

Estudio de caso para la delimitación y diagnóstico de áreas de protección de captación para el abastecimiento público en el Sistema Acuífero Guaraní.

Autores: Eduardo J. Dose¹; Karim Musálem; Elio Romero; Rodrigo Rivero; Lorenzo Martinez

Resumen

Con el objetivo de demarcar y diagnosticar las áreas mínimas de protección a las fuentes de abastecimiento de agua, se realizó un análisis espacial basado en información hidrogeológica en base a modelos analíticos y supervisión en campo. En forma preliminar, se recurrió a la metodología GOD (por sus siglas en inglés) para la estimación de la vulnerabilidad del acuífero en general de la región. Como procedimiento principal, se recurrió al cálculo del radio fijo en función del tiempo de tránsito para 24 horas y 50 días y al método de Wyssling para determinar las áreas de protección. Los resultados indican que existe un conflicto entre las áreas mínimas de protección y las actividades desarrolladas dentro de ellas, también soportado por el análisis de calidad de agua de terceros autores que indican contaminación en el área (Fósforo y E. Coli). La información generada en este trabajo brinda recomendaciones concretas dirigidas al manejo de las áreas de protección, soportada con datos biofísicos, que indican la necesidad de acciones para detener la degradación de la calidad de agua del acuífero y reducir los posibles efectos negativos a los habitantes de la región.

Palabras clave: Paraguay, Sistema Acuífero Guaraní, Vulnerabilidad

Abstract

It was carried out a spatial analysis using hydrogeological information and field observation to define and diagnose minimum protection areas of water sources for human consumption. Preliminarily, GOD methodology was used to determine groundwater vulnerability. Furthermore, as a main procedure, fixed radio calculations were used for 24 hours and 50 days as well as Wyssling methodology to determine protection areas. The results indicate that there is a conflict of the defined protection areas and the activities currently taking place within, also supported by water quality analysis carried out by third authors which indicate contamination in the area (Phosphorus and E. Coli). The information generated from our work represents concrete recommendations directed to the management of the protection areas supported by biophysical data, indicating the need for actions to be taken to stop degradation of water quality of the aquifer and reduce the possible negative effects on the inhabitants of the region.

Key words: Paraguay, Guaraní Aquifer System, Vulnerability.

¹Profesor Investigador de la UNI
e-mail: edudose@gmail.com

Recibido: 27/02/2015 Aceptado: 27/10/2015

Introducción

El agua subterránea constituye la reserva más grande de agua dulce del mundo, contabilizando un 97 % de toda el agua dulce disponible en el planeta sin incluir glaciares y los hielos polares. El 3 % restante está compuesto principalmente por agua superficial (lagos, ríos, y humedales) y la humedad presente en el suelo (Quevauviller, 2008). A pesar de su relevancia, la contaminación del agua subterránea se ha convertido en un problema cada vez más crítico, considerando que una vez que un acuífero se ha contaminado, su limpieza se vuelve impracticable y las posibilidades de remediación implica altos costos económicos (Wang y Mulligan, 2006). El agua subterránea es un "recurso oculto" que cuantitativamente es mucho mayor que el agua superficial y para el cual las medidas de prevención a contaminarse, el monitoreo de calidad y la restauración son aún más difíciles que las aguas superficiales debido a su inaccesibilidad (Quevauviller, 2008). La prevención de la contaminación del agua subterránea es crítica también dada la incertidumbre de los cambios climáticos futuros (Babiker et al., 2005), donde su manejo y mantenimiento se perfila como una estrategia adaptativa ante fenómenos meteorológicos extremos asociados al cambio climático (Bergkamp et al., 2003, Quevauviller, 2008). A nivel país, el 80% del agua potable en Paraguay es obtenida de acuíferos subterráneos, constituyéndose como un recurso vital para el desarrollo socioeconómico de la región. Cabral (2005) estima que por lo menos el 38% de la población del país depende del Sistema Acuífero Guaraní y que algunas características particulares de la región, como la producción agrícola intensiva y otras actividades humanas podrían suponer un riesgo a la calidad del agua subterránea. Es así que la protección de los recursos hídricos y de su calidad se presenta como una medida ineludible para contrarrestar o evitar los efectos de la contaminación y mantener o mejorar la calidad de vida de los habitantes de la región. El Departamento de Itapúa, por su parte, se encuentra entre los departamentos de mayor uso de las aguas subterráneas para el abastecimiento, en un orden del 95% (DRH - SENASA, 2005 in PNUD, 2006) y es una de las regiones con mayor crecimiento económico del Paraguay.

El presente trabajo pretende identificar y

caracterizar zonas de protección para la captación de aguas subterráneas de abastecimiento público en un área urbana asentada sobre el Sistema Acuífero Guaraní (SAG), considerando que éstas evaluaciones son fundamentales para formular estrategias o medidas correctivas y preventivas que atiendan el manejo del recurso hídrico, en base a su vulnerabilidad, la información hidrogeológica disponible y las potenciales amenazas de contaminación. Como estudio de caso, se ha elegido el área urbana del Distrito de Hohenau en Paraguay, que pretende ejemplificar lo que sucede en una región de dependencia absoluta del SAG para su abastecimiento y por otro lado presenta niveles relativamente altos de crecimiento poblacional y económico, en condiciones geológicas de basaltos y afloramiento de areniscas. Como estudio de caso, permite ofrecer un primer acercamiento al establecimiento de áreas de protección para zonas con una problemática similar que podrían derivar en normativas o protocolos para la protección de áreas de abastecimiento a nivel nacional y/o regional.

Materiales y Métodos

El acuífero Guaraní posee un área de 1,2 millones de km² y se encuentra en la cuenca geológica sedimentaria del Paraná, abarcando gran parte del Brasil, Paraguay, Uruguay y Argentina. Constituye una importante reserva de agua subterránea para América del Sur. La población que vive en el área del acuífero está estimada en 29.9 millones de habitantes y es aquí donde se concentran las zonas agropecuarias más importantes de cada país (Boscardin et al., 2004). Particularmente, el área urbana del Distrito de Hohenau, donde se ubica el presente estudio de caso, cuenta con un 100% de abastecimiento hídrico subterráneo y una creciente expansión en su núcleo poblacional. Se encuentra además, en una zona de transición entre el afloramiento de areniscas y su confinamiento por el basalto (SAG, 2008). Un estudio llevado adelante por la Cooperación Técnica Alemana, la Secretaría del Ambiente de Paraguay (SEAM) a través de la Dirección Gral. de Protección de los Recursos Hídricos (DGPCRH) y el Consejo de Aguas del A^o Capiibary en el año 2008 y publicado recientemente, ha revelado elevadas concentraciones bacteriológicas y de fósforo en pozos para el abastecimiento público en zonas urbanas de la cuenca del Arroyo Capiibary,

incluyendo la zona urbana del distrito de Hohenau, que podrían afectar directamente a la población dependiente de este recurso (SEAM-BGR, 2012).

La metodología utilizada partió de las siguientes etapas aplicadas al área urbana asentada sobre el SAG como estudio de caso: 1) la identificación de pozos de abastecimiento de agua para el área urbana del distrito de Hohenau, 2) la estimación de tipos de acuíferos y parámetros hidráulicos en acuíferos utilizados para la extracción, 3) un análisis preliminar de la vulnerabilidad del acuífero en el área de estudio a través del método GOD, 4) la delimitación de las zonas de protección de los 50 días y 24 horas para cada pozo de abastecimiento en base a modelos analíticos y finalmente 5) la identificación de potenciales agentes contaminantes (puntuales y difusos) dentro de las zonas de protección. El procedimiento de análisis del presente trabajo consta de tres partes interrelacionadas, un indicador de vulnerabilidad, un análisis cuantitativo en base a modelos analíticos para la demarcación de los perímetros de protección y una evaluación cualitativa complementaria.

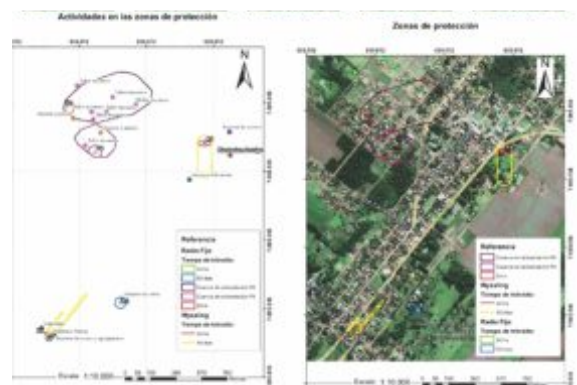
El mapeo local de la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas en el área de estudio se realizó mediante la extracción de subíndices a partir de los perfiles geológicos de cada pozo tubular. Se procedió al mapeo de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos a través del índice GOD (Foster et al., 2002). Se evaluaron el grado de confinamiento hidráulico, la ocurrencia del sustrato supra-yacente y la distancia al nivel del agua subterránea o al techo del acuífero. La demarcación de perímetros de protección de la captación de aguas subterráneas se hizo para 6 (seis) pozos tubulares. Éste cálculo analítico requirió de datos de estimación de recarga, bombeo, parámetros hidráulicos del acuífero y topografía en el área de cada pozo tubular. En función a dos modelos analíticos, dos establecidos para acuíferos homogéneos y otro para acuíferos fracturados, se procedió a la estimación de las áreas de protección de los 50 días, 24 horas y cuencas de captación para los 6 (seis) pozos tubulares que abastecen a la zona urbana de Hohenau, de los cuales 4 (cuatro) se encuentran sobre arenisca (formación Misiones) y 2 (dos) sobre roca basáltica (formación Alto Paraná). Finalmente, se procedió a la identificación y geo-referenciación en campo de las actividades que actualmente se desarrollan dentro de las zonas de protección

propuestas para cada pozo de abastecimiento. Este análisis fue de tipo cualitativo y no expone detalles sobre el manejo de las actividades clasificadas como potenciales contaminantes.

Resultados

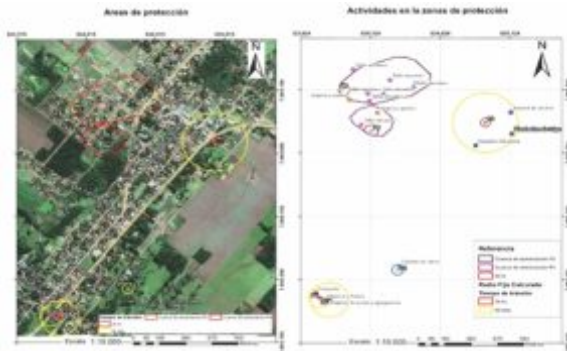
Los resultados se presentan a continuación de manera necesariamente gráfica, al tratarse de un análisis primordialmente espacial. Ya que se tratan de diferentes formaciones geológicas, se utilizaron métodos ad hoc a cada pozo, dependiendo de su ubicación. Los mapas presentados a continuación incluyen la delimitación a 24 horas y 50 días, adicionalmente, se presentan (en puntos) las actividades identificadas en campo y georeferenciadas, este cruce (áreas de protección vs actividades) se presenta en las Figuras 1 y 2 junto con el detalle de los métodos utilizados así como una sobreposición de los límites con una imagen satelital de Google Earth.

Figura 1. Actividades identificadas en perímetros de protección calculadas para 24 horas y 50 días a través de los métodos aplicados. Se utilizaron diferentes métodos dependiendo de las diferentes condiciones geológicas: para los pozos 1, 5 y 3 por método de Wyssling en Formación Misiones (Areniscas). Para los pozos 4 y 6 a través de la estimación de la cuenca de captación en Formación Alto Paraná (Basaltos) y para el pozo 2 a través de radio fijo calculado (No satisfizo los datos requeridos por los otros modelos analíticos).



Fuente: Elaboración Propia en base a Google Earth.

Figura 2. Actividades identificadas en perímetros de protección para 24 horas y 50 días a través de radio fijo calculado. Pozos 1, 2, 3, y 5 en la Formación Misiones (Areniscas) y para los pozos 4 y 6 a través de la estimación de la cuenca de captación en la Formación Alto Paraná (Basaltos).



Fuente: Elaboración Propia en base a Google Earth.

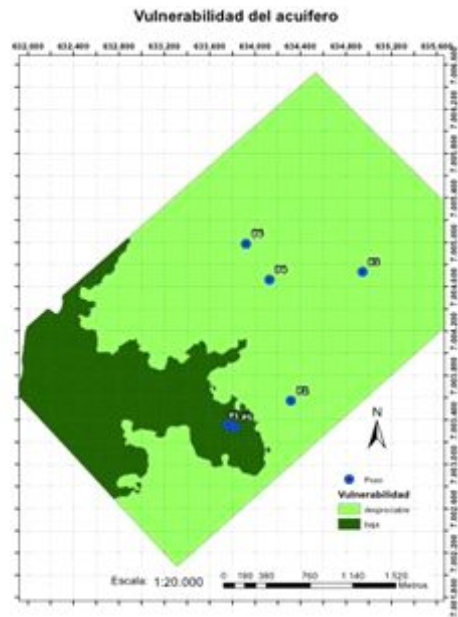
Ya que se cuenta con cobertura de la red de alcantarillado para todos los pozos estudiados con excepción del pozo 6 se presenta sólo este caso particular (Figura 3). Finalmente, la Figura 4, presenta el resultado de la aplicación del modelo GOD para la determinación de la vulnerabilidad del acuífero.

Figura 3. Identificación de áreas sin conexión a la red de alcantarillado sanitario perteneciente al perímetro de protección del pozo N° 6. Los pozos 1, 2, 3, 4, y 5, cuentan con una cobertura del 100% de alcantarillado sanitario.



Fuente: Elaboración Propia en base a Google Earth.

Figura 4. Vulnerabilidad a contaminación al acuífero según el modelo GOD (Foster et al. 2002), Los pozos 1 y 5 se encuentran en la categoría "baja", mientras que los pozos 2, 3, 4 y 6 se encuentran en la categoría "despreciable".



Fuente: Elaboración Propia.

Resultados

Sobre el análisis de vulnerabilidad, los valores obtenidos en la aplicación del modelo de vulnerabilidad GOD no coinciden necesariamente con los resultados obtenidos con el modelo DRASTIC (Aller et al. 1987) aplicado por Laino (2006) a escala de la cuenca del Arroyo Capiibary. Laino (2006) estimó un 36% del área de la cuenca como de vulnerabilidad "baja" y 64% como "media" y "alta". A pesar de ello, estas diferencias no se deben a resultados discrepantes, si no a diferencias en la categorización, ya que DRASTIC no propone categorías absolutas para la interpretación de los valores obtenidos y en cambio sí considera una categorización relativa (del área de estudio analizada). Otros estudios en cuencas vecinas al Arroyo Capiibary, que también aplicaron el modelo GOD, obtuvieron casi la totalidad del área estudiada (96%) con valores de "vulnerabilidad moderada" y un 4 % de vulnerabilidad alta. A pesar de la cercanía con nuestra área de estudio, algunas características hidro-geológicas diferentes pueden estar influenciando en la estimación, especialmente la variable de profundidad del acuífero. Algunos

autores, por ello, destacan la necesidad de contar con categorías que sean fácilmente comparables entre e intramodelos (Musalem, 2009).

Localmente, la noción del ideal técnico (obtenido a través de este trabajo por medio del método de Wyssling) es incompatible con la realidad de protección de las áreas de captación y las actividades que se desarrollan en ellas (observado en campo). Es prudente analizar las causas que puedan haber inferido en la situación actual detectada; por ejemplo, se puede mencionar que al no disponer de este tipo de información a su debido tiempo, es natural que las autoridades municipales no hayan generado ningún tipo de normativas regulatorias de las actividades, presentadas como proyectos a aprobar, en las zonas de protección. De la misma manera, se intuye que los administradores del saneamiento (JS) no hayan tenido en cuenta, hasta ahora, las actividades que se desarrollan en los lugares previstos para nuevas perforaciones de pozos tubulares para el abastecimiento y que puedan significar algún tipo de riesgo para la calidad.

Conclusión

Los datos disponibles han sido suficientes para desarrollar modelos analíticos a fin de estimar los índices de vulnerabilidad del acuífero, el área de captación, y perímetros de protección en base al tiempo de tránsito en 50 días y 24 hs. Sin embargo, el presente cálculo de estimación se considera como un primer acercamiento y puede ser mejorado con la adición de más datos, más precisos que pueden obtenerse de diversos tipos de estudios (trazadores, pozos de monitoreo, entre otros), y la utilización de modelos numéricos (MODFLOW, FEFLOW). A pesar de estos posibles futuros avances en la precisión de los métodos, el análisis de la situación de pozos tubulares localizados en medios urbanos ha resultado en la identificación de diferentes tipos de actividades que pudieran significar peligros de contaminación al agua subterránea y que implicaría, por lo menos, impostergables acciones precautorias (paralelas) para disminuir el riesgo de contaminación.

A pesar que los resultados de los índices de vulnerabilidad del acuífero han resultado de vulnerabilidad "baja" para el acuífero de extracción de los pozos 1 y 5 y de vulnerabilidad "despreciable" para el acuífero correspondiente a los pozos 2, 3, 4 y 6, los

estudios de calidad de agua realizados en la BGR-Hannover (SEAM-BGR, 2012) que abarcaron el área urbana de Hohenau, revelaron la presencia de altas concentraciones de E. coli, coliformes totales y fósforo, brindando en conjunto con los resultados del presente estudio, indicios válidos para fundamentar acciones que atiendan la problemática de contaminación del acuífero.

En cuanto a la alta concentración de fosfato en el área urbana, el trabajo de investigación de la calidad del agua perteneciente a la cooperación técnica alemana BGR fundamenta que "es muy probable que esta no provenga de fertilizantes, sino de productos de limpieza y detergentes"; en ese sentido, la identificación de lavaderos vehiculares localizados en los perímetros de protección se podrían presentar como la posible causa, a pesar de ello es necesario precisar esta relación en futuros trabajos.

Bibliografía

Aller, L., Bennett, T., Lehr, J., Petty, R. And Hacket, G. Drastic (1987). A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. 600/2-87/035. Dublin, Ohio, 455 pp.

Babiker, I.S., Mohamed A.A.M., Hiyama, T. And Kato, K.A (2005). GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan. Science of The Total Environment. Vol. 345, num. 1, 2005, pp. 27-140.

Bergkamp, G., Orlando, B., Burton, I. (2003). Change: Adaptation of water management to climate change. UICN. Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 53 p.

Boscardin, N., Borghetti, J., Rosa, E., (2004) Acuífero Guaraní: A verdadeira integração dos países do Mercosul. Curitiba.

Cabral, A. (2005) Uso sustentable del Sistema Acuífero Guaraní (Sustainable use of the Guaraní Aquifer System). Informe del Proyecto. SAG-PY. Asunción, Paraguay, 11 pp.

Foster, S., Hirata, R., Gomez, D., D'elia, M. Paris, M. (2002). Groundwater Quality Protection: a guide

for water utilities, municipal authorities, and environment agencies, ed. Groundwater Management Advisory Team (GW MATE). Washington DC, 104 pp.

Laino, R., Jiménez, F., Velázquez, S., Páez, G. And Casanoves, F. (2006). Manejo del recurso hídrico y vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Guaraní en la cuenca del Arroyo Capiibary, Paraguay (Management water resources and pollution vulnerability of the Guaraní aquifer in the watershed of the Capiibary river). Recursos Naturales y Ambiente. Vol. 48, pp. 65-74.

Musalem, K. (2009). Assessing integrated watershed management and spatial groundwater vulnerability to pollution in priority watersheds of the Yacyreta dam in Paraguay. Ph. D. Thesis. University of Wales (Bangor University) - CATIE.UK and CR.

Quevauviller, P. (2008). Groundwater Science and Policy: An International Overview. Royal Society of Chemistry, UK.

SAG. (2008). Avances en el conocimiento del Sistema Acuífero Guaraní. Tomo 8. GEF/OEA. 375 pp.

SAG-PY. (2008). Uso Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní en la Región Oriental en la Región Oriental del Paraguay - Secretaría del Ambiente - Cooperación Técnica Alemana, Informe Técnico, Asunción.

SEAM-BGR. (2012). Proyecto Manejo Sostenible y Protección de las Aguas Subterráneas del Paraguay (PAS-Py). Investigación de la calidad de agua. Cuenca Hídrica del Arroyo de Capiibary, Departamento de Itapúa. Informe Técnico. Paraguay. 62 pp.

Wang, S., C. Mulligan. (2006). Natural attenuation processes for remediation of arsenic contaminated soils and groundwater. Journal of Hazardous Materials. B138 459-470.