

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

### ENVIRONMENTAL FACTORS AND CONTAMINATION OF SOURCES OF WATER SUPPLY BY NITRATES IN A RURAL AREA

Asela M. DEL PUERTO RODRÍGUEZ <sup>(1)</sup>; Susana SUÁREZ TAMAYO <sup>(1)</sup>; Raymel SOLANO SUÁREZ <sup>(2)</sup>; Liliam CUELLAR LUNA <sup>(1)</sup>; Geominia MALDONADO CANTILLO <sup>(1)</sup>, Dainelys CANTERO BARROSO <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. Departamento de Evaluación de Riesgos. Avenida Infanta 1158 entre Llinás y Clavel. Municipio Centro Habana CP 10300 La Habana. Correo-e: [delpuerto@infomed.sld.cu](mailto:delpuerto@infomed.sld.cu)

<sup>(2)</sup> Centro Provincial de Higiene, Epidemiología y Microbiología, Provincia Pinar del Río. Jefa de departamento de los Laboratorios de Química.

<sup>(3)</sup> Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. Laboratorio de Química y Toxicología.

#### 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 métodos:** Estudio ecológico de comparación múltiple en tres fuentes de abasto de aguas subterráneas. 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:** Las consecuencias para la salud de valores elevados de nitrato, aluminio y las deficiencias sanitarias detectadas en las fuentes de abasto de agua, evidencian la necesidad de mantener la vigilancia sobre los factores de riesgos ambientales que puedan incidir en el deterioro de la calidad del agua para consumo humano.

**Palabras clave:** Contaminación por nitrato, aguas superficiales, aguas subterráneas, factores ambientales, fitotoxicidad.

#### ABSTRACT

**Introduction:** Nitrate contaminates surface and groundwater as a consequence of agricultural activity, the treatment of wastewater and the oxidation of nitrogenous waste in human and animal excreta. **Objectives:** Identify the environmental factors that influence the contamination of rural water sources by nitrate. **Material and method:** Ecological study of multiple comparison in three sources of groundwater supply. Physical-chemical characterization, determination of metals, technical-sanitary inspection to each source and acute phytotoxicity test with lettuce seeds per year of study were carried out. We used measures of central tendency and comparisons of means for paired samples in the rainy and dry periods. **Results:** Technical and health deficiencies were found in the use and exploitation of the

sources, high nitrate values in the specific determinations, and no statistically significant differences were found in the nitrate concentrations in the two seasons. The phytotoxicity tests coincided with the high point values of nitrate. *Conclusions:* The high point values of nitrate ion, aluminum metal and the sanitary deficiencies detected, having as main nucleus the sources of water supply, evidence the need to maintain the surveillance on the environmental risk factors that may affect the deterioration of the quality of water for human consumption.

**Keywords:** Nitrate pollution, surface water, groundwater, environmental factors, phytotoxicity.

## INTRODUCCIÓN

Se ha estimado que un 20 % de la incidencia total de enfermedades puede atribuirse a factores medioambientales (Stewart y Kleihues, 2003). Los nitratos y nitritos son compuestos iónicos que se encuentran en la naturaleza, formando parte del ciclo del nitrógeno. El ión nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) 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 ( $\text{NO}_2^-$ ) es oxidado con facilidad por procesos químicos o biológicos a nitrato, o bien reducido originando diversos compuestos. (WHO, 2011; ELIKA, 2006).

En el ciclo del nitrógeno intervienen los aportes derivados de la actividad agrícola e industrial, donde destacan los fertilizantes nitrogenados y orgánicos procedentes del ganado y los propios vertidos orgánicos e industriales no sometidos a tratamientos adecuados de depuración. En los suelos, los fertilizantes y vertidos residuales que contienen nitrógeno orgánico son descompuestos para dar en un primer paso amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), que a continuación es oxidado a nitrito y a nitrato. Parte de este nitrato es absorbido por las plantas, que lo emplean en la síntesis de proteínas vegetales, pudiendo el resto pasar a las aguas subterráneas.

El nitrato ingerido es reducido a nitrito principalmente por las bacterias orales presentes en la saliva. Bajo las condiciones ácidas del estómago, el nitrito reacciona con compuestos nitroestables, especialmente aminas secundarias y alquilamidas, para generar N-nitroso compuestos (nitrosaminas y nitrosamidas). Algunos de estos son reconocidos carcinógenos humanos. (ELIKA, 2006).

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 (Lizaso, 2001).

La contaminación del agua por usos agrícolas es también foco de la atención de muchos países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2006), debido al interés creciente

en la contaminación del agua subterránea, y la incertidumbre acerca del alcance y la gravedad de los contaminantes del agua provenientes de la agricultura, por lo general poco vigilados (por ejemplo, agentes patógenos, sales, metales pesados y sedimentos).

El problema emergente en nuestro entorno son las enfermedades causadas por los contaminantes químicos, ya sea por contaminación del agua en origen o bien debido a las características químicas del abastecimiento, por el uso indiscriminado y permanente de sustancias externas (plaguicidas, fertilizantes, etc.), por las sustancias formadas como subproductos de reacción, por la utilización de tratamientos químicos necesarios para la potabilización del agua, entre otras. El denominador común de estas enfermedades es que en la mayoría de los casos el efecto sobre la salud no es inmediato, sino a medio o largo plazo en las que resulta muy difícil establecer relaciones de causalidad. Los químicos más frecuentes en el agua capaces de originar problemas de salud o enfermedades son los nitratos, trihalometanos, plaguicidas, plomo y otros metales, arsénico, acrilamida, cloruro de vinilo y epiclohidrina, fluoruro y boro. Otros problemas emergentes son la radiactividad natural y artificial, los disruptores endocrinos y las toxinas de cianobacterias (Vargas, 2005; Cañas 1992).

En Cuba, en los años 1986-1988 un colectivo de investigadores del Instituto Nacional Higiene Epidemiología y Microbiología (INHEM), realizó una investigación sobre las concentraciones de nitratos en aguas de consumo; en la que fueron muestreadas fuentes de abastecimiento de agua incluidas en el sistema de vigilancia de calidad del agua y fuentes de abastecimiento de agua de acueductos de comunidades con menos de 5 000 habitantes en las provincia de La Habana. Se evidenció que entre el 96.8% y 99.5% de las aguas tanto superficiales como subterráneas respectivamente de los acueductos, mantenían valores acorde a la norma cubana para los nitratos. Situación diferente se detectó en pozos individuales en pequeñas comunidades del país donde un gran por ciento sobrepasó la concentración máxima admisible, estimándose en estas poblaciones un aporte de nitratos por esta vía de 89.6 mg/día. Así mismo en el marco del IX Congreso de la Asociación de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS) Región 1, sesionó el VI Congreso Nacional de la Asociación Cubana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, donde se presentó una investigación ecológica tomando como unidad de análisis los municipios de la provincia La Habana. En la misma se encontraron evidencias estadísticas de

asociación significativa entre la mortalidad por cáncer de estómago y de colon durante el período 1999 al 2003 y la presencia de un período de tiempo con altas concentraciones de nitratos y nitritos en las fuentes más importantes de dicha provincia durante el período 1975 al 1995 (Maldonado et al., 2011; Nuñez y Esquivel, 2007).

Se seleccionaron tres fuentes de abasto de aguas subterráneas del municipio San Juan y Martínez, de la provincia de Pinar del Río, 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.

## MATERIAL Y MÉTODOS

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.

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 (Oficina Nacional de Normalización NC 1021:2014). 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 alledaños 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 siguientes parámetros: nitrato, nitrito y nitrógeno amoniacal, pH, fluoruros, salinidad, sólidos totales disueltos, 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 (INHEM, 2011; Rice et al., 2005). 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 (OMS). (WHO, 2011; Oficina Nacional de Normalización NC 827:2012; Oficina Nacional de Normalización NC 1021:2014).

El bioensayo de inhibición de la prolongación de la raíz del vegetal propuesto por Dutka, 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 (Dutka, 1989; US EPA, 1989; Organization for Economic Cooperation and Development, 1984). Se utilizó como control positivo el cloruro de sodio al 0.5% y como control negativo, 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 determina 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:

$$\% \text{ de inhibición} = \frac{\text{Media (muestra)} - \text{Media (control)}}{\text{Media (control)}} \times 100$$

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. Las determinaciones obtenidas de nitratos y nitritos se agruparon de acuerdo a la Norma Cubana 827:2012. Agua potable-requisitos sanitarios: nitrato (mg/L) 45 mg/L, nitrito (mg/L) 0,01 mg/L, resumidas en tablas de contingencia.

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.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El municipio San Juan y Martínez, está ubicado en la zona sur occidental de la provincia de Pinar del Río. Limita al norte con el municipio Minas de Matahambre, al sur con el Mar Caribe, al este con los municipios de Pinar del Río y San Luís y al oeste con el municipio de Guane. Tiene una superficie total de 408,22 Km<sup>2</sup>, ocupando el 3,8 km<sup>2</sup> de la superficie de la provincia.

Tiene un relieve relativamente accidentado cubriendo la zona montañosa el 53% del territorio y el 47% ocupado por llanuras. Cuenta una población total de 44 281 habitantes distribuidos en 63 asentamientos humanos concentrados (3 de ellos son núcleos urbanos) y donde más de la mitad de la población (62 %) del municipio vive en las zonas rurales (27 613).

La actividad agropecuaria conforma la base económica del territorio empleando el 43,5% de la fuerza laboral del municipio principalmente en el cultivo del tabaco, ganadería y silvicultura. El fondo agrícola del municipio representa el 51,0% del área total conformada en su mayoría por suelos arenosos y de baja categoría agrológica sumándose a ello los problemas de erosión y acidez. Más del 50% del fondo agrícola del municipio está dirigido a actividades económicas y ocupadas por cultivos temporales, principalmente el tabaco que representa el 44% (ONEI, 2015).

El municipio cuenta con 11 fuentes de abasto de aguas subterráneas, que conforman el sistema de acueductos, para un total de 8, con una población total beneficiada por este concepto, de 12,8 (1000 habitantes), lo que constituye el 28% del total de población, el resto de la población se abastece con pozos particulares. Posee así mismo un sistema de alcantarillado (4

en el 2014) para una población total beneficiada por este concepto de 2.8 (1000 habitantes), lo que constituye solo 6,3% del total de población, alcanzando un volumen de albañal evacuado y tratado de 446,6 m<sup>3</sup>.

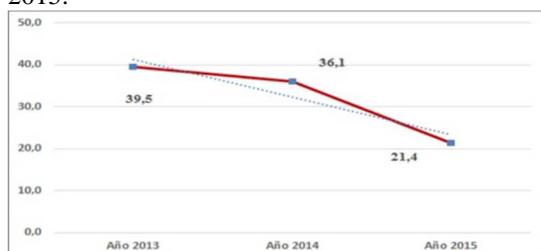


Del total de las fuentes del municipio, solo tres de ellas, Hoyo de Mena, Vivero y Calderón, abastecen poblaciones de más de 1000 habitantes, para beneficiar aproximadamente a 8373 habitantes del municipio, estando interconectadas entre sí para recibir juntas la cloración de sus aguas, que se lleva a cabo solamente en la fuente de abasto Hoyo de Mena, para luego distribuirse a las demás.

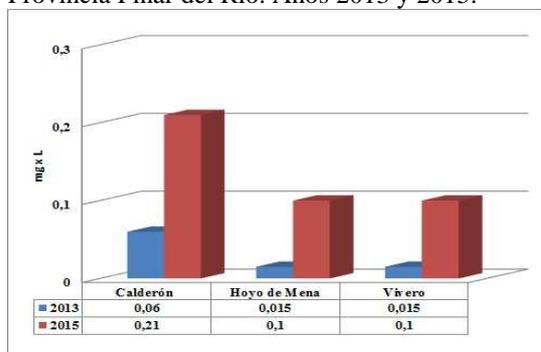
Estas tres fuentes de abasto al ser caracterizadas inicialmente según los parámetros técnicos definidos y según el peligro potencial de contaminación, se encontraron deficiencias técnicas y sanitarias no compatibles con lo estipulado en las normativas cubanas para el uso y explotación de las mismas, destacándose fundamentalmente 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, así mismo se evidenció la presencia de animales domésticos y siembra de plantas (plátanos, árboles frutales, entre otras) en el área interior y cercanas a las cercas perimetrales de las fuentes; la existencia de viviendas en el perímetro de las fuentes de agua (menos de 10 m) con sistemas individuales de disposición de excretas (letrinas, fosas, etc.); la existencia de zonas de cultivo intensivo de tabaco y cultivos varios con fertilización permanente; en las áreas exteriores de la fuente se observó la presencia de acumulación de agua por roturas de las conductoras, además de otros tipos de desechos sólidos (basura) cercanos a ellas (Peralta y López, 2012).

Las determinaciones físico-química realizadas a las fuentes de abasto; nitritos, pH, fluoruros, salinidad, STD, dureza total, cloruros, sulfatos, al inicio y al final del período analizado (2013- 2015), mostraron 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 las determinaciones puntuales realizadas a las fuentes en el transcurso del período

**Figura 1.** Media de la concentración de nitratos en fuentes de abasto de agua. Municipio San Juan y Martínez. Provincia Pinar del Río. Años 2013-2015.



**Figura 2.** Concentración de aluminio según fuente de abasto. Municipio San Juan y Martínez. Provincia Pinar del Río. Años 2013 y 2015.



**Figura 3.** Concentración de nitratos según fuente de abasto y período de lluvia y seca. Municipio San Juan y Martínez. Años 2013-2015.



Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon:  $p = 0.953$

estudiado. En el año 2013, las fuentes Calderón y Vivero presentaron valores por encima o muy cercanos a los LMA (45.89 mg/L y 44.74 mg/L respectivamente); en el año 2014, la fuente de abasto de agua Vivero repite cifras elevadas o cercanas a la normalidad (51.32 mg/L, 44.32 mg/L). En el año 2015, ninguna de las tres fuentes presentó valores por encima de los Límites Máximos Admisibles (LMA) según las regulaciones ambientales.

Al graficar los valores de las concentraciones medias de nitratos en las tres fuentes de abasto de agua, en los años de estudio (Fig. 1), se observa una

marcada tendencia a la normalización de sus valores. La entrada de los nitratos a las 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, entre otras causas. Sin embargo los nitratos provenientes de las actividades humanas incluyen, la escorrentía de terrenos cultivados, efluentes de lagunas y 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 (Del Puerto et al, 2006; Pacheco, 2003).

El problema con 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 subsuperficie, específicamente en sedimentos altamente permeables o rocas fracturadas. (Heredia et al, 2003; Pacheco, 2002).

La contaminación de estas fuentes de abasto de agua por nitratos puede ocurrir de forma puntual, originada por diversos factores tales como, los efluentes de los tanques sépticos y/o depósitos de excretas (letrinas sanitarias) (Álvarez et al, 2011), o de forma no puntual que se distribuye en amplias áreas como son los campos donde los fertilizantes nitrogenados han sido aplicados en el cultivo del tabaco, en los diferentes momentos de la siembra y cosecha.

Las determinaciones de metales 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).

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 ( $\text{CaCO}_3$ ) (Hoyos, 2013). 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 (Lopez-Lefebre et al., 2001).

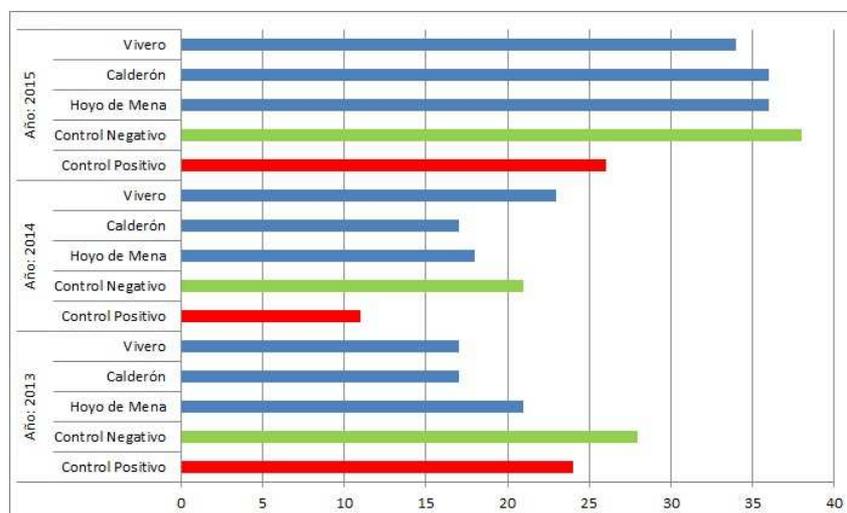
Al analizar datos estadísticos proporcionados por la Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI), la cantidad de hectáreas dedicadas al cultivo del tabaco en este municipio es de 5916,8 ha para ambos sectores, estatal y no estatal; observando un incremento mantenido en la utilización de hectáreas de tierra para el cultivo del tabaco entre los años 2009 al 2014, con predominio del sector no estatal (5876,6 ha)

**Tabla 1.** Efecto letal y subletal del ensayo de fitotoxicidad del agua. Municipio San Juan y Martínez. Provincia Pinar del Río. Años 2013 - 2015.

Muestreo	Fuente	Efecto letal	Efecto subletal
Año: 2013	Control Positivo	24 (60%)*	Media 0,77
	Control Negativo	28 (70 %)*	Media 3,03
	Hoyo de Mena	21 (75%)**	Media 1,68 – PI: -44,56
	Calderón	17 (61%)**	Media 0,87 – PI: -11,83
	Vivero	17 (61%)**	Media 1,46 – PI: -51,69
Año: 2014	Control Positivo	11 (27%)*	Media 0,67
	Control Negativo	21 (53 %)*	Media 2,8
	Hoyo de Mena	18 (86%)**	Media 2,60 – PI: 19,99
	Calderón	17 (81%)**	Media 1,72 – PI:-20,35
	Vivero	23 (109%)**	Media 1,76 – PI:-18,90
Año: 2015	Control Positivo	26 (65%)*	Media 0,5
	Control Negativo	38 (95%)*	Media 2,8
	Hoyo de Mena	36 (95%)**	Media 1,59 – PI:-43,6
	Calderón	36 (95%)**	Media 1,50 – PI:-46,8
	Vivero	34 (89%)**	Media 1,83 – PI:-35,3

\* % del total de semillas; \*\*% con respecto al control negativo.

**Figura 4.** Total de semillas germinadas. Inhibición de germinación. Efecto letal. Municipio San Juan y Martínez. Provincia Pinar del Río. Años 2013 - 2015.



sobre el estatal (40,2 ha), lo cual incrementa el uso de fertilizantes nitrogenados para obtener volúmenes crecientes de producción (ONEI, 2015).

La acidez del suelo se incrementa por la pérdida de la capa arable por la erosión, la extracción de nutrientes en sistemas de cultivo intensivo, el efecto residual ácido de fertilizantes nitrogenados amoniacales usados en esta región para el cultivo del tabaco. Este factor favorece la movilización de algunos metales y que al ser arrastrados por las lluvias, se infiltran a través del

suelo mediante los mecanismos de transporte ambiental, favoreciendo la solubilización de estos elementos metálicos.

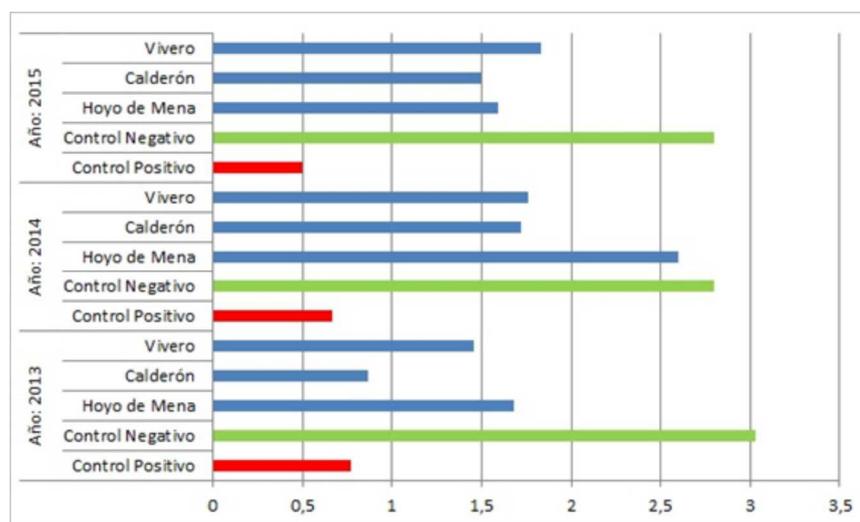
Al aplicar las pruebas estadísticas correspondientes para analizar el comportamiento de las concentraciones de nitratos en las fuente de abasto según los períodos de lluvia (mayo a octubre) o de seca (noviembre a abril), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p=0.953$ ) de las concentraciones de nitratos en las dos épocas del año (Fig. 3), 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 (Jiménez, 1998).

Según ponencia presentada en el Congreso de Hidrogeología celebrado en Cuba en septiembre de 2010 por el Fondo de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), los posibles impactos en los recursos hídricos en el archipiélago cubano, estarán dados por cambios en los patrones de comportamiento de las precipitaciones, principal fuente renovable anual del recurso agua, lo que conllevará a la mayor incidencia en el deterioro de la calidad del agua por diferentes elementos del ambiente, tanto químicos como microbiológicos (PNUMA, 2010).

Múltiples factores pudieran explicar la ocurrencia de estos fenómenos; los asentamientos

humanos que están cercanos a las fuentes de abasto carecen de servicios de alcantarillado y la evacuación de sus residuales lo realizan a través de sistemas individuales de recolección, los cuales no todos reúnen las condiciones sanitarias óptimas; en el período lluvioso, la movilidad de los nitratos es dependiente de la cantidad de agua que se infiltra en el suelo, y el contenido de humedad depende de la precipitación, porosidad y permeabilidad del mismo, favoreciendo de que en este período se incremente el percolado de

**Figura 5.** Media de elongación de la raíz. (PI) Efecto subletal. Municipio San Juan y Martínez. Provincia Pinar del Río. Años 2013 - 2015.



los nitratos (los niveles de humedad del suelo son altos y la tasa de evaporación y transpiración es reducida).

Además el ciclo del nitrógeno está controlado en gran parte por bacterias, por lo que el orden del mismo depende de factores como la humedad del suelo, temperatura, pH, etc., siendo el nitrato el producto final de la descomposición aeróbica del nitrógeno estando siempre disuelto y móvil, por tanto todo aquel nitrato que no es aprovechado por las plantas es arrastrado por las precipitaciones y aguas de riego hasta ir acumulándose en los acuíferos (Lafitte y Águila, 2010).

El creciente desarrollo industrial y urbano ha traído consigo la aparición de una cantidad apreciable de sustancias químicas y mezclas tóxicas, las cuales afectan tanto a la salud humana como al ecosistema (Labadie, 2003; Ayes, 2004). Un instrumento alternativo para la determinación de toxicidad en muestras ambientales, es la utilización de bioensayos con biomodelos representativos de los diferentes ecosistemas. Los bioensayos ecotoxicológicos son métodos de elección, pues pueden ayudar a determinar si un efluente contaminado o una sustancia vertida a un ecosistema representa un potencial de riesgo tóxico para la flora y la fauna, e incluso para el hombre (González et al, 2012).

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 (Águila, 2013).

El empleo de la lechuga *Lactuca sativa* como herramientas ecotoxicológicas es ventajoso, por requerirse poco volumen de muestra comparado con otros organismos acuáticos, por su rápida germinación, facilidad de medición, viabilidad económica, alta sensibilidad a tóxicos, representatividad del nivel trófico y adaptabilidad a las condiciones del laboratorio. Esta especie ha sido recomendada por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), por la Administración de Drogas y Alimentos (FDA) y por la Organización para el Desarrollo y la Cooperación

Económica (OECD), encontrándose entre una de las más sensibles, en comparación con otras seis especies de semillas de plantas terrestres.

La evaluación de fitotoxicidad, se basó en la medición de dos criterios; efecto letal y efecto subletal, encontrándose como resultados lo que se muestra en la Tabla 1.

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 subletal 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 (Fig. 4 y 5).

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 subletal 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.

## CONCLUSIONES

Se encontraron deficiencias técnicas y sanitarias no compatibles con lo estipulado en las normativas cubanas para el uso y explotación de las fuentes de abasto de agua según los parámetros técnicos definidos y según el peligro potencial de contaminación. Las determinaciones físico-química realizadas mostraron valores adecuados según los Límites Máximos Admisibles (LMA) de las normativas cubanas, destacándose valores elevados de nitrato en las determinaciones puntuales de estas fuentes. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas según los períodos de lluvia y seca para las concentraciones de nitratos en las fuente de abasto y el metal aluminio presentó valores discretos elevados en una sola fuente de abasto. La evaluación toxicológica realizada mostró toxicidad coincidente con las concentraciones de nitratos elevadas en el periodo estudiado. Todos estos resultados evidencian la necesidad de mantener la vigilancia sobre los factores de riesgos ambientales que puedan incidir en el deterioro de la calidad del agua de las fuentes de abasto para consumo humano.

## BIBLIOGRAFÍA

- Águila Jimenes E, Marrero Chang O, Cárdenas Espósito Y, Bernal Pérez N. Ecotoxicology evaluation of watery extracts of plants on seeds of radish, lettuce and tomato. *Centro Agrícola*, 2013.
- Álvarez Amilcar, D'Elía Mónica, Barbazza Carla, Paris Marta, Fasciolo Graciela. Evaluación de la contaminación de acuíferos producida por actividades de saneamiento y re-uso de efluentes en el norte de la provincia de Mendoza. *Rev. FCA UNCUYO*, 43: 19-39, 2011.
- Antón A, Lizaso J. Nitritos, nitratos y nitrosaminas. *Fundación Ibérica para la Seguridad Alimentaria*, 30: 1-25, 2001. [http://www.proyectopandora.es/wpcontent/uploads/Bibliografia/13181019\\_nitritos\\_nitratos.pdf](http://www.proyectopandora.es/wpcontent/uploads/Bibliografia/13181019_nitritos_nitratos.pdf)
- Ayes Ametller GN. *Desarrollo sostenible y sus retos*. La Habana, Ed Científico-Técnica, Colección Divulgación Científica, 2004.
- Caña Pérez R, Sardiñas Peña O, Garcia Melián M. Concentraciones de nitratos en aguas destinadas al consumo. *Ciudad de la Habana: Ed Ciencias Médicas, Serie Salud Ambiental*: 3, 1992.
- Del Puerto Rodríguez AM, Sardiñas Peña O, Romero Placeres M. Nitritos y Nitratos. Afectación a la salud. *Boletín InfoHEM*, 2006.
- 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.
- ELIKA (Fundación Vasca para la Seguridad Alimentaria). Nitratos y nitritos en hortalizas de hojas verdes. 2006. [http://www.elika.eus/datos/pdfs\\_agrupados/ Documento143/28.Nitratos.pdf](http://www.elika.eus/datos/pdfs_agrupados/Documento143/28.Nitratos.pdf)
- Environmental Protection Agency (US EPA): Ecological effects test guidelines OPPTS 850.1075 Fish acute toxicity test, freshwater and marine. EPA, 1996.
- 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. En: IX Congreso de la Asociación de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS) Región 1.VI Congreso Nacional de la Asociación Cubana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, La Habana, Cuba, INHEM, 2007.
- González Pérez Y, Marcos Albear E, Pérez Garrido N, Marín Sánchez D, Argota Pérez D. Application of ecotoxicologic bioassay in the evaluation of an environmental complex mixture. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 12: 839-845, 2012.
- Heredia Díaz JG, Murillo Díaz JM, García Arostegui JL, Rubio Campos JC, López Geta JA. Influencia antrópica en un acuífero costero. Consideraciones sobre la gestión hídrica del acuífero de Motril-Salobreña (España). *Revista Latinoamericana de Hidrogeología*, 2005.
- Jiménez Del Sol, I. Trabajo presentado en el XXIV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental: Estudio de la concentración de nitrato en las aguas subterráneas de Cienfuegos. Afectaciones a la salud. Lima, 1998.
- Labadie Suárez JM. Monografía de contaminación ambiental. Facultad ingeniería química, CIPRO Centro de Ingeniería de Procesos. Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría". ISPJAE, 2003.
- Lafitte N.; Águila A. Exposición de los nitratos en las aguas subterráneas: caso de estudio vereda nueva cuenca Ariguanabo, La Habana. *AMA-CITMA*. 14(57): 279-286, 2010.
- Maldonado Cantillo G., Romero Placeres, M.; Cuellar Luna L., Del Puerto Rodríguez A.; Sardiñas Peña O.; Torres Rodríguez M. Nitratos y nitritos en fuentes subterráneas de abasto de agua de Villa Clara (Cuba) 2008-2009. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 10: 535-540, 2010.
- Manual de métodos de análisis para la determinación de parámetros Físico Químico. INHEM, 2011.
- OECD. Agricultura y agua: Sostenibilidad, mercados y políticas. 2006. <http://www.oecd.org/tad/sustainable-agriculture/36290153.pdf>

- Oficina Nacional de Normalización (Cuba). NC 1021:2014. Higiene Comunal. Fuentes de abastecimiento de agua. Calidad sanitaria y protección sanitaria. La Habana: ONN; 2014.
- Oficina Nacional de Normalización (Cuba). NC 827:2012. Agua potable. Requisitos sanitarios. La Habana: ONN; 2012.
- ONEI. Anuario Estadístico de San Juan y Martínez 2014. San Juan y Martínez: ONEI; 2015
- Organization for Economic Cooperation and Development. Terrestrial plants: Growth test. Guideline for testing of chemicals, N° 208, OECD Publications Service, Paris, 1984.
- Pacheco AJ, Pat CR, Cabrera AS. Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería*, 6-3:73-81, 2002.
- Pacheco J. Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. *Ingeniería*, 7-2:47-54, 2003.
- Peralta Antonela; López Sardi Estela Mónica. Los acuíferos de nuestro país: un tesoro para las generaciones venideras. *Ciencia y Tecnología*, 12: 73-82, 2012.
- PNUMA. Programa de formación iberoamericano en materias de aguas. Gestión del recurso hídrico subterráneo en Cuba. *Hidrogeología IV*, Ciudad de la Habana, Cuba, 2010.
- 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.
- Stewart BW, Kleihues P, eds. World Cancer Report, Lyon: IARC; 2003. <http://www.iarc.fr/en/publications/pdfs-online/wcr/2003/>.
- US EPA. Protocols for short term toxicity screening of hazardous waste sites, US Environmental Protection Agency, 600/3-88/029, Corvallis, 1989.
- Vargas M. Francisco. Salud y Medio Ambiente. La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. 2005. <http://www.fundadeps.org/opinion/archivos/opinion-saludmedioambiente-fvargas-20130306.pdf>
- Verónica Hoyos Castaño. Respuesta fisiológica y de producción del tabaco tipo Virginia bajo diferentes planes de fertilización en Campoalegre y Garzón, Huila. Tesis, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Escuela de Posgrados, Bogotá, Colombia, 2013.
- World Health Organization. Guidelines for drinking-water Quality. 2011.
- World Health Organization. Nitrate and nitrite in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, 4<sup>a</sup> ed. Geneva, WHO, 2011.