

Othax, N., Peluso, F. y Usunoff, E. (2008): "Estudio comparativo de la evolución espacio-temporal del contenido en nitratos del agua de bebida en un entorno urbano según criterios basados en valores normativos y riesgo sanitario", GeoFocus (Artículos), n° 8, p.169-186, ISSN: 1578-5157

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA EVOLUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL CONTENIDO EN NITRATOS DEL AGUA DE BEBIDA EN UN ENTORNO URBANO SEGÚN CRITERIOS BASADOS EN VALORES NORMATIVOS Y RIESGO SANITARIO

NATALIA OTHAX¹, FABIO PELUSO y EDUARDO USUNOFF

Instituto de Hidrología de Llanuras.

Av. Italia 780, Campus Universitario UNCPBA, 7300, Azul, Provincia de Buenos Aires. Argentina.

lothax@faa.unicen.edu.ar

RESUMEN

Se analiza la evolución del contenido en nitratos del agua de red de la ciudad de Azul, Argentina, durante doce años tomando a 1992, 1998 y 2004 como años testigos. Para cada uno de ellos se han comparado las áreas que sobrepasaba el valor límite normativo de 50 mg l⁻¹ con las que ocupaban tres niveles de riesgo sanitario probabilístico por ingesta. Los valores promedios de concentración se redujeron el 70.95 % durante el período, con una retracción del 86.6 % de la superficie afectada, quedando 6.38 km² (7.05 %) con valores superiores al límite. Por otro lado, sólo se presentó riesgo atendible en el año 1992. La comparación de los dos métodos permitió observar que, aunque igualmente sensibles, el uso de los valores límites resulta más conservador (y menos realista) que el del riesgo. Además, se discuten otras ventajas (y desventajas) de cada uno de ellos frente al otro.

Palabras clave: Agua de red, nitratos, análisis de riesgo sanitario.

COMPARATIVE STUDY OF THE SPATIO-TEMPORAL EVOLUTION OF NITRATE CONTENT OF DRINKING WATER IN AN URBAN ENVIRONMENT ACCORDING TO LEGAL STANDARDS AND HEALTH RISK

ABSTRACT

The nitrate content evolution of water supply for human consumption at Azul City, Argentina, has been analyzed for a 12-year period, taking 1992, 1998, and 2004 as benchmark years. For those years a comparison has been made of the areas where the allowable limit of 50 mg l⁻¹ was exceeded, which represent three levels of the probabilistic sanitary risk from water consumption. The average concentration levels diminished 70.95% during the period and a retraction of 86.6% of the affected area, whereas 6.38 km² (7.05%) remained with concentration above the allowable limit. Only in 1992 the sanitary risk was deemed worthy of consideration. The

Othax, N., Peluso, F. y Usunoff, E. (2008): "Estudio comparativo de la evolución espacio-temporal del contenido en nitratos del agua de bebida en un entorno urbano según criterios basados en valores normativos y riesgo sanitario", GeoFocus (Artículos), n° 8, p.169-186, ISSN: 1578-5157

comparison of two methods showed that, although equally sensitive, the use of allowable limits is more conservative (and less realistic) than the risk-based approach. Also, the advantages and disadvantages of each method are discussed.

Keywords: Drinking water, nitrates, health risk assessment.

1. Introducción

La ciudad de Azul, de 56545 habitantes (INDEC, 2005) y 90.51 km² de superficie, está situada en el centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina; véase [figura 1](#). El abastecimiento de agua potable a su población se efectúa a partir de 19 captaciones que proveen a una red de conexiones domiciliarias que sirve al 98 % de la población urbana.

Si bien se considera que, en términos generales, los habitantes de la ciudad están abastecidos con agua de muy buena calidad (IHLLA, 2003), desde hace 40 años sistemáticamente algunos de estos pozos han arrojado valores de nitratos superiores a los valores limitantes para el agua de consumo humano (50 mg l⁻¹), tal como establece el Código Alimentario Argentino (Varni y Usunoff, 1999) y la Ley 11820 de la Provincia de Buenos Aires (Senado y Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires, 1996). El origen de ese nitratos es netamente local, dado por el aporte de materia orgánica proveniente de los innumerables pozos ciegos aún en actividad en la ciudad con valores claramente superiores a lo registrado en el ámbito rural aguas arriba y debajo de la ciudad (IHLLA, 2003).

A raíz de esa situación, se han tomado medidas para la disminución del contenido de nitratos en agua de red como ser la clausura de algunos de los pozos de captación que arrojaban las mayores concentraciones, la construcción de pozos nuevos en áreas de aguas de bajas concentraciones, el tendido de una cañería troncal desde esos pozos a las zonas más comprometidas y la extensión de la red cloacal.

El objetivo del presente trabajo es analizar la evolución espacial y temporal de las concentraciones en nitratos en el agua de red de la ciudad de Azul y de su riesgo sanitario por ingesta, durante los doce años en los que se implementaron las obras más significativas para su reducción. Posteriormente se discuten ambas metodologías de cara a su aplicabilidad por los sistemas de gestión con relación al resguardo de la salud del usuario.

2. Metodología

El trabajo se realizó durante el período 1992/2004, tomando como años de estudio a 1992, 1998 y 2004. Las concentraciones de nitratos provienen de 3 muestreos de agua de 26 puntos de la red obtenidas durante cada año de estudio (ver [figura 2](#)).

Los valores promedio de concentración de nitratos de cada año de los puntos de muestreo se interpolaron a toda la superficie del área urbana y periurbana de la ciudad. Ello se realizó

Othax, N., Peluso, F. y Usunoff, E. (2008): "Estudio comparativo de la evolución espacio-temporal del contenido en nitratos del agua de bebida en un entorno urbano según criterios basados en valores normativos y riesgo sanitario", GeoFocus (Artículos), n° 8, p.169-186, ISSN: 1578-5157

mediante técnicas geoestadísticas aplicando kriging ordinario con variograma omnidireccional y modelo lineal (Isaaks y Srivastava, 1989; Goovaerts, 1997) con el código digital SURFER 8.0 (Golden Software Inc., 2002). Los parámetros del variograma experimental se brindan a continuación y el variograma utilizado puede apreciarse en la [figura 3](#):

Dirección: 0
Tolerancia: 90°
Número de intervalos de distancias: 25
Ancho del intervalo: 166,66 m
Escala: 1:1760 m
Distancia: 5000 m
Modelo de ajuste: lineal
Pendiente: 0.4

La equidistancia aplicada en la interpolación fue de 60 metros (Peluso, 2005). La evaluación de la calidad del variograma experimental se realizó por validación cruzada con el mismo código digital. Esta se realizó por la comparación entre estadísticos generales de los promedios de los valores medidos en los puntos de muestreo y los valores equivalentes estimados por la validación cruzada para los mismos puntos y año. Estos estadísticos fueron: el valor mínimo y máximo, la media aritmética, el desvío estándar, el coeficiente de variación y la varianza. También se estimó el coeficiente de correlación de Pearson entre estos dos conjuntos de valores para cada año de estudio.

Sobre la base de las concentraciones se estimó el riesgo sanitario al que estuvo expuesta la población tomando como individuo testigo a un niño de 5 años. Los análisis de riesgo sanitario (ARS) constituyen procesos para la toma de decisiones que estiman el nivel potencial de peligro para un receptor humano o ecológico a partir del contacto con una sustancia química presente en el ambiente (NRC, 1983), caracterizando los efectos adversos potenciales y su probabilidad de ocurrencia, lo que permite identificar, evaluar, seleccionar e implementar acciones para reducirlos (CRARM, 1997).

El riesgo es una función de la toxicidad de la sustancia peligrosa y la magnitud de la exposición a la misma (USEPA, 1992a), existiendo diferentes modelos para estimar esta última (Fryer et al., 2006). Los ARS probabilísticos utilizan modelos basados en probabilidades para representar cómo se distribuyen los niveles de riesgo a la salud en la población y para caracterizar la incertidumbre en dichas estimaciones (USEPA, 1999).

La exposición cuantifica la relación entre el agente causal del riesgo y un organismo blanco teniendo en cuenta las rutas de contacto, las variables que participan del escenario y los tiempos de la exposición y la población expuesta (USEPA, 1992a). La exposición se estimó aplicando la siguiente ecuación:

$$ADD = \frac{[C * I_r * EF * ED]}{[B_w * AT]}$$

Othax, N., Peluso, F. y Usunoff, E. (2008): "Estudio comparativo de la evolución espacio-temporal del contenido en nitratos del agua de bebida en un entorno urbano según criterios basados en valores normativos y riesgo sanitario", *GeoFocus (Artículos)*, n° 8, p.169-186, ISSN: 1578-5157

ADD es la Dosis Diaria Promedio de ingestión de las sustancias, C es la Concentración de la sustancia peligrosa en agua (en mg l^{-1}), Ir es la Tasa de ingesta diaria de la sustancia (en l día^{-1}), EF es la Frecuencia de la exposición (en días año^{-1}), ED es la Duración de la exposición (en años), Bw es el Peso corporal de la persona expuesta (en kg) y AT es un Factor de corrección por tiempo promedio ($30 \text{ años} * 365 \text{ días año}^{-1}$). Esta ecuación corresponde a una exposición crónica (USEPA, 1992a).

El riesgo se estima confrontando la ADD con la dosis umbral por debajo de la cual no existen efectos toxicológicos sobre el individuo expuesto para el período de exposición considerado. A esta proporción se la denomina cociente de riesgo (USEPA, 1989) y si el valor del mismo iguala o excede la unidad existe un nivel de riesgo al que se le deba prestar atención (*riesgo atendible*). Esta metodología corresponde a los ARS para sustancias de efectos tóxicos no carcinogénicos (como es el caso de los nitratos). USEPA usa como dosis umbral a la Dosis de Referencia (RfD), que es una estimación probabilística de la exposición diaria a la que la población humana, incluyendo los subgrupos sensibles, se puede someter al agente peligroso sin que le genere riesgos de efectos adversos durante toda su vida (Barnes, 1988). El RfD de los nitratos es de $7,04 \text{ mg l}^{-1} \text{ kg}^{-1}$.

El ARS espacial probabilístico se realizó de manera integrada en el SIG urbano de la ciudad, el que se sustenta en un mapa base georreferenciado conteniendo 2016 polígonos (definición areal catastral correspondiente a manzanas o parcelas de la zona urbana o periurbana) (ver [figura 2](#)). Se obtuvo un valor de riesgo para cada polígono a partir del valor de concentración de cada unidad espacial y los restantes parámetros intervinientes en el cálculo de la exposición. El procedimiento probabilístico se basó en la aplicación de la técnica de Monte Carlo en su versión de muestreo aleatorio simple (MC SRS) (USEPA, 1999).

Con el propósito de considerar un nivel de exposición lo "razonablemente máximo" (USEPA, 1992b) que represente los escenarios más probables de mayor gravedad, se generaron distribuciones probabilísticas por MC SRS para 5000 iteraciones utilizando Crystal Ball 7.1 (Decisioneering, 2005) asumiendo las condiciones correspondientes a cada parámetro de la exposición para el individuo expuesto adoptado como testigo. El estadístico que se seleccionó como representativo de la distribución probabilística del riesgo sanitario por polígono es el máximo de los 5000 valores arrojados por MC SRS.

El procedimiento para la estimación probabilística de la concentración por polígono se realizó en base a los puntos de interpolación contenidos en cada una de las 2016 unidades catastrales, los que contaban hasta con 250 puntos en los de mayor superficie. Se realizó MC SRS asumiendo que los mismos poseían una distribución de frecuencias de tipo normal, tomando como valores representativos la media aritmética y el desvío estándar de la distribución y truncando las colas de la misma con sus valores mínimo y máximo. Estos estadísticos se obtuvieron con ArcView (ESRI, 1992 – 1999) mediante una rutina de poligonización sobre la grilla de valores interpolados.

Los valores adoptados para la tasa de ingesta y peso corporal fueron derivados de la bibliografía; y de la duración y frecuencia de la exposición, por juicio propio, considerando un escenario de exposición residencial crónico. Además se presentan los tipos de distribuciones

Othax, N., Peluso, F. y Usunoff, E. (2008): "Estudio comparativo de la evolución espacio-temporal del contenido en nitratos del agua de bebida en un entorno urbano según criterios basados en valores normativos y riesgo sanitario", GeoFocus (Artículos), n° 8, p.169-186, ISSN: 1578-5157

estadísticas, la fuente de información, así como los valores escogidos para los muestreos aleatorios por MC SRS para cada parámetro de la exposición. Véase [tabla 1](#).

El SIG tiene anexada una base de datos relacional, la cual fue generada con el aporte de información de distinta naturaleza, por ejemplo, la superficie del polígono, o su población total (56545 personas) o su población susceptible (5669 niños de hasta 5 años). Estos dos últimos parámetros se estimaron según densidad poblacional por Radio Censal, utilizando los Radios Censales del censo 2001 de Población, Viviendas y Hogares de la República Argentina (INDEC, 2005). La comparación de la población involucrada durante los años 1992, 1998 y 2004, se realizó descartando las diferencias por la evolución poblacional del período.

Con el objeto de evidenciar la evolución de las concentraciones de nitratos así como el riesgo crónico por su ingesta se seleccionaron para los años 1992, 1998 y 2004, las áreas que presentan una concentración igual o superior a los valores limitantes de 50 mg l^{-1} en el primer caso y las que surgen según tres niveles de riesgo sanitario en el segundo. También se extrajeron los estadísticos significativos de cada uno de ellos para la totalidad de la planta urbana. Para evaluar las diferencias entre éstos se efectuaron test de hipótesis (test de t para una cola) sobre las diferencias entre las medias aritméticas de muestras pareadas para las concentraciones de nitratos y niveles de riesgo sanitario de 1992 vs 1998 y de 1998 vs 2004. Estas estimaciones se efectuaron con Microsoft Excel.

Posteriormente se discuten las ventajas y/o desventajas del uso de los niveles máximos permisibles y de los ARS de cara a la información que proveen y el nivel de conservadorismo en el marco de la protección del usuario.

3. Resultados

3.1. Validación del variograma experimental

Los estadísticos representativos de la concentración de los nitratos en agua de red para los 26 puntos de muestreo según los diferentes años, se pueden apreciar en [tabla 2a](#). En la misma tabla se presentan los mismos estadísticos para el conjunto de valores estimados para los 26 puntos de muestreo, pero obtenidos por validación cruzada. La correlación intervariables (valores medidos vs. estimados) arroja en todos los casos valores positivos aunque relativamente bajos.

3.2. Evolución de las concentraciones de nitratos en agua de red

En la [tabla 2a](#) se puede observar la disminución de los mínimos, máximos, promedios y de las respectivas dispersiones de los valores entre los años 1992, 1998 y 2004. Tomando los valores promedios de concentración de nitratos medidos en el agua de red, de 1992 a 1998 hubo una reducción del 32.91 %, y de 1992 a 2004 la misma fue del 70.95 %. La diferencia de concentraciones entre los años testigos arrojó que éstas son significativas según el test de t ([tabla](#)

Othax, N., Peluso, F. y Usunoff, E. (2008): "Estudio comparativo de la evolución espacio-temporal del contenido en nitratos del agua de bebida en un entorno urbano según criterios basados en valores normativos y riesgo sanitario", GeoFocus (Artículos), n° 8, p.169-186, ISSN: 1578-5157

[2b.](#)).

Para el año 1992, 47.64 km² de la superficie de la planta urbana presentaron 50 mg l⁻¹ o más de concentración de nitratos medidos en el agua de red, es decir el 52.64 % de la superficie total. Para 1998, 38.97 km² de la superficie superaron el valor límite (43.06 %), lo que representa un porcentaje de reducción en superficie de 18.2 %. Para el año 2004, 6.38 km² excedieron el límite (7.05 % de su superficie); la reducción porcentual respecto del año 1998 es de un 83.63 %, y respecto del año 1992, es de un 86.6 % ([figura 4](#)).

Las áreas que presentan una concentración igual o superior a los valores limitantes de 50 mg l⁻¹ para los años 1992, 1998 y 2004, se pueden observar en la [figura 4](#), [figura 5](#) y [figura 6](#). Allí se aprecia claramente esa disminución progresiva para cada año de estudio.

3.3. Valores del riesgo crónico por el contenido de nitratos en agua de red

Los estadísticos representativos del riesgo crónico por nitratos en agua de red para la totalidad la planta urbana se pueden observar en la [tabla 3a](#). Los resultados demuestran que sólo se presenta riesgo atendible en el año 1992. Con respecto a la variación a lo largo del tiempo, se observa una disminución en los estadísticos representativos de riesgo crónico por el contenido de nitratos en agua de red en los años 1998 y 2004 respecto de 1992, presentando niveles de riesgo no atendibles (menor a 1) en los valores mínimos, máximos y promedios. El test de t que se aplicó para probar la significación estadística de la diferencia de los niveles de riesgo entre los años testigos arrojó que éstas son significativas ([tabla 3b](#)).

El detalle de los resultados en cuanto a cantidad de polígonos y superficie afectados, población total y susceptible según tres niveles de riesgo, en valores absolutos (Abs.) y relativos (%), se aprecia en la [tabla 4](#).

Los resultados demuestran que para un escenario de exposición crónica por ingesta de agua proveniente del sistema de agua de red en el año 1992, 29.16 km² de la superficie total del área urbana (el 32.22 %) presentaban niveles de riesgo atendible (igual o mayor a 1), afectando a 16274 personas (casi el 30 % de la población), de las cuales 1324 eran niños. Los niveles intermedios ocupan el 13.67 % de la superficie y afectan al 33.83 % de la población total, 19129 personas de las cuales 2343 son niños. La diferencia en la superficie que representan los distintos niveles de riesgo se puede considerar en la [figura 7](#).

Para el año 1998 ya no existen valores de riesgo superiores a la unidad. El área ocupada por el nivel de riesgo intermedio es mayor a la del año 1992, pero a expensas de su área de riesgo atendible. Otro modo de apreciar el mejoramiento de la situación es a partir del incremento del área del nivel de riesgo más bajo. En 1992 el área de niveles de riesgo sanitario entre 0 y 0.49 era del 54.11 % de la superficie de la planta urbana mientras que en 1998 se incrementó a un 62.93 %. La superficie que ocupan los niveles de riesgo seleccionados se observan en la [figura 8](#).

Othax, N., Peluso, F. y Usunoff, E. (2008): "Estudio comparativo de la evolución espacio-temporal del contenido en nitratos del agua de bebida en un entorno urbano según criterios basados en valores normativos y riesgo sanitario", GeoFocus (Artículos), n° 8, p.169-186, ISSN: 1578-5157

Para el año 2004 no existe riesgo atendible y el nivel de riesgo intermedio es despreciable ya que no alcanza al 1 % de la superficie de la planta urbana, quedando involucrado un único polígono ([figura 9](#)).

4. Análisis y discusión

La comparación de la aplicación de los ARS probabilísticos y espaciales con relación a la utilización de los límites máximos permisibles permitió observar que ambas han sido sensibles y cumplieron con sus objetivos. Sin embargo, es posible discutir las ventajas y/o desventajas del uso de cada una de ellas.

Si bien los valores máximos establecidos en normativa son sencillos de aplicar y permiten el resguardo del usuario, no resultan un mecanismo eficiente para definir niveles de calidad ya que su objetivo es, simplemente, sustentar un sistema binario de gestión de tipo "cumple o no cumple" basado en un valor de concentración fijada como límite. Son estrictamente locales, puntuales, y se aplican sustancia por sustancia.

La diferencia más importante que tienen los ARS respecto de los niveles máximos normativos es que permiten mayores posibilidades analíticas en un marco metodológico más realista.

Los niveles máximos permisibles no admiten la discriminación entre diferentes tipos de escenarios de exposición. Si bien estos valores limitantes surgen de estudios que obtienen un valor protectorio para toda la población, resultan más conservadores que los obtenidos por los ARS, tal como se aprecia en este trabajo. Los resultados indican que ya con la reducción en los niveles de nitratos en el agua de red para el año 1998 no se encontraban valores de riesgo sanitario atendibles para la población susceptible a pesar de que seguía existiendo un área que sobrepasaba el valor limitante. Los ARS permiten un manejo más ajustado de las condiciones bajo las cuales se produce la exposición, pudiendo incrementar el realismo del estudio. El uso de los niveles máximos permisibles asumen una serie de condiciones estandarizadas conservadoras (tasa de ingesta de 2 litros por día, 70 Kg de peso del individuo, exposición continua 24 hs al día durante 365 días al año durante todo el largo de la vida estadística de la persona). Estas condiciones difícilmente ocurren en la realidad y, menos, simultáneamente. El manejo individual (y de forma probabilística) de cada variable para el cálculo de la exposición permite basar el estudio en un nivel de exposición lo "razonablemente máximo" (USEPA, 1992b) que represente los escenarios más probables de mayor gravedad sin caer en un conservadorismo extremo.

Por otro lado, no todas las rutas de exposición están consideradas en la normativa. Si bien existe una buena cantidad de niveles normativos para agua de bebida (apreciable por el número de sustancias listadas), estos empiezan a escasear cuando es necesario considerar otras rutas, el contacto dérmico por ejemplo.

Hoy existen modelos ARS que consideran simultáneamente múltiples rutas de exposición (modelos agregados), múltiples sustancias (modelos acumulativos), múltiples receptores (WHO,

Othax, N., Peluso, F. y Usunoff, E. (2008): "Estudio comparativo de la evolución espacio-temporal del contenido en nitratos del agua de bebida en un entorno urbano según criterios basados en valores normativos y riesgo sanitario", GeoFocus (Artículos), n° 8, p.169-186, ISSN: 1578-5157

2001; Sutter II, 2003), y espaciales, integrados a los SIG (Korre *et al.*, 2002, Gay y Korre, 2006), tal como se realiza en el presente trabajo.

Otras oportunidades que los estudios de riesgo sanitarios brindan es que tienen el potencial de predecir el efecto de exposiciones frente a concentraciones potenciales de contaminantes, de poder maximizar el valor de los datos disponibles al poder combinarlos en esquemas analíticos integrados, de permitir flexibilizar la complejidad del modelo a las necesidades de la evaluación, y de reducir la necesidad de programas intensivos de monitoreo ambiental (Fryer *et al.*, 2006).

Por el lado de las desventajas, además de ser metodológicamente más complicados que por la confrontación con valores máximos normativos, los ARS cuentan con otro inconveniente y es que no es sencillo contar con valores realistas de algunas variables (por ejemplo, las tasas de ingesta o las frecuencias de exposición). Incluso en países con mayor tradición en relevamientos de información, en los estudios priman los valores estandarizados y determinísticos. Ello implica que se debe recurrir a valores extraídos de la bibliografía como se ha hecho en este trabajo respecto de la tasa de ingesta mientras no se potencien los mecanismos locales de recolección de información.

Otra desventaja es la dependencia de la calidad y cantidad de información disponible por el monitoreo sobre el medio, en este caso, el agua de red. La aplicación de herramientas geoestadísticas es altamente dependiente de la calidad de la información disponible. Y ésta, en muchos casos, no es fácil de obtener, sobre todo, tratándose de valores "históricos", no relevados en su momento con el objeto de su utilización en geoestadística. A pesar de ello, la evaluación de la calidad de la estimación espacial de las concentraciones de nitratos mediante la interpolación con kriging arrojó un valor razonable, a decir por las correlaciones arrojadas tras la validación cruzada. A pesar de ello, no puede dejar de reconocerse que una mayor densidad de puntos y episodios de muestreo hubieran brindado un panorama de menor incertidumbre.

5. Conclusiones

La implementación de una serie de obras desde 1992 a 2004 ha permitido la reducción de las concentraciones de nitratos en el agua de red de la ciudad de Azul. Tomando los valores promedios de concentración para los 12 años de estudio, hubo una reducción del 70.95 % para el conjunto de la planta urbana. Para el mismo período, la reducción de la superficie afectada por los niveles excedidos de nitratos según la normativa vigente fue de un 86.6 %, quedando para 2004 únicamente un 7.05 % de la superficie de la planta urbana cuando en 1992 el porcentaje afectado con valores que sobrepasaban los 50 mg l⁻¹ era del 52.64 %.

Los estadísticos representativos del riesgo crónico por nitratos obviamente acompañaron la tendencia decreciente debido a su dependencia metodológica de los valores de concentración. Los resultados demuestran que sólo se presentó riesgo atendible en el año 1992, que afectaba el 32.22 % de la superficie de la planta urbana.

La comparación de la aplicación de los ARS probabilísticos y espaciales con relación a la utilización de los límites máximos permisibles permitió observar que ambas han sido sensibles y

Othax, N., Peluso, F. y Usunoff, E. (2008): "Estudio comparativo de la evolución espacio-temporal del contenido en nitratos del agua de bebida en un entorno urbano según criterios basados en valores normativos y riesgo sanitario", *GeoFocus (Artículos)*, n° 8, p.169-186, ISSN: 1578-5157

cumplieron con sus objetivos. Sin embargo, este último resulta más conservador que el de los ARS ya que, para el año 1998, si bien seguía existiendo un área que sobrepasaba los límites de concentraciones según la normativa ya no se encontraban valores de riesgo sanitario atendibles para la población susceptible.

Agradecimientos

Este trabajo se financió con fondos provenientes de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, de la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires y de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PID452).

Referencias bibliográficas

- Barnes, D. (1988): "Reference Dose (rfd): Description and use in health risk assessment", *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 8, pp. 471-486
- CRARM (1997): *Risk Assessment and Risk Management in Regulatory Decision-Making*. vol. 2, 169 p. Presidential/Congressional, Commission on Risk Assessment and Risk Management, U.S.A. Final Report.
- Decisioneering (2005): Crystal Ball 7.1 software.
- ESRI (1992 – 1999): *ArcView GIS 3.2*. Environmental Systems Research Institute, Inc.
- Fryer M., Collins C., Ferrier H., Colville R., Nieuwenhuijsen, M. (2006): "Human exposure modeling for chemical risk assessment: a review of current approaches and research and policy implications", *Environmental Science & Policy* 9 (2006): 261 – 274.
- Gay R., y Korre, A. (2006): "A spatially-evaluated methodology for assessing risk to population from contaminated land", *Environmental Pollution* 142: 227-234.
- GCA Corp. (1985): *Development of statistical distributions or ranges of standard factors used in exposure assessment*. Washington D.C. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Health and Environmental Assessment, Office of Research and Development. USA.
- Golden Software Inc, , 2002. SURFER 8.0.
- Goovaerts, P. (1997): *Geostatistics for natural resources evaluation*. Applied Geostatistics Series. Oxford University Press, Inc., UK.
- IHLLA (2003): *Sistema de soporte para la gestión eficiente de los recursos hídricos en la llanura bonaerense. Proyecto CIC-UNCPBA, Informe Final*. Instituto de Hidrología de Llanuras, Azul, Argentina.
- INDEC (2005): *Censo de Población, Viviendas y Hogares 2001 por Radios Censales para la ciudad de Azul, Buenos Aires*. Información en soporte digital. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina.
- Isaaks E., Srivastava M. (1989): *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press, Inc., UK.
- Korre A., Durucan, S., Koutroumani, A. (2002): "Quantitative-spatial assessment of the risks associated with high Pb loads in soils around Lavrio, Greece", *Applied Geochemistry* 17: 1029 – 1045.

Othax, N., Peluso, F. y Usunoff, E. (2008): "Estudio comparativo de la evolución espacio-temporal del contenido en nitratos del agua de bebida en un entorno urbano según criterios basados en valores normativos y riesgo sanitario", *GeoFocus (Artículos)*, n° 8, p.169-186, ISSN: 1578-5157

- Lejarraga H. y Orfila G., (1987): "Estándares de peso y estatura para niños y niñas argentinos desde el nacimiento hasta la madurez", *Archivos Argentinos de Pediatría* 85:209-222.
- Ley 11820 (1996): *Marco Regulatorio para la Prestación de los Servicios Públicos de Provisión de Agua Potable y Desagües Cloacales en la Provincia de Buenos Aires*.
- NRC (1983): *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process*. National Research Council. National Academic Press, Washington DC.
- Peluso, F. (2005): *Metodología de análisis areal de riesgo sanitario por contaminantes en el agua de bebida para la ciudad de azul, argentina*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Argentina. 226 p.
- Roseberry, A.M. y Burmaster, D.E. (1992): "Lognormal distributions for water intake by children and adults". *Risk Analysis* 12: 99-104.
- Senado y Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires. (1996): *Ley 11820: Marco Regulatorio para la Prestación de los Servicios Públicos de Provisión de Agua Potable y Desagües Cloacales en la Provincia de Buenos Aires, y las Condiciones Particulares de Regulación para la Concesión de los Servicios Sanitarios de Jurisdicción Provincial*. En <http://www.gob.gba.gov.ar/legislacion/legislacion/l-11820.html>
- Sutter II G. (2003, Guest editor): "Framework for integration of human and ecological risk assessment", *Human and Ecological Risk Assessment* 9 (1): 267 – 388.
- USEPA (1989): *Risk assessment guidance for superfund*. Volume 1: human health evaluation manual. EPA/540/1-89/002. Washington D.C., USA.
- USEPA (1992a): *Guidelines for exposure assessment*. Environmental Protection Agency. Fed. Reg. 57:22888 – 22938. Washington D.C., USA.
- USEPA (1992b): "Supplemental Guidance to RAGS: Calculating the Concentration Term". *Intermittent Bulletin*. 1, 1. Publication 9285.7-081. U.S. Environmental Protection Agency.
- USEPA (1997): *Exposure factor handbook*. Environmental Protection Agency. USEPA/600/P-95/002. Washington D.C., USA.
- USEPA (1999): *Process for conducting probabilistic risk assessment*. Environmental Protection Agency. Disponible en <http://www.epa.gov/>
- USEPA (2000): *Estimated per capita water ingestion in the United States*. USEPA-822-R-00-006. Washington D.C., USA.
- USEPA (2002): *Child-specific exposure factors handbook*. EPA-600-P-00-002B.
- Varni, M. y Usunoff, E. (1999): "Contaminación de aguas de suministro: diagnóstico y optimización de costos de abastecimiento. Caso de la Ciudad de Azul, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Hidrología Subterránea". *Serie Correlación Geológica* No 13: 143-151. UNT. Tucumán.
- WHO (2001): *Approaches to integrated risk assessment*. World Health Organization. WHO/IPCS/IRA/01/12. En http://www.who.int/pcs/emerg_site/integr_ra/ira_report.htm

Othax, N., Peluso, F. y Usunoff, E. (2008): "Estudio comparativo de la evolución espacio-temporal del contenido en nitratos del agua de bebida en un entorno urbano según criterios basados en valores normativos y riesgo sanitario", *GeoFocus (Artículos)*, n° 8, p.169-186, ISSN: 1578-5157

TABLAS

Tabla 1. Caracterización de las distribuciones adoptadas en cada parámetro de la exposición para el cálculo probabilístico del riesgo crónico con MC SRS

Parámetro	Media o valor medio	Desvío ST	Mínimo o valor extremo izquierdo	Máximo o valor extremo derecho	Tipo distribución	Fuente de información
Concentración de la sustancia (mg l ⁻¹)	Variable según polígono	Variable según polígono	Variable según polígono	Variable según polígono	Normal	
Tasa de Ingesta (l día ⁻¹)	0.4	0.4	0.1	1.5	Lognormal (Roseberry y Burmaster, 1992)	USEPA (1997, 2000, 2002)
Peso Corporal (kg)	19.5	2.5	13.5	25.5	Normal (GCA Corp., 1985, Lejarraga y Orfila, 1987)	Lejarraga y Orfila (1987)
Frecuencia Exposición (días año ⁻¹)	330		300	360	Triangular	Juicio propio
Duración Exposición crónica (años)	10		1	30	Triangular	Juicio propio

Tabla 2a. Estadísticos representativos de las concentraciones de nitratos medidas (M) y estimadas (E) por validación cruzada para el conjunto de los 26 puntos de muestreo: valor mínimo (Min.), valor máximo (Max.), media aritmética (Prom.), desvío estándar (Desv.), coeficiente de variación (Coef. Var.), varianza y coeficiente de correlación de Pearson entre los valores medidos y los estimados por kriging.

Estadísticos	1992M	1992E	1998M	1998E	2004M	2004 E
Min.	17.12	17.48	15.14	14.64	2.66	8.44
Max.	178	148.26	105.19	99.91	57.07	57.32
Prom.	79.27	74.37	53.18	50.36	23.03	26.20
Desv.	50.57	30.72	30.63	22.99	12.24	14.53
Coef. Var.	0.63	0.41	0.58	0.46	0.53	0.55
Varianza	1882.82	943.53	836.18	528.37	248.98	210.99
Coef. Correlación M-E	0.65		0.76		0.68	

Othax, N., Peluso, F. y Usunoff, E. (2008): "Estudio comparativo de la evolución espacio-temporal del contenido en nitratos del agua de bebida en un entorno urbano según criterios basados en valores normativos y riesgo sanitario", GeoFocus (Artículos), n° 8, p.169-186, ISSN: 1578-5157

Tabla 2b. Test de t para una cola sobre las diferencias entre las medias aritméticas de muestras pareadas de concentraciones de nitratos entre 1992 y 1998 y entre 1998 y 2004.

Estadísticos	1992 vs 1998	1998 vs 2004
Observaciones	2016	2016
Coefficiente de correlación de Pearson	0.99	0.39
Diferencia hipotética de las medias	26	30
Grados de libertad	2015	2015
Estadístico t	0.20	0.24
P(T<=t) una cola	0.42	0.41
Valor crítico de t (una cola)	1.65	1.65

Tabla 3a. Estadísticos representativos de los valores del riesgo sanitario por ingesta para el conjunto de polígonos de la planta urbana: valor mínimo (Min.), valor máximo (Max.), media aritmética (Prom.), desvío estándar (Desv.), coeficiente de variación (Coef. Var.)

Estadísticos	1992	1998	2004
Min.	0.04	0.11	0.02
Max.	1.72	0.99	0.50
Prom.	0.67	0.44	0.19
Desv.	0.50	0.26	0.10
Coef. Var.	0.76	0.58	0.53

Tabla 3b. Test de t para una cola sobre las diferencias entre las medias aritméticas de muestras pareadas de niveles de riesgo sanitario por ingesta entre 1992 y 1998 y entre 1998 y 2004.

Estadísticos	1992 vs 1998	1998 vs 2004
Observaciones	2016	2016
Coefficiente de correlación de Pearson	0.93	0.40
Diferencia hipotética de las medias	0.23	0.25
Grados de libertad	2015	2015
Estadístico t	-0.61	-0.17
P(T<=t) una cola	0.27	0.43
Valor crítico de t (una cola)	1.65	1.65

Othax, N., Peluso, F. y Usunoff, E. (2008): "Estudio comparativo de la evolución espacio-temporal del contenido en nitratos del agua de bebida en un entorno urbano según criterios basados en valores normativos y riesgo sanitario", GeoFocus (Artículos), n° 8, p.169-186, ISSN: 1578-5157

Tabla 4. Resultantes en cuanto a cantidad de polígonos y superficie afectados, población total y susceptible por tres niveles de riesgo para los tres años de estudio, en valores absolutos (Abs.) y relativos (%)

Años	Niveles de riesgo	Polígonos		Superficie		Población total		Población de riesgo	
		Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%
1992	0 – 0.49	1005	49.85	48.97	54.11	21142	37.39	2002	35.31
	0.50 – 0.99	403	19.99	12.37	13.67	19129	33.83	2343	41.34
	1 o más	608	30.16	29.16	32.22	16274	28.78	1324	23.35
1998	0 – 0.49	1218	60.44	56.96	62.93	34306	60.67	3684	64.99
	0.50 – 0.99	798	39.56	33.55	37.07	22239	39.33	1985	35.01
	1 o más	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	0 – 0.49	2015	99.94	90.46	99.94	56488	99.9	5660	99.85
	0.50 – 0.99	1	0.06	0.05	0.06	57	0.1	9	0.15
	1 o más	0	0	0	0	0	0	0	0

Othax, N., Peluso, F. y Usunoff, E. (2008): "Estudio comparativo de la evolución espacio-temporal del contenido en nitratos del agua de bebida en un entorno urbano según criterios basados en valores normativos y riesgo sanitario", *GeoFocus (Artículos)*, n° 8, p.169-186, ISSN: 1578-5157

FIGURAS

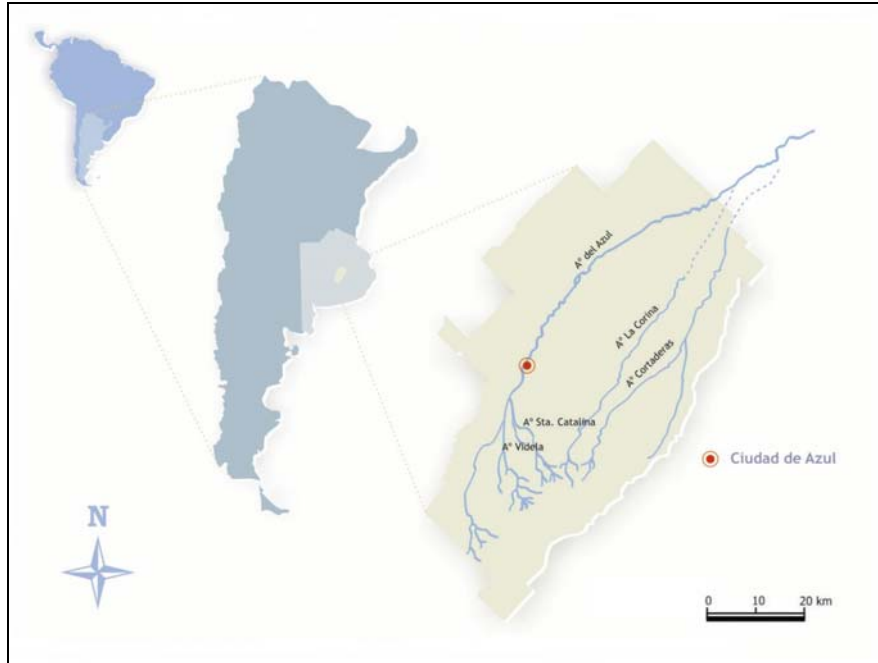


Figura 1. Ubicación relativa de la ciudad de Azul.

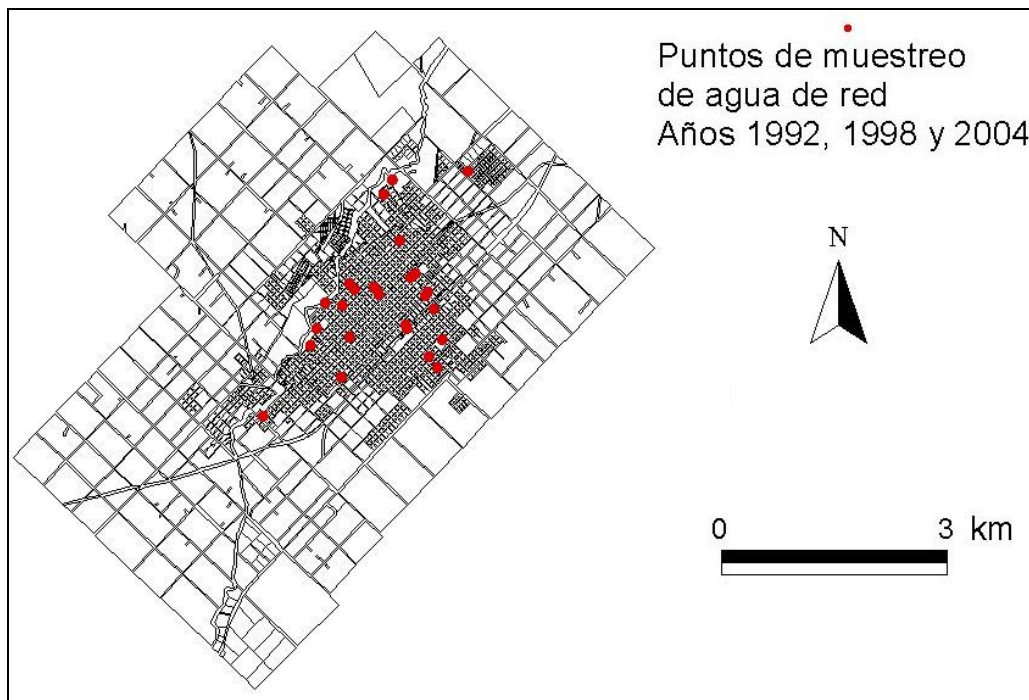


Figura 2. Ubicación de los puntos de muestreo de agua de red en la ciudad de Azul.

Othax, N., Peluso, F. y Usunoff, E. (2008): "Estudio comparativo de la evolución espacio-temporal del contenido en nitratos del agua de bebida en un entorno urbano según criterios basados en valores normativos y riesgo sanitario", *GeoFocus (Artículos)*, n° 8, p.169-186, ISSN: 1578-5157

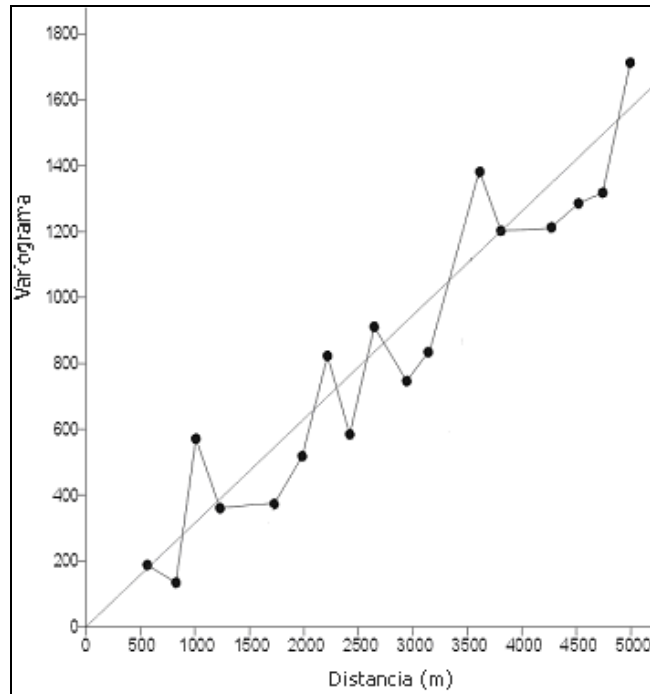


Figura 3. Variograma omnidireccional utilizado para la interpolación con kriging ordinario.

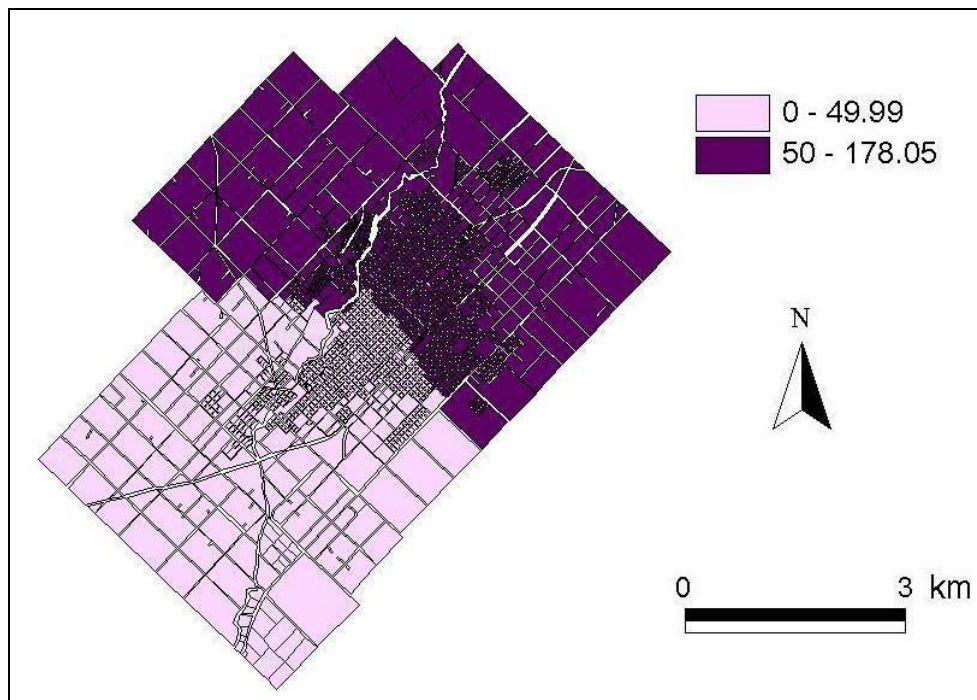


Figura 4. Mapa de isoconcentraciones de nitratos en agua de red en el año 1992.

Othax, N., Peluso, F. y Usunoff, E. (2008): "Estudio comparativo de la evolución espacio-temporal del contenido en nitratos del agua de bebida en un entorno urbano según criterios basados en valores normativos y riesgo sanitario", *GeoFocus (Artículos)*, n° 8, p.169-186, ISSN: 1578-5157

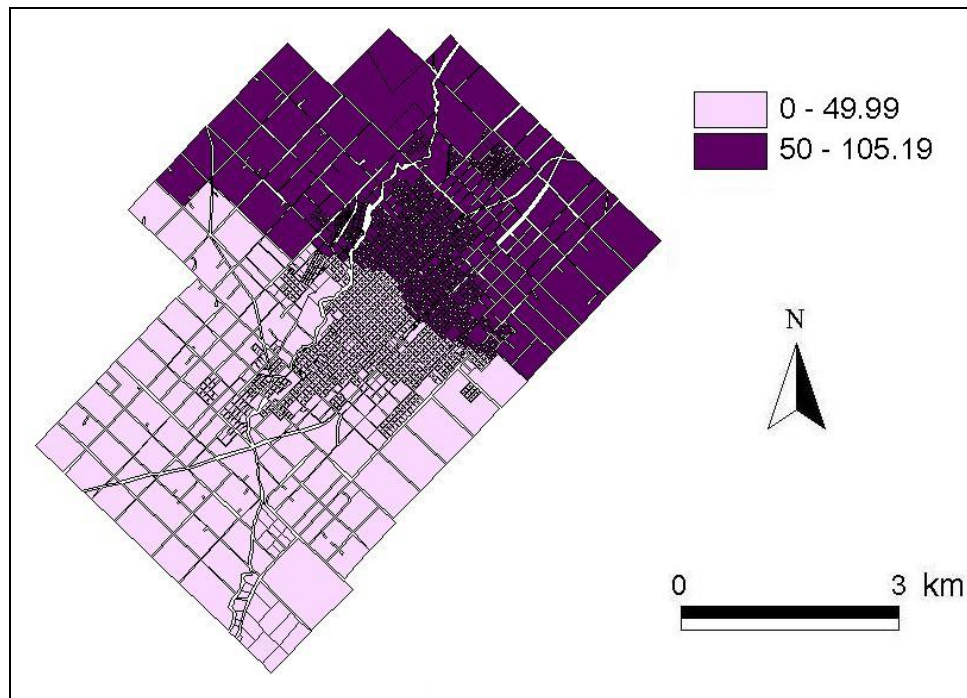


Figura 5. Mapa de isoconcentraciones de nitratos en agua de red en el año 1998.

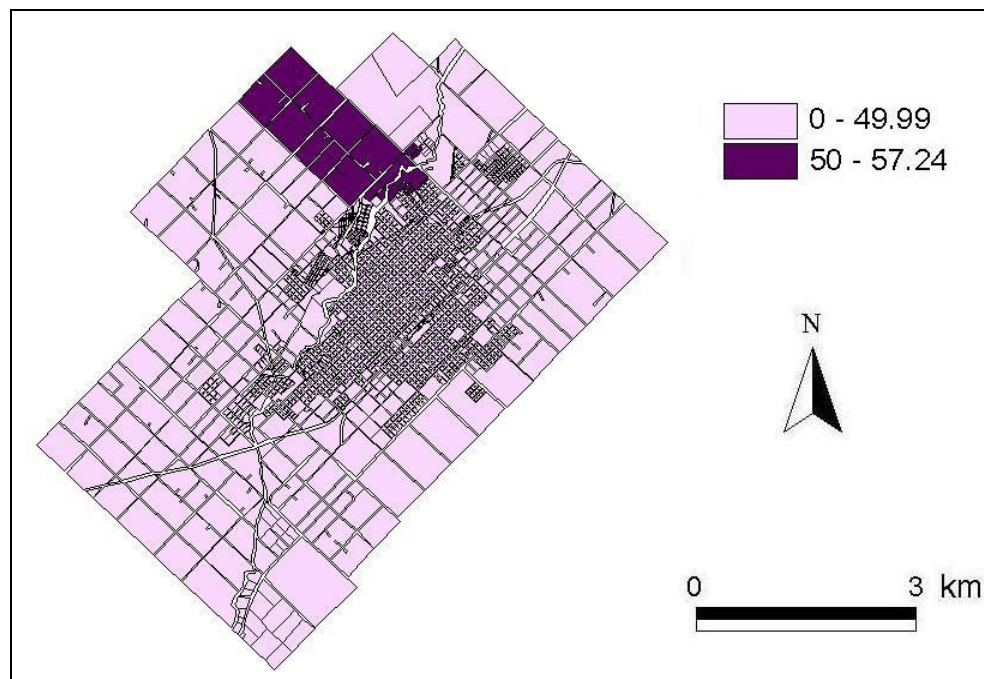


Figura 6. Mapa de isoconcentraciones de nitratos en agua de red en el año 2004.

Othax, N., Peluso, F. y Usunoff, E. (2008): "Estudio comparativo de la evolución espacio-temporal del contenido en nitratos del agua de bebida en un entorno urbano según criterios basados en valores normativos y riesgo sanitario", *GeoFocus (Artículos)*, n° 8, p.169-186, ISSN: 1578-5157

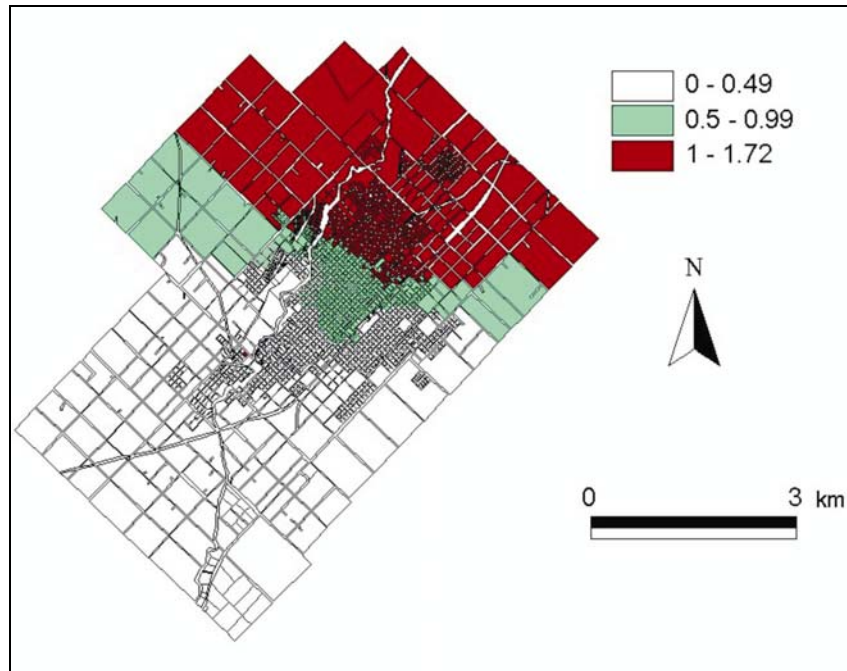


Figura 7. Distribución espacial del riesgo crónico por el contenido de nitratos en agua de red en el año 1992.

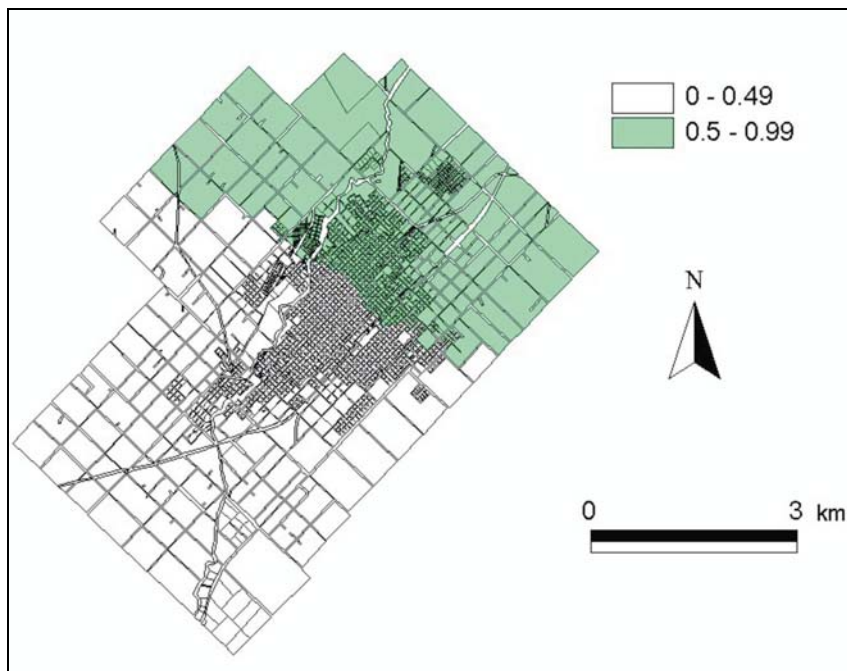


Figura 8. Distribución espacial del riesgo crónico por el contenido de nitratos en agua de red en el año 1998.

Othax, N., Peluso, F. y Usunoff, E. (2008): "Estudio comparativo de la evolución espacio-temporal del contenido en nitratos del agua de bebida en un entorno urbano según criterios basados en valores normativos y riesgo sanitario", *GeoFocus (Artículos)*, n° 8, p.169-186, ISSN: 1578-5157

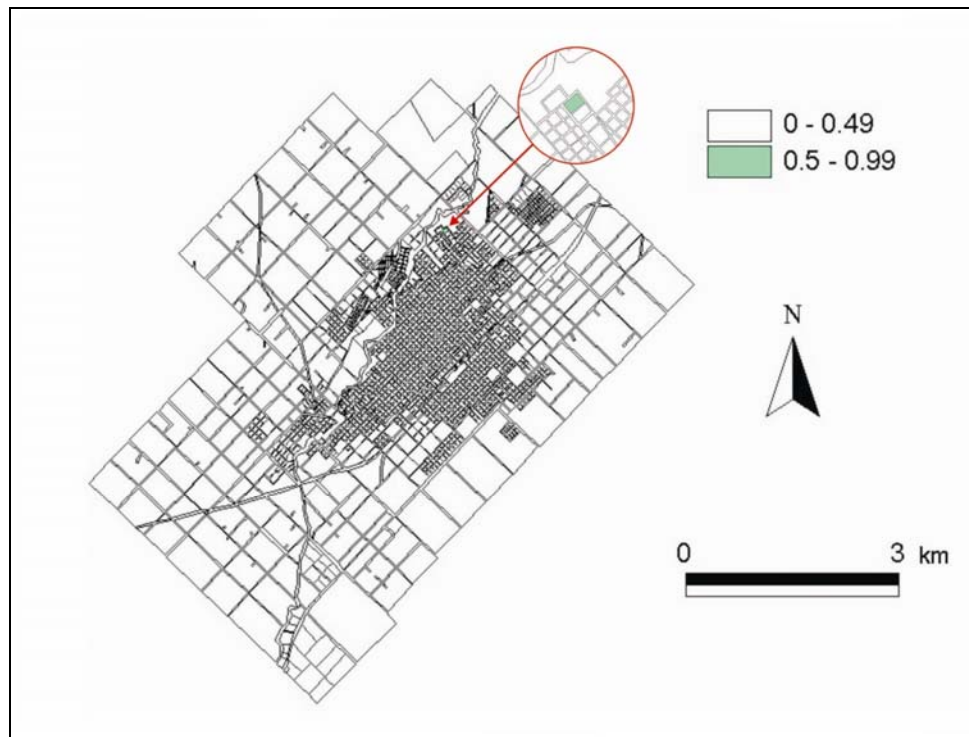


Figura 9. Distribución espacial del riesgo crónico por el contenido de nitratos en agua de red en el año 2004.