud. La Habana: Ed. De Ciencias Médicas; 1992. p. 89-95. [Salud Ambiental; 3].
- ⁹ Fuentes Núñez ZJ, Molina Esquivel E. Cáncer de estómago y colon asociado a presencia de nitratos y nitritos en agua. Provincia La Habana, 1999-2003. [Internet] [Citado en 9 febrero 2016]. Disponible en: http://www.bvs.sld.cu/uats/articulos_files/trabajosSimposio2005/ent/OK%20Cancer%20de%20colon%20.ppt
- ¹⁰ NC 827:2012. Agua potable. Requisitos sanitarios. La Habana: ONN; 2012

¹¹ NC 1021:2014. Higiene Comunal. Fuentes de abastecimiento de agua. Calidad sanitaria y protección sanitaria. La Habana: ONN; 2014

¹² Rice EW, Baird RB, Eston AD, Clesceri LS, editors. Standard methods for examination of water and wastewater 21nd edition. Washington, DC: APHA, AWWA, WPCF; 2005

¹³ Manual de métodos de análisis para la determinación de parámetros Físico Químico. INHEM, 2011.

¹⁴ World Health Organization. Guidelines for drinking-water Quality. 4th ed. 2011.

¹⁵ Dutka BJ. Short-Term Root Elongation Toxicity Bioassay Methods for Microbiological and Toxicological. Analysis of Waters Wastewaters and Sediments. Burlington, Ontario: Rivers Research Institute. NWRI; 1989.

¹⁶ Organization for Economic Cooperation and Development, 1984, Terrestrial Plants: Growth Test. Guideline for Testing of Chemicals N °208, OECD Publications Service, and Paris.

¹⁷ US EPA, 1989, Protocols for Short Term Toxicity Screening of Hazardous Waste Sites, US Environmental Protection Agency, 600/3-88/029, Corvallis.

¹⁸ Pacheco J. Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. Ingeniería 2003; 7-2:47-54.

¹⁹ La problemática de los nitratos y las aguas subterráneas. [Internet] [Citado en 28 enero 2016]. Disponible en:

http://aguas.igme.es/igme/publica/libro102/pdf/lib102/in_02.pdf

²⁰ XXIV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Estudio de la concentración de nitrato en las aguas subterráneas de Cienfuegos. Afectaciones a la salud. [Internet] [Citado en 14 de marzo 2016]. Disponible en: www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/peru/cubcca017.pdf

²¹ Ávila Vega J.. Acidez del suelo. [Internet] [Citado en 9 febrero 2016]. Disponible en:

http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/acidez_suelo.pdf

²² Aguila Jimenes E, Marrero Chang O, Cárdenas Esposito Y, Bernal Pérez N. Ecotoxicology evaluation of watery extracts of plants on seeds of radish, lettuce and tomato. Centro Agrícola, 2013 .

²³ Ayes Ametller GN. Desarrollo sostenible y sus retos, 2004. La Habana, Ed Científico- Técnica, Colección divulgación científica

²⁴ Labadie Suárez JM. Monografía de contaminación ambiental. Facultad ingeniería química, 2003, CIPRO Centro de Ingeniería de Procesos. Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría". ISPJAE