



Área temática elegida: Impactos del modelo hegemónico y nuevas tecnologías

Evaluación Hidrogeológica E Isotópica De Capas Acuíferas Y Su Relación Con Presencia De Atrazina En La Planicie Loésica De Córdoba. Argentina

Giacobone D.^{1,2}, Blarasin M.¹, Lutri V.^{1,2}, Cabrera A.³, Cendon D.I.⁴, Currell M.³, Cabrera A.E.¹, Matteoda E.¹ y V. Aparicio⁵

¹: Dpto de Geología. Fac de Cs. Exactas, Físico-Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), Ruta 36. Km 601, Río Cuarto. Cba, Arg. ²: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Arg. ³: School of Engineering, RMIT University, Melbourne, VIC 3001, Aus. ⁴: ANSTO, Lucas Heights, NSW 2234, Aus. ⁵: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA, Balcarce, Bs As, Arg.

Resumen

La presencia de contaminantes en aguas subterráneas es un tema preocupante debido a que constituyen la mayor reserva de agua dulce líquida en el mundo. El objetivo de este trabajo fue evaluar la presencia de atrazina en el acuífero libre y capas acuíferas confinadas de la planicie loésica de Marcos Juárez, relacionando con el modelo hidrogeológico de la región. Para tal fin, también se evaluaron edades radiocarbono (pMC) e isótopos estables del agua ($\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$). Se concluye que hay evidencias del impacto de las prácticas agrícolas actuales en ambos acuíferos, siendo mayor en el acuífero libre que recibe recarga de aguas modernas.

Palabras clave: Acuíferos; herbicidas; edades; impacto.

Abstract: The presence of contaminants in groundwater is matter of concern due to the aquifers constitute the major reserve of liquid fresh water of the world. The objective of this work was to assess the presence of atrazine in the unconfined aquifer and confined aquifer layers of the Marcos Juarez loessic plain linking with the regional hydrogeological model. For this purpose, radiocarbon ages (pMC) and stable water isotopes ($\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$) were also evaluated. It is concluded that there are evidences of the impact of agricultural activities on both aquifers, being higher on the unconfined aquifer that receives modern water recharge.

Keywords: Aquifers; herbicides; ages; impact.

Introducción

La disponibilidad de los recursos hídricos en algunos sectores está disminuyendo debido a la extracción excesiva y la degradación de la calidad del agua. El modelo de agricultura industrializada que conlleva el uso de paquetes de agroquímicos ha generado reconocidos impactos en suelo, aguas superficiales y aguas subterráneas (Lutri et al., 2020, Blarasin et al., 2020a). En nuestro país el herbicida atrazina se aplica en forma extensiva en el cultivo de maíz y sorgo para el control de malezas. En Córdoba, las dosis informadas por los propios productores son de aproximadamente 2 kg/ha o 2,5-3 L/ha en presiembra. Este herbicida presenta baja volatilidad y baja solubilidad, lo que minimizaría su lixiviación. Sin embargo, posee una alta vida media (elevada persistencia) en el suelo y mediana capacidad de adsorción (Koc), por lo cual el potencial de lixiviación es alto. En el presente trabajo se muestran los resultados de una primera etapa de trabajo en la planicie de Marcos Juárez en



donde la principal hipótesis es que el acuífero afectado por plaguicidas es el libre o freático, cuyas aguas son modernas, ya que es más vulnerable a los procesos de contaminación que capas acuíferas más profundas. Así, el objetivo principal es dilucidar los aspectos hidrogeológicos básicos, las relaciones entre las jerarquías de los flujos de aguas subterráneas entre diferentes capas acuíferas, los tiempos de residencia del agua y la presencia de contaminación por atrazina en aguas subterráneas del agroecosistema.

Metodología

La investigación se llevó a cabo en un área de 3.500 km², a partir del análisis y recopilación de cartas topográficas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) e imágenes de satélite (Google Earth, Merit, entre otros). Se recopilaron datos del diseño y litología de los pozos (Secretaría de Recursos Hídricos, Polare (2019) y particulares). El censo se realizó en perforaciones (mayo 2019) que captan de diferentes capas acuíferas (20 del acuífero libre y 10 del sistema acuífero confinado) en las que se midieron nivel freático o piezométrico, dependiendo de la capa evaluada. Se recolectaron 18 muestras de agua (12 del acuífero libre y 6 de capas acuíferas confinadas) y 2 muestras de agua superficial (1 de un canal artificial y 1 del arroyo Tortugas). Las tareas de muestreo siguieron procedimientos estándar que incluyen la medición de parámetros in situ (pH, CE (conductividad eléctrica) y T (temperatura) y análisis de laboratorio de elementos principales (laboratorio del Dpto, de Geología UNRC). Los isótopos estables del agua fueron analizados con espectrometría laser CRDS (cavity ring down spectroscopy) y ¹⁴C con AMS (Accelerator Mass Spectrometre). Atrazina se analizó en en INTA (Instituto de Tecnología Agropecuaria, Balcarce) con UHPLC-MSMS.

Ubicación y descripción del área de estudio

El área de estudio se ubica en la llanura pampeana de la provincia de Córdoba (Argentina, Figura 1.a). Desde el punto de vista geológico, la planicie de Marcos Juárez se caracteriza por una secuencia sedimentaria constituida por sedimentos fluvio-eólicos del período Paleógeno superior-Holoceno (Kröhling y Carignano, 2014). La columna litológica general de la zona se muestra en la Figura 1.b. Los primeros 10 m son limos eólicos arenosos con intercalaciones fluviales, y le siguen 70 m de arenas eólicas muy finas limosas. Estos sedimentos saturados en agua constituyen el acuífero libre o freático. Entre los 80 y 100 m de profundidad se encuentran sedimentos limosos con distinto grado de cementación. Luego, aproximadamente 50 m de intercalaciones de arenas cuarzosas y arenas muy finas limosas-arcillosas de diferente origen (marino /continental) cuyas capas de textura más gruesa son acuíferos confinados en explotación. A partir de los 150 m de profundidad se encuentran arcillas verdes de la Fm. Paraná (ingresión marina Miocena). En relación al uso de la tierra, la principal actividad es la agricultura de secano con siembra directa con intenso uso de agroquímicos. El acuífero libre, está siendo explotado mediante perforaciones que poseen profundidad variada, entre 3 y 60 m, mientras que las perforaciones que explotan el confinado se ubican desde 105 m a 130/150 m de profundidad, destinándose en general al ganado.

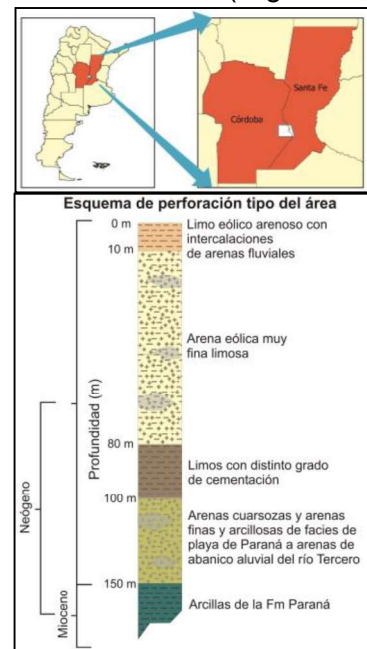


FIGURA 1.a. Ubicación del área. **b.** columna litológica esquemática.



Resultados y discusiones

Potenciales hidráulicos y salinidad de las capas acuíferas

Como se observa en la Figura 2, la conformación geológica-geomorfológica controla la dinámica del flujo de agua. El nivel freático se encuentra en general cercano a la superficie del terreno con profundidades que varían según la topografía desde unos pocos centímetros hasta 8 m. En el acuífero libre el agua fluye con gradiente desde 0,03 a 0,53 % desde la divisoria subterránea local hacia la depresión del Arroyo Tortugas y, parcialmente, hacia el río Tercero. En el sistema acuífero confinado la dirección de flujo del acuífero confinado es NO-SE, prácticamente perpendicular a la del acuífero libre. En la planicie los potenciales hidráulicos del acuífero libre son superiores al nivel piezométrico de las capas confinadas mientras que en la depresión la relación se invierte. En la planicie las perforaciones que captan de las capas confinadas son semisurgentes dado que el nivel piezómetro está por debajo de la superficie del terreno. En la depresión tectónica de San Antonio el nivel piezométrico del sistema confinado supera la superficie del terreno de modo que se trata de área de surgencia, constatada en perforaciones situadas en la cañada o borde de la misma cuyo nivel piezométrico llega hasta 5 m por encima del terreno. El acuífero libre (n=12) posee aguas dulces a saladas (CE desde 449 a 15.130 $\mu\text{s/cm}$). El acuífero confinado (n=6) posee aguas salobres (CE 1.164 a 5.178 $\mu\text{s/cm}$).

La dirección de flujo del acuífero confinado es NO-SE, prácticamente perpendicular a la del acuífero libre. En la planicie los potenciales hidráulicos del acuífero libre son superiores al nivel piezométrico de las capas confinadas mientras que en la depresión la relación se invierte. En la planicie las perforaciones que captan de las capas confinadas son semisurgentes dado que el nivel piezómetro está por debajo de la superficie del terreno. En la depresión tectónica de San Antonio el nivel piezométrico del sistema confinado supera la superficie del terreno de modo que se trata de área de surgencia, constatada en perforaciones situadas en la cañada o borde de la misma cuyo nivel piezométrico llega hasta 5 m por encima del terreno. El acuífero libre (n=12) posee aguas dulces a saladas (CE desde 449 a 15.130 $\mu\text{s/cm}$). El acuífero confinado (n=6) posee aguas salobres (CE 1.164 a 5.178 $\mu\text{s/cm}$).

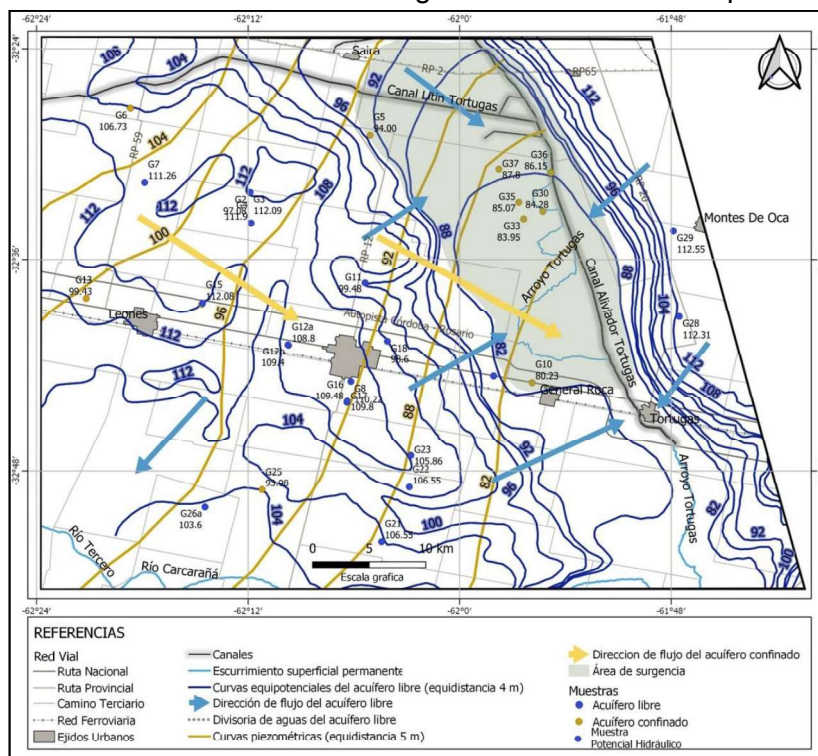


FIGURA 2. Mapa de equipotenciales del acuífero libre y confinado del área.

En la depresión tectónica de San Antonio el nivel piezométrico del sistema confinado supera la superficie del terreno de modo que se trata de área de surgencia, constatada en perforaciones situadas en la cañada o borde de la misma cuyo nivel piezométrico llega hasta 5 m por encima del terreno. El acuífero libre (n=12) posee aguas dulces a saladas (CE desde 449 a 15.130 $\mu\text{s/cm}$). El acuífero confinado (n=6) posee aguas salobres (CE 1.164 a 5.178 $\mu\text{s/cm}$).

Isótopos: isótopos estables del agua y edades radiocarbono

Al contrastar los datos isotópicos con la recta meteórica local de Canals (datos 2012-2014) en el gráfico de $\delta^2\text{H}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ (Figura 3, Blarasin et al., 2020b) se observa que los resultados de laboratorio se agrupan en dos conjuntos de datos fácilmente diferenciables:

1. Acuífero libre: las muestras son isotópicamente más enriquecidas y más cercanas al promedio de lluvias locales, indicando su origen. Algunas muestras (G3, G7 y G12) se alinean según una recta de evaporación, evidenciando que opera el mecanismo de fraccionamiento isotópico por evaporación de agua desde el acuífero en zonas de nivel freático muy cercano a superficie, siendo en G3 más evidente por estar el agua subterránea casi aflorando. La muestra de agua superficial del canal (S2) cae dentro del grupo, evidenciando que el caudal de base es aportado por el acuífero libre.

2. Sistema acuífero confinado:

agrupa las muestras más empobrecidas isotópicamente, lo que permite pensar en áreas de recarga pedemontanas o incluso recarga en épocas más frías que incidieron en estos valores de fraccionamiento. La muestra correspondiente al Arroyo Tortugas (S1) posee una firma isotópica similar, implicando que el acuífero confinado podría aportar al nivel de base del mismo, ya que se ubica en la depresión, zona de descarga hidrológica regional. Los valores de laboratorio informados para radiocarbono ¹⁴CDIC-

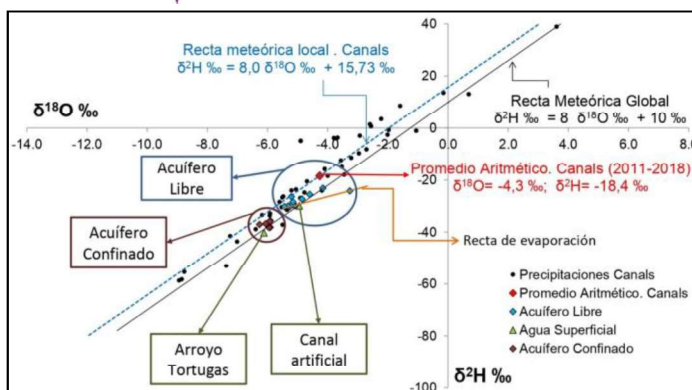


FIGURA 3. Gráfico de δ²H vs.δ¹⁸O.

porcentaje de carbono moderno (pMC) definen 2 conjuntos de datos, que coinciden con ambos tipos de acuíferos (ver Figura 4, Blarasin et al., 2020b): 1. Acuífero libre (con valores más altos de ¹⁴CDIC (pCM): son aguas actuales y con tiempos de residencia del orden de hasta 3.000 años A.P. (antes del presente) correspondiente al Holoceno (Blarasin et al., 2020b). 2. Sistema Acuífero confinado con valores de ¹⁴CDIC (pCM) muy bajos, lo que indica un tiempo de residencia más largo del agua en el medio sedimentario en el orden de 23.000 a 30.000 años BP, aguas del Pleistoceno) (Blarasin et al., 2020b).

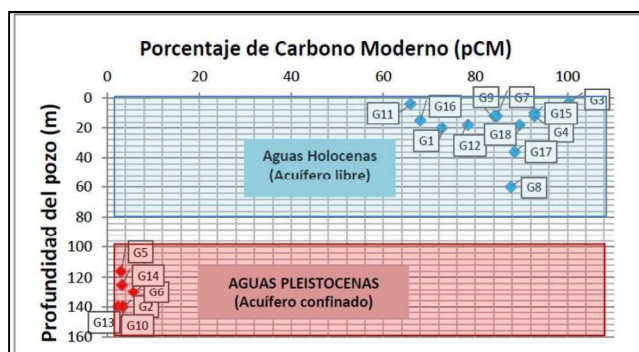


FIGURA 4. Edad radiocarbono convencional versus profundidad del pozo.

Atrazina

En el gráfico de la Figura 5 (Blarasin et al., 2020b) se muestra que los valores de atrazina son variables (de 0,051 a 0,0001 µg/L) y que los más altos están relacionados al acuífero libre (0,051 - 0,03 µg/L), que contiene aguas modernas, mientras que los valores más bajos (0,0025 a 0,0001 µg/L) se relacionan a capas profundas que contienen aguas más viejas.

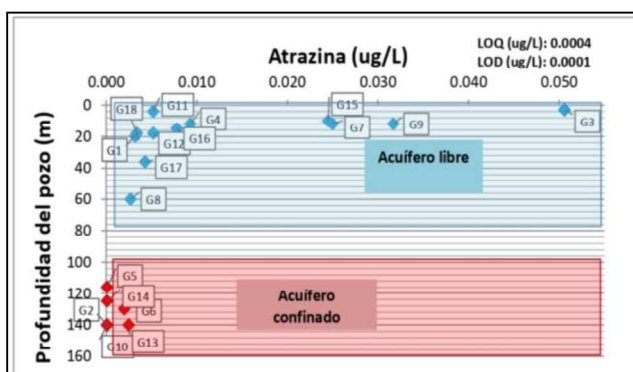


FIGURA 5. Gráfico de atrazina versus profundidad de pozo.

Conclusiones

La zona muestra capas acuíferas bien diferenciadas, con diferentes jerarquías de flujo del agua subterránea, que encajan en el modelo hidrogeológico general de la provincia de Córdoba, donde las aguas modernas, más recientemente recargadas por lluvias locales están en las capas superiores y las más antiguas, en las capas acuíferas más profundas. En



este último caso el fraccionamiento de isótopos estables del agua y las edades ^{14}C muestran que se trataría de aguas recargadas en épocas más frías del Pleistoceno. En general el agua subterránea no se utiliza para consumo humano, lo que permite concluir que el impacto a la salud sería poco probable, aunque se evidenció el impacto del uso de herbicidas al sistema natural y específicamente en el agua que es consumida por los animales, aspecto que debería ser considerado por especialistas. De acuerdo a los valores de isótopos estables y la datación, se concluye que las aguas más jóvenes del acuífero libre muestran que existe recarga anual/plurianual de precipitaciones, aunque son las más afectadas por la contaminación de pesticidas. Se encontró que atrazina aparece en forma generalizada para el acuífero poco profundo (hasta aproximadamente 70 m de profundidad). Este es el más vulnerable por ser hidráulicamente libre, directamente conectado a la fase atmosférica y por poseer escasa profundidad del nivel freático, lo que genera mayor probabilidad de ser alcanzado por procesos de percolación que lo recargan y que además transportan los contaminantes desde el perfil del suelo. La situación de nivel freático con potenciales hidráulicos superiores al nivel piezométrico de las capas confinadas (excepto en la depresión tectónica), permite concluir que efectivamente puede ocurrir la migración de cantidades tan pequeñas de pesticidas desde el acuífero libre hacia profundidades mayores, probablemente a través de vías de flujos preferenciales que impactan las aguas más viejas. Estos datos evidencian el gran impacto que genera la implementación del sistema agrícola actual, basándose en la siembra directa, con la incorporación de grandes cantidades de pesticidas alcanzando nichos ambientales que se asumían preservados de la contaminación agrícola, como los acuíferos confinados. Es necesario explicar los procesos específicos asociados, incluyendo aquellos geoquímicos que habilitan el transporte hasta tales profundidades, aunque se hipotetiza la circulación a través de flujo preferencial hacia las capas acuíferas confinadas por grietas o por problemas de cañerías de perforaciones rotas, siendo necesario monitorear valores y verificar la situación en más sitios.

Agradecimientos

Al apoyo financiero principal: Centre for Accelerator Science en ANSTO (Australian Nuclear Science and Technology Organisation). Parcialmente los subsidios proceden de UNRC y Mincyt Ar.

Referencias bibliográficas

- Blarasin, M., Cabrera, A., Matiatos, I., Quinodóz, F. B., Albo, J. G., Lutri, V., Matteoda, E., & Panarello, H. (2020a). Comparative evaluation of urban vs agricultural nitrate sources and sinks in an unconfined aquifer by isotopic and multivariate analyses. *STOTEN*, 741, 140374.
- Blarasin, M., Cabrera, A., Giacobone, D., Lutri, V., Currell, M., Cabrera, A.E., Matteoda, E., Giuliano Albo, J., Cendon, D., Ma, X., Eric, C., Felizzia, J. (2020b). Using isotopes to evaluate relationships between groundwater age, flow systems and pollution by pesticides. *I Taller Regional de Ecohidrología Isotópica*. IMASL, San Luis, Argentina. Póster.
- Kröhling, D., & Carignano, C. A. (2014). La estratigrafía de los depósitos sedimentarios cuaternarios. In *Geología y recursos naturales de la provincia de Córdoba: Córdoba, Argentina, Asociación Geológica Argentina, Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino* (pp. 673-724).
- Lutri, V. F., Matteoda, E., Blarasin, M., Aparicio, V., Giacobone, D., Maldonado, L., Becher Quinodoz, F., Cabrera, A., & Giuliano Albo, J. (2020). Hydrogeological features affecting spatial distribution of glyphosate and AMPA in groundwater and surface water in an agroecosystem. Cba, Arg. *STOTEN*, 711, 134557.
- Polare, H.M. (2019). *Comportamiento del sistema acuífero en la cuenca inferior del río Carcarañá. Provincias de Santa Fe y Córdoba, República Argentina*. Tesis de Magíster inédita. Universidad Nacional de Rosario.