

ANÁLISIS AREAL Y PROSPECTIVO DE RIESGO SANITARIO INCORPORANDO MODELOS DE TRANSPORTE DE SOLUTOS EN AGUAS SUBTERRÁNEAS

F. PELUSO^(*), G. CAZENAVE, L. VIVES y E. USUNOFF
Instituto de Hidrología de Llanuras
C. C. 44 (B7300) Azul, Argentina
^(*) fpeluso@faa.unicen.edu.ar

RESUMEN

El riesgo sanitario estima el peligro para un humano expuesto a sustancias presentes, en este caso, en el agua subterránea. Se establecen así elementos de decisión para la gestión, por ejemplo, si se la usa para consumo humano. Estos análisis pueden robustecerse haciéndolos prospectivos, es decir, basados en concentraciones futuras estimadas a partir del movimiento de solutos en el acuífero. Se analiza para la ciudad de Azul, Argentina, y según varios horizontes temporales, el riesgo por ingesta de agua que contiene una sustancia hipotética conservativa que se distribuye arealmente según la simulación del transporte advectivo, sustentado en un modelo de flujo del agua subterránea. El transporte de solutos simulado puede ser incluido en los estudios areales de riesgo, convirtiéndolos en herramientas analíticas prospectivas poderosas y oportunas debido al desarrollo incipiente de este tipo de estudios en el país.

Palabras clave: Riesgo ambiental, SIG, modelos de transporte, contaminación de aguas subterráneas

ABSTRACT

Sanitary risk analyses are used to estimate the danger for humans exposed to substances contained, in this case, in groundwater. Elements for making decisions related to management are thus generated (e.g., whether the water is to be used for human consumption). Such analyses may be strengthened by making them prospective, that is, based on future concentrations that are estimated from the movement of solutes in the aquifer. Such approach has been applied in Azul City, Argentina, where the risk from consumption of water that carries a hypothetical non-reactive species for various time periods has been evaluated, given that the species is areally distributed according to the simulation of advective transport of the local groundwater-flow regime. The simulated solute transport may be incorporated to the risk analysis, yielding powerful and timely analytical tools that are of utmost importance given the incipient development of these types of studies in the country.

Keywords: Environmental risk, GIS, transport modelling, groundwater pollution

1. Introducción

Un análisis de riesgo estima el potencial de peligro para un receptor humano a partir de la exposición a una sustancia química presente en el ambiente. Hay ejemplos metodológicos de numerosos tipos cuando el agente causal del riesgo se asocia a los recursos hídricos y afecta su consumo potencial. Los métodos abarcan el análisis de la exposición y los efectos desde una escala individual hasta poblacional, desde puntual hasta espacialmente distribuido, creando y aplicando modelos matemáticos, digitales, o directamente software específico (Peluso *et al.*, 2001). Todos ellos, directa o indirectamente, hacen referencia al modelo básico del National Research Council (NRC, 1983).

La caracterización científica de los efectos adversos potenciales de ciertas sustancias en el agua destinada a consumo humano permitiría identificar, evaluar, seleccionar e implementar acciones para reducirlos de un modo más eficiente. Una manera de potenciar la utilidad de los estudios de riesgo para la gestión es a través de estimaciones prospectivas. Esto es, generar estudios que pronostiquen los niveles de amenaza para diferentes lapsos a partir de escenarios reales o hipotéticos.

Si ese tipo de estudio, además, se realiza de modo espacializado y georreferenciado, supera algunas de las críticas a los enfoques tradicionales del riesgo (por ejemplo, los de USEPA) de suscribir a una visión "altamente fragmentada" del riesgo (CRARM, 1997), entre otras circunstancias, por realizar evaluaciones puntuales espacialmente circunscriptas. Debido a esto, existe un interés creciente en el desarrollo de modelos que se integren a los SIG (Fedra, 1998; Hay Wilson, 2000, Korre *et al.*, 2002), por lo que ya se utiliza ese entorno en modelos de análisis de riesgo sanitario por contaminantes en agua subterránea (Peluso *et al.*, 2003a).

Un modo de potenciar el poder analítico de estos modelos es integrándolos a modelos numéricos de transporte que puedan predecir las variaciones en las concentraciones de los contaminantes en el agua subterránea y, en base a ello, estimar el riesgo sanitario diferencial para distintos horizontes temporales debido al consumo de dicha agua como bebida. Este trabajo tiene por objeto presentar un modo de efectuar esa integración prospectiva del riesgo sanitario en el marco de un SIG a los fines de convertirse en herramienta para la gestión de los recursos hídricos.

En este trabajo se estudia, para varios lapsos, el riesgo por ingesta de agua para una sustancia hipotética distribuida arealmente en la planta urbana de la ciudad de Azul (50000 habitantes), Argentina. En la zona de estudio se sitúa una curtiembre, potencial fuente de contaminación, por lo que el trabajo verifica diferentes escenarios asumiendo que ese emprendimiento industrial es el causante de la misma. También se estima la magnitud del riesgo cuantificando, para cada horizonte temporal, la población expuesta. Si bien la cobertura de agua potable alcanza al 98 % de la población, dentro del área de estudio existe una zona no cubierta por este servicio.

2. Materiales y métodos

2.1. Los análisis de riesgo sanitario por contaminantes en el agua subterránea

El estudio de riesgo areal prospectivo por ingesta de agua se realizó sobre una sustancia hipotética de concentración variable en el espacio según un modelo predictivo de transporte en agua subterránea y para distintos horizontes temporales. Esta se integró a una evaluación real por nitrato y fluoruro (Peluso *et al.*, 2003a), considerada operativamente como "riesgo de fondo", que se podría definir como el nivel basal de riesgo existente sin que medie la incorporación de un nuevo contaminante al sistema, por ejemplo, la sustancia hipotética.

A esta sustancia hipotética se la considera conservativa, de $0,003 \text{ mg kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de dosis de referencia (RfD similar al Cr^{+6}), y se la supone con una concentración máxima de $0,065 \text{ mg/l}$ en su punto de origen, es decir, al 100% de concentración. Esta se generaría a partir de dos emisiones puntuales continuas en un área de la ciudad en la cual existe una curtiembre –ver más adelante–. En el siguiente apartado se explica cómo se obtiene la distribución espacial de sus concentraciones para cada lapso estudiado.

El riesgo "de fondo", como se dijo, se basa en la definición de niveles espaciales de riesgo por nitrato (Dosis de Referencia RfD = $7,04 \text{ mg kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$) y fluoruro (RfD = $0,06 \text{ mg kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$); esta evaluación se ha desarrollado en un entorno SIG (Peluso *et al.*, 2003a) mediante ARCVIEW (ESRI, 1996), en el cual no sólo se consideran las concentraciones de los contaminantes de interés y sus efectos toxicológicos potenciales. También se incluyen los niveles de exposición con relación al tipo de tenencia de agua (agua de red domiciliaria o agua de pozo domiciliar), la distribución poblacional (cantidad de gente expuesta discriminando entre niveles de susceptibilidad) y la concurrencia de ciertos parámetros socioeconómicos indicadores del nivel de vida (Peluso *et al.*, 2003b).

La concentración del nitrato y el fluoruro se estimó a partir de muestreos de calidad de agua extendidos espacialmente mediante interpolación por kriging puntual ordinario y utilizando variogramas omnidireccionales (Isaaks y Srivastava, 1989; Samper Calvete y Carrera Ramírez, 1990; Goovaerts, 1997), la información se poligonizó a través del proceso de resumen por media aritmética y desvío estándar con lo que se obtuvo un valor representativo para cada unidad areal. Cada unidad espacial o polígono del mapa base ([figura 1](#)) corresponde a una subunidad catastral del manzanero urbano, contando la planta urbana estudiada con 2016.

Cada valor de concentración, tanto para la sustancia hipotética como para el nitrato y el fluoruro, luego fue integrado al modelo básico del riesgo (NRC, 1983) para ingesta de agua de bebida según un escenario de exposición residencial y para niños como individuos susceptibles expuestos. Se construyeron distribuciones probabilísticas por Monte Carlo (5.000 iteraciones) para cada parámetro interviniente según estimaciones realistas. Por ejemplo, para niños, se consideró una Tasa de Ingesta media de $0,5 \text{ l/d}$, con un desvío estándar de $0,25 \text{ l/d}$, y un peso medio de $9,75 \text{ kg}$, con un desvío estándar de 1 kg , asumiéndose, en ambos casos, una distribución normal de valores. Este procedimiento se efectuó para cada polígono del área de estudio mediante una función macro

desarrollada en Vbasic para operar en EXCEL (Microsoft Corporation, 1999), generando archivos exportables al SIG.

La integración del riesgo "de fondo" con el de la sustancia hipotética se realizó según un esquema metodológico aditivo para mezcla de sustancias (USEPA, 1999).

La RfD (USEPA, 1996) es una estimación de la máxima exposición diaria a una sustancia potencialmente generadora de efectos a la salud a la que la población humana se puede someter sin que se generen riesgos de efectos adversos (Barnes, 1988). Debido a que el riesgo se valoriza en proporción a la RfD, se considera a los niveles de riesgo menores a la unidad como "no atendibles"; si sobrepasa ese valor, podrían existir efectos a la salud, por lo que requeriría atender particularmente la situación.

La concentración de fondo se supuso constante a lo largo de cada lapso estudiado, mientras que la variación temporal de la población para los mismos se consideró únicamente dependiente del crecimiento vegetativo según la tasa anual de crecimiento poblacional para la ciudad (0,0084), asumiéndola equivalente para el lote de polígonos.

2.2 Simulación del movimiento del soluto

Para la predicción del transporte de la sustancia hipotética en el área urbana y periurbana de la ciudad de Azul, se ha empleado el modelo numérico MODFLOW, desarrollado por el U. S. Geological Survey (McDonald y Harbaugh, 1988), en su versión amigable Visual MODFLOW (Waterloo Hydrogeologic Inc., 2002). El programa simula el movimiento del flujo del agua subterránea a través de un medio poroso y del transporte de un soluto no reactivo, mediante la resolución de las ecuaciones del flujo y transporte por el método numérico de Diferencias Finitas y de las Características (respectivamente).

Previo a las predicciones del transporte, se definió el modelo conceptual de funcionamiento del acuífero en el área de estudio y posteriormente se simuló el movimiento del flujo de agua subterránea. El modelo conceptual –que determina el esquema de funcionamiento del sistema y los elementos que condicionan el flujo– permitió conocer que, a escala local, el flujo está controlado por las recargas y la interrelación del Arroyo del Azul (ver [figura 2](#)) con el acuífero (que en general descarga el arroyo), y en menor escala por el campo de bombeo (ver en misma figura) de la empresa prestataria de suministro de agua por la red domiciliaria (IHLLA, 2003). Posteriormente, se calibró el modelo de flujo en estado estacionario con un excelente ajuste de niveles y con valores calculados para los parámetros coherentes con la información previa, validando el modelo original de funcionamiento del sistema propuesto.

El estudio del transporte para la sustancia hipotética simula un escenario donde se asume estado estacionario del flujo subterráneo. El mismo se considera preponderantemente advectivo (muy poco dispersivo), es decir, que el soluto viaja principalmente a la velocidad del agua y tiene muy poco intercambio con el medio. Se adopta una dispersividad máxima de 5 m. El ingreso de la sustancia hipotética se simula como proveniente de dos fuentes puntuales de emisión continua de

concentración 100 %, estudiándose la variación espacial porcentual de su concentración para tres periodos temporales: 1 año, 10 años y 20 años, siendo estos porcentajes la base para estimar cuantitativamente su concentración. En la [figura 3](#) se muestra en detalle la zona de estudio, con la discretización espacial adoptada (celdas de 50 m), los puntos de observación en general someros, los pozos de explotación de la CEAL (entidad intermedia a cargo de la captación y distribución de agua potable en la ciudad), y las zonas de inyección de la sustancia. Los resultados de la simulación del transporte, también se presentan en la [figura 3](#).

4. Resultados

La [figura 4](#) muestra la distribución del riesgo por la sustancia hipotética en los polígonos del área estudiada, para los tres horizontes temporales: 1 año, 10 años y 20 años. En la [tabla 1](#) se brindan datos comparativos de las tres situaciones en cuanto a cantidad de polígonos y la superficie total afectada según nivel de riesgo a la sustancia hipotética.

Los resultados confirman una tendencia hacia el agravamiento general cuanto mayor es el lapso considerado, visto no sólo en un incremento de la extensión del área afectada (mayor número de polígonos), sino también por un aumento en la cantidad de polígonos con niveles de riesgo mayores, aunque en este último aspecto, no existen mayores diferencias entre el lapso de 10 y el de 20 años. En la [figura 4](#) se presentan los niveles de riesgo por polígonos por la sustancia hipotética y sin considerar el riesgo "de fondo", para los tres horizontes temporales recién mencionados.

Cuando se considera el riesgo "de fondo", los niveles se incrementan ostensiblemente, tal como muestra la [figura 5](#). Mientras en la situación previa la mayor proporción de polígonos se hallaban por debajo de la unidad, ahora no existen polígonos con niveles de riesgo no atendible. Este caso, obviamente, sigue la tendencia temporal hallada para la sustancia hipotética considerada individualmente.

Bajo un esquema de riesgo conjunto (sustancia hipotética más el riesgo "de fondo"), a 1 año, existirían 562 personas en situación de riesgo atendible, mientras que a 10 y a 20 años, serían 1.008 y 1.080, respectivamente, las personas bajo esa condición.

La tenencia de agua corriente impediría la exposición, y por lo tanto el riesgo, debido a que este se genera en la captación domiciliar de agua subterránea somera y no en la que se capta para suministro de la red. Entonces, en la [figura 6](#), se muestran los polígonos en que no se cuenta con agua corriente y que se hallan poblados, lo cual proporciona el número real de personas expuestas. Esta situación, para el escenario a 10 años, involucra a 37 niños y 85 adultos, lo cual corresponde al 3,6 y 2,7 % de la población de niños y adultos respectivamente del área de estudio. La existencia de polígonos completamente despoblados (19) evidencia que se trata de un área no consolidada de la ciudad.

4. Análisis y discusión

El planteo del análisis de riesgo bajo un entorno SIG como el que se plantea, además de ser un monitor espacial de la calidad de los recursos hídricos (Peluso *et al.*, 2003a), permite evaluar otras alternativas, por ejemplo, al formar parte de otro tipo de estudios como podría ser la planificación urbana. Por dar un ejemplo, del estudio se extrae claramente la ubicación y el nivel de prioridad de obras de extensión de la red de agua corriente en el área. Si bien el mayor número de polígonos se halla poblado y con agua de red, siempre existe la posibilidad del uso del agua subterránea para el llenado de piletas o para el riego de huertas y jardines, con lo que la posibilidad de exposición se mantiene.

Los resultados indican que la integración de los procesos de transporte con los estudios de riesgo en un soporte SIG no sólo es posible, sino que pueden convertirse en adecuadas herramientas analíticas prospectivas. Esta combinación metodológica permite plantear escenarios futuros de manera explícita, lo cual es valioso para la gestión. Aunque las metodologías de análisis de riesgo aún se consideran en fases iniciales de desarrollo y con cierta incertidumbre (Cranor, 1995), su interés radica en que pueden plantearse como estudios "preventivos" (Peluso *et al.*, 2003b), de interés para la planificación.

En la Argentina recién se están dando los pasos preliminares en el desarrollo y aplicación de los análisis de riesgo sanitario, y por tanto existiría una cierta vacancia en la generación de herramientas analíticas adecuadas a los sistemas de administración ambiental locales. Esta aplicación es un paso hacia la sistematización de la información buscando que los elementos que aportan a la caracterización del riesgo sean lo más objetivos y evidentes posibles para el sistema de gestión. Con esto se intenta hacer un aporte superador a las críticas contra las evaluaciones de riesgo sanitario tradicionales, y también para la políticas de descentralización o de una gestión integrada de los recursos hídricos (IDB, 1999; Usunoff y Peluso, 1998; Usunoff *et al.*, 2000; Peluso *et al.*, 2003c).

5. Conclusiones

Conocer la extensión de la calidad degradada del medio hídrico subterráneo en un entorno SIG junto con la potencialidad de causar efectos a la salud permiten mayores opciones para la toma de decisiones. Estas capacidades se amplían si se pueden emplear estudios prospectivos.

La integración de los procesos de transporte con los estudios de riesgo en un soporte SIG no sólo es factible sino que proporciona herramientas analíticas prospectivas adecuadas. Es oportuno su desarrollo debido a que en la Argentina este tipo de estudios recién se están implementando, por lo que resulta un aporte técnico novedoso y útil para la gestión de los recursos hídricos.

Referencias bibliográficas

- Barnes, D., (1988): "Reference Dose (RfD): Description and use in health risk assessment", *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 8, pp. 471-486.
- Cranor C., (1995): "Some generic strategies for addressing uncertainty in risk assessment", en Reichard, E. G., and Zapponi, G. A., (Eds.): *Assessing and managing health risks from drinking water contamination: approaches and applications*. IAHS, Publ. 233, pp. 195 – 207.
- CRARM, (1997): *Risk assessment and risk management in regulatory decision-making*. Presidential/Congressional Commission on Risk Assessment and Risk Management, U.S.A. Final Report. Volume 2.
- Di Mauro, C., Hoogerwerf, M. y Sinke, A. (2000): "A GIS-based risk assessment model: application on sites contaminated by chlorinated solvents and petroleum hydrocarbons (BTEX)". *GIS/EM4 Nro 168. 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modelling (GIS/EM4): Problems, Prospects and Research Needs*. Banff, Alberta, Canadá.
- ESRI, (1996): *Using ArcView GIS*. Redlands, Environmental Systems Research Institute, Inc.
- Fedra, K., (1998): "Integrated risk assessment and management: overview and state-of-the-art", *Journal of Hazardous Materials*, 61, pp. 5 – 22.
- Golden Software Inc. (1999): *Surfer (Surface Mapping System) 7.00*.
- Goovaerts, P. (1997): *Geostatistics for natural resources evaluation*. Applied Geostatistics Series. Oxford University Press, Inc. USA.
- Hay Wilson (2000): *A spatial environmental risk assessment methodology for risk-based decision making at large, complex facilities*. PhD dissertation. The University of Texas at Austin, U.S.A.
- IDB (1999): *Integrated Water Resources Management: Institutional and Policy Reform*. Proceedings of the Workshop of Port of Spain Trinidad Tobago (June 24-27, 1997). Environment Division, Social Programs and Sustainable Development Department, Inter-American Development Bank, Washington, D.C.
- 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.
- Isaaks, E. y Srivastava, M. (1989): *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press, Inc. USA.
- Korre, A., Durucan, S. y Koutroumani, A.(2002):"Quantitative-spatial assessment of the risks associated with high Pb loadas in soils around Lavrio, Greece", *Applied Geochemistry* 17, pp. 1029–1045.
- McDonald, M. y Harbaugh, A. (1988): *MODFLOW, A modular three- dimensional finite difference ground-water flow model*. Washington, DC., U. S. Geological Survey, Open-File Report 83-875, Chapter A1.
- NRC (1983): *Risk assessment in the federal government: managing the process*. Washington DC, National Research Council, National Academic Press.
- Peluso, F., Gonzalez Castelain, J. y Usunoff, E. (2001):"Simple methodology for assessing groundwater - related environmental risk in Salliqueló town, Argentina", *Journal of Environmental Hydrology*, Paper 5, 9, pp. 1-9.
- Peluso, F., Usunoff, E. y González Castelain, J.(2003a):"El análisis de riesgo a la salud como monitor de la calidad de los recursos hídricos usados con fines consuntivos", *Memorias del I*

Peluso, F., Cazenave, L. y Usunoff, E. (2004): "Análisis areal y prospectivo de riesgo sanitario incorporando modelos de transporte de solutos en aguas subterráneas", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 166-178. ISSN: 1578-5157

Seminario Hispano-Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea, Tomo 2, pp. 415-421.

Peluso, F., Usunoff, E. y González Castelain, J. (2003b) "Metodología de análisis del riesgo de los recursos hídricos usados con fines recreativos. Caso del Arroyo del Azul, Argentina", *Cuadernos de CURIHAM* (en prensa).

Peluso, F., Usunoff, E. y Entraigas, I. (2003c): "Integración de parámetros socioeconómicos en estudios espaciales de riesgo sanitario mediante el uso de herramientas multicriterio", *GeoFocus*, 3, pp. 186-198. www.geo-focus.org

Samper Calvete, F. y Carrera Ramírez, J. (1990): *Geoestadística. Aplicación a la hidrología subterránea*. Barcelona, Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Universidad Politécnica de Cataluña.

USEPA (1996): *Guidelines for exposure assessment*. Washington DC.U.S. Environmental Protection Agency. Fed. Reg. 57:22888 – 22938.

USEPA (1999): *Guidance for conducting health risk assessment of chemicals mixtures*. Washington DC.U.S. Environmental Protection Agency. NCEA-C-0148,

Usunoff, E. y Peluso, F. (1998): "Análisis de la propuesta de regulación de los recursos hídricos en la provincia de Buenos Aires, Argentina", *Cuadernos del CURIHAM*, 4, pp. 1-12.

Usunoff, E., Peluso, F., González Castelain J. y Miranda M. (2000): "Hacia la gestión integrada de los recursos hídricos en la Provincia de Buenos Aires, Argentina" *Actas de 1st. Joint World Congress on Groundwater*, Fortaleza, Brasil.

Waterloo Hydrologic Inc. (2002): *Visual MODFLOW Pro user's manual*. Ottawa, Waterloo Hydrologic Inc.

TABLAS

Tabla 1. Número de polígonos y superficie del área de estudio afectada según diferentes condiciones de riesgo (Menor a 1 o "riesgo no atendible", y mayor o igual a 1 o "riesgo atendible") por la sustancia hipotética y sin considerar el riesgo "de fondo", para tres horizontes temporales.

Condiciones De Riesgo	1 año		10 años		20 años	
	Número de polígonos	Superficie Afectada (Km ²)	Número de polígonos	Superficie Afectada (Km ²)	Número de polígonos	Superficie Afectada (Km ²)
Riesgo < 1	67	0,80	98	1,41	105	1,41
Riesgo ≥ 1	7	0,24	14	0,35	12	0,38

Peluso, F., Cazenave, L. y Usunoff, E. (2004): "Análisis areal y prospectivo de riesgo sanitario incorporando modelos de transporte de solutos en aguas subterráneas", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 166-178. ISSN: 1578-5157

FIGURAS

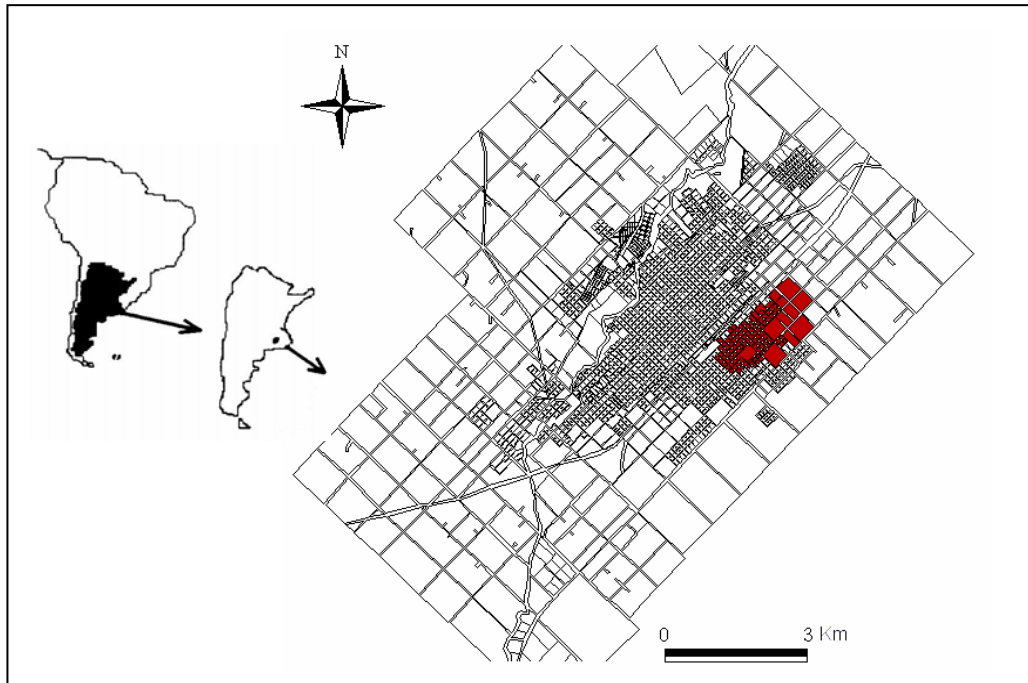


Figura 1. Planta urbana y periurbana de la ciudad de Azul, Argentina, señalando, en color rojo, el área de estudio. Cada polígono representa una subunidad catastral.

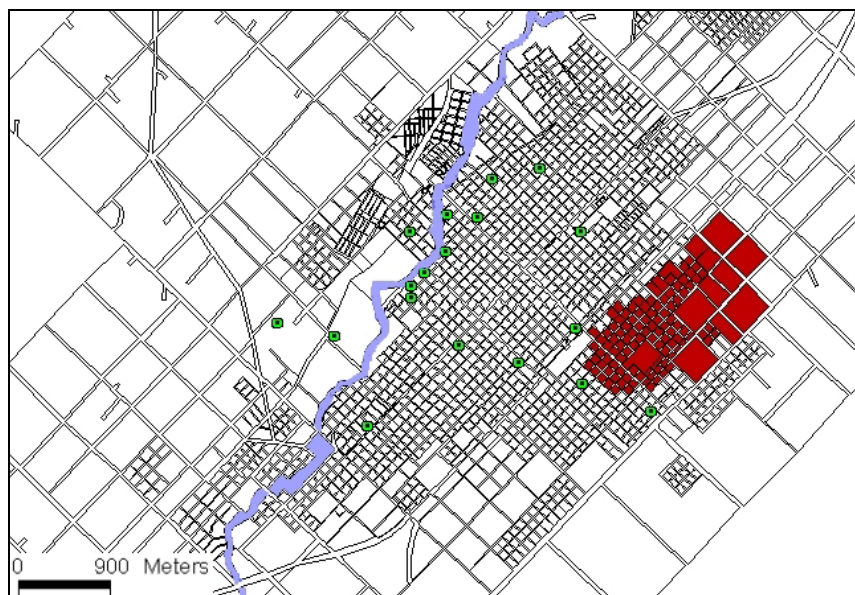


Figura 2. Detalle de la anterior, mostrando en color azul el Arroyo Azul y como puntos verdes, el campo de bombeo.

Peluso, F., Cazenave, L. y Usunoff, E. (2004): "Análisis areal y prospectivo de riesgo sanitario incorporando modelos de transporte de solutos en aguas subterráneas", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 166-178. ISSN: 1578-5157

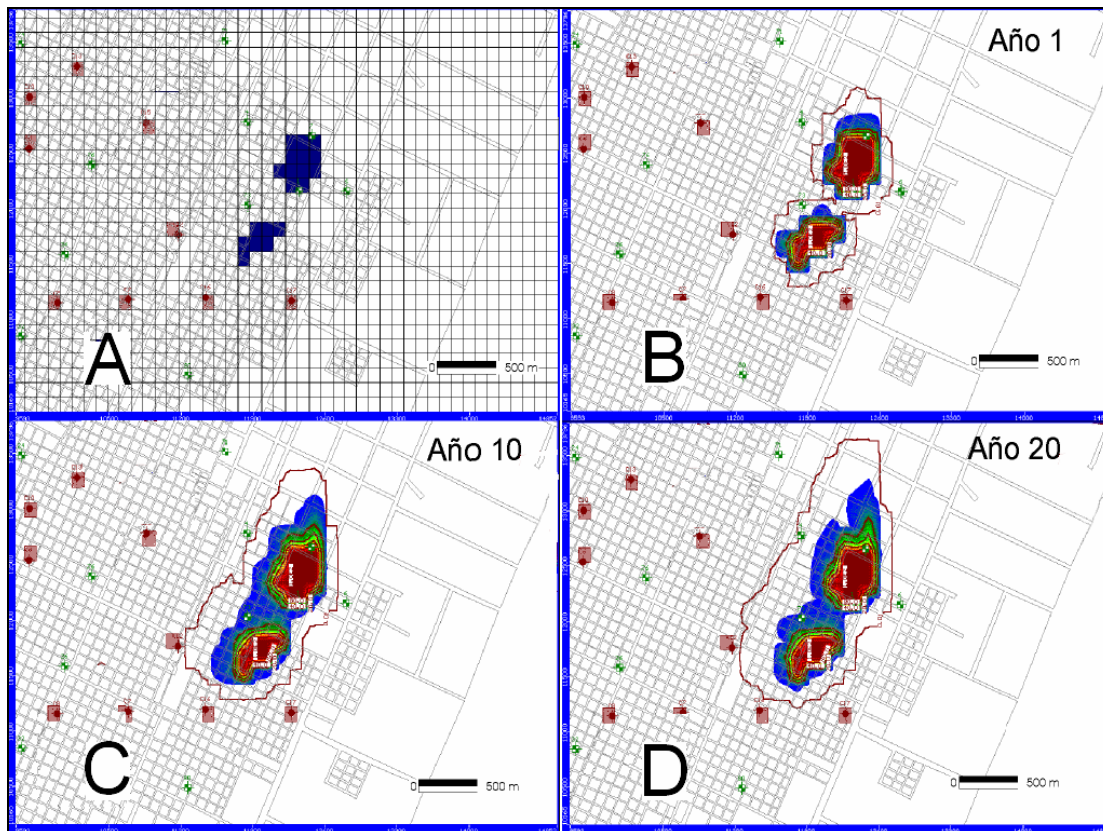


Figura 3. Modelo de transporte de soluto. A: Malla con las zonas de ingreso del contaminante (sustancia hipotética, azul), los puntos de observación (verde) y los pozos de bombeo de la empresa prestataria de suministro de agua por la red (rojo). **B a D:** Plumas de la sustancia hipotética en el acuífero a 1, 10 y 20 años. Los colores (de rojo a azul) refieren concentraciones porcentuales decrecientes.

Peluso, F., Cazenave, L. y Usunoff, E. (2004): "Análisis areal y prospectivo de riesgo sanitario incorporando modelos de transporte de solutos en aguas subterráneas", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 166-178. ISSN: 1578-5157

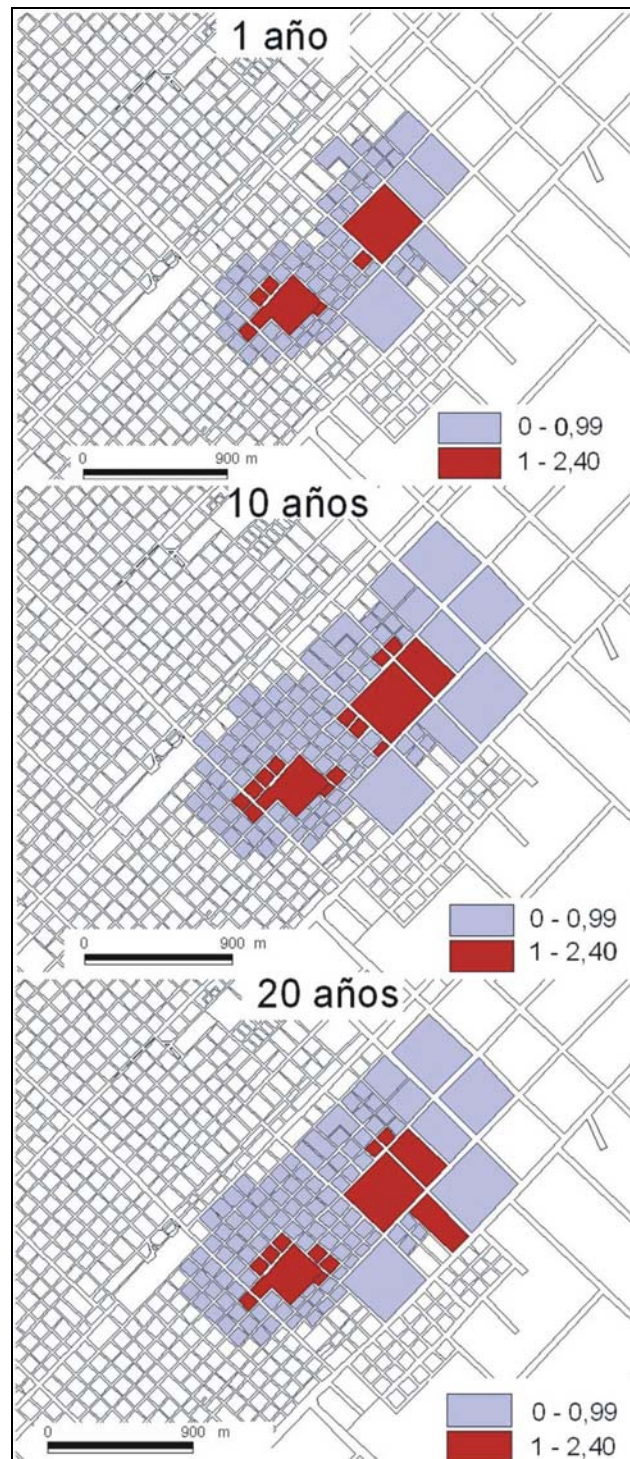


Figura 4. Comparación de los niveles de riesgo por la sustancia hipotética y sin considerar el riesgo “de fondo”, para tres horizontes temporales.

Peluso, F., Cazenave, L. y Usunoff, E. (2004): "Análisis areal y prospectivo de riesgo sanitario incorporando modelos de transporte de solutos en aguas subterráneas", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 166-178. ISSN: 1578-5157

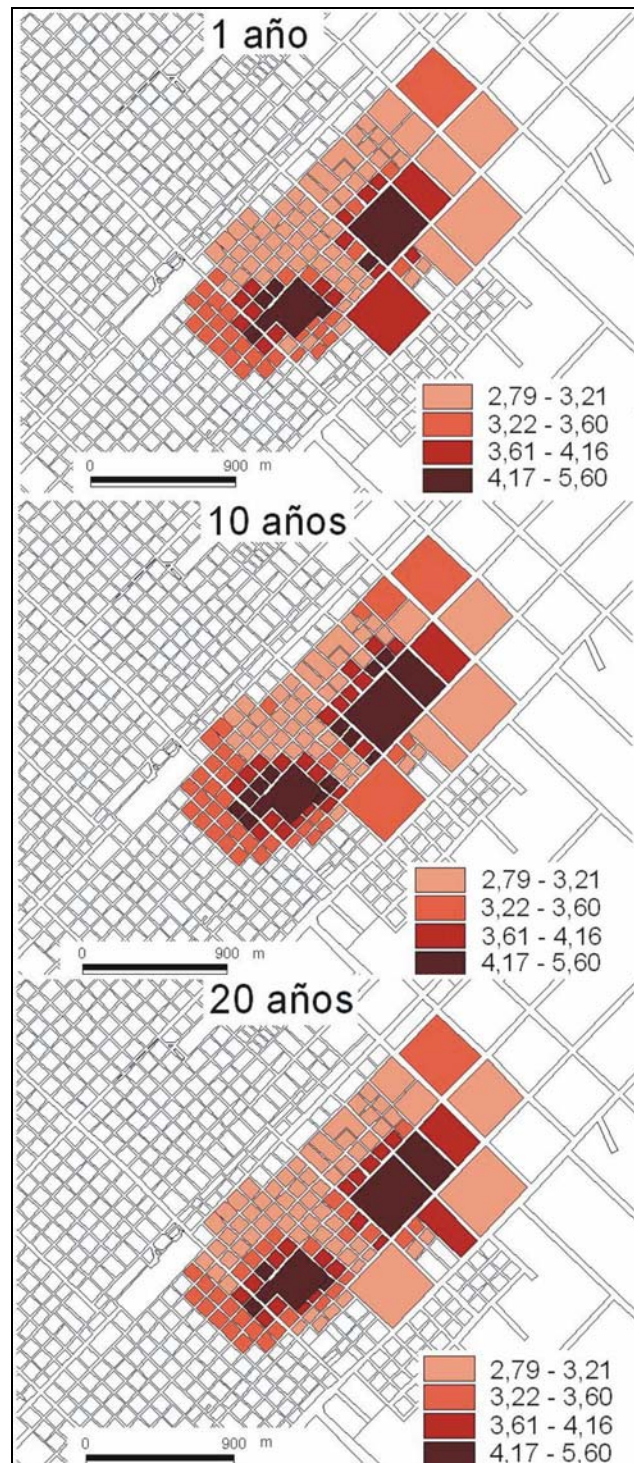


Figura 5. Comparación de los niveles de riesgo por la sustancia hipotética considerando el riesgo “de fondo”, para tres horizontes temporales.

Peluso, F., Cazenave, L. y Usunoff, E. (2004): "Análisis areal y prospectivo de riesgo sanitario incorporando modelos de transporte de solutos en aguas subterráneas", GeoFocus (Artículos), n° 4, p. 166-178. ISSN: 1578-5157

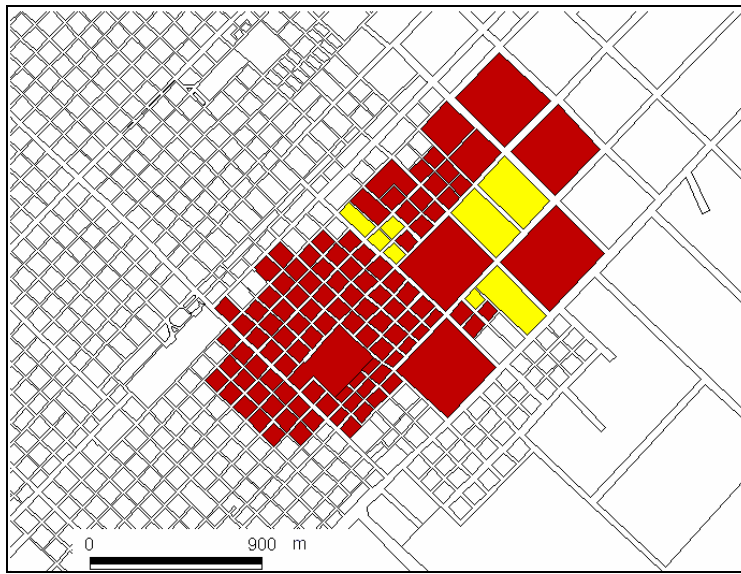


Figura 6. En amarillo, polígonos poblados del área de estudio que no disponen de agua corriente.