



2020, Volumen 5, Número 2: 467-474

Dossier

“Geoquímica y perspectiva ambiental de sistemas exógenos”

Editores invitados: Eleonora Carol & Carolina Tanjal

Influencia de las actividades agropecuarias intensivas en la hidrogeoquímica del acuífero freático en un sector de la cuenca alta del río Samborombón (Provincia de Buenos Aires, Argentina)

Guido Borzi^{1,2}, Nicolás Jovic³, Esteban Villalba^{1,2}, María Josefina Stein¹,
Carolina Tanjal^{1,2} & Lucía Santucci^{1,2}

¹Facultad de Ciencias Naturales y Museo - Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

gborzi@fcnym.unlp.edu.ar, evillalba@cig.museo.unlp.edu.ar, stein.fina@gmail.com; ctanjal@cig.museo.unlp.edu.ar, luciasantucci@fcnym.unlp.edu.ar

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

³Secretaría de Posgrado, Maestría en Ambiente y Desarrollo Sustentable, Universidad Nacional de Quilmes, Argentina. nicolasjovic@gmail.com



Influencia de las actividades agropecuarias intensivas en la hidrogeoquímica del acuífero freático en un sector de la cuenca alta del río Samborombón (Provincia de Buenos Aires, Argentina)

Guido Borzi^{1,2}, Nicolás Jovic³, Esteban Villalba^{1,2}, María Josefina Stein¹, Carolina Tanjal^{1,2} & Lucía Santucci^{1,2}

¹Facultad de Ciencias Naturales y Museo - Universidad Nacional de La Plata, Argentina. gborzi@fcnym.unlp.edu.ar, evillalba@cig.museo.unlp.edu.ar, stein.fina@gmail.com; ctanjal@cig.museo.unlp.edu.ar, luciasantucci@fcnym.unlp.edu.ar

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

³Secretaría de Posgrado, Maestría en Ambiente y Desarrollo Sustentable, Universidad Nacional de Quilmes, Argentina. nicolasjovic@gmail.com

RESUMEN. La cuenca del río Samborombón localizada en el noreste de la provincia de Buenos Aires es una cuenca rural donde, si bien domina la ganadería extensiva, han comenzado a desarrollarse en los últimos años establecimientos ganaderos intensivos. El engorde de ganado en corral genera gran cantidad de excretas que son una fuente puntual de contaminación del agua. En sectores donde el abastecimiento de agua para consumo es mediante la explotación del agua subterránea, estos focos de contaminación pueden limitar su potabilidad. El objetivo del trabajo fue evaluar la influencia de un corral de engorde en la hidroquímica del acuífero freático en la cuenca alta del río Samborombón, así como también analizar la vulnerabilidad social y el riesgo hídrico presente en el área. Para esto se efectuó la toma de muestras de agua para determinar iones mayoritarios, trazas y fósforo en laboratorio, midiéndose in situ el pH y la conductividad eléctrica. Los resultados indican que la ganadería intensiva constituye una actividad que tiende a deteriorar la calidad del acuífero freático mediante la incorporación de Cl^- , SO_4^{2-} y NO_3^- . Elementos inmóviles o poco solubles como los fosfatos tenderían a retenerse en el suelo y zona no saturada sin afectar al acuífero. Por su parte, los elementos traza no evidencian cambios respecto a los valores de fondo de la química en el área de estudio. La contaminación del acuífero por nitratos en algunos pozos supera el límite sugerido por la Organización Mundial de la Salud y afecta a los pobladores que viven en las adyacencias. Asimismo, se identificó una vulnerabilidad de tipo socioeconómica debido a la falta de acceso a servicios básicos, como el agua potable y un sistema cloacal adecuado.

Palabras clave: *Corral de engorde, Contaminación hídrica, Nitratos*

ABSTRACT. **Influence of intensive agricultural activities in the hydrogeochemistry of a phreatic aquifer in a sector of the upper basin of Samborombón river (Buenos Aires Province, Argentina).** The Samborombón river basin, located in the northeast of Buenos Aires province, is a rural area with extensive



livestock farming as dominant activity but with intensive feedlots established and developing in recent years. Feedlots generate a large amount of excreta that represent point-source water pollution. In sectors where the water for consumption is supplied by exploitation of groundwater, these sources of pollution may reduce its potability. The goal of this work was to evaluate the influence of a feedlot in the hydrochemistry of the groundwater aquifer in the upper zone of the Samborombón river basin, and to analyze the social vulnerability and water-related risk in the area. For this purpose, water samples were taken to determine major ions, trace elements and phosphorus in the laboratory. Additionally, pH and electrical conductivity were measured in situ. The results indicate that intensive animal farming tends to deteriorate the quality of groundwater through incorporation of Cl^- , SO_4^{2-} and NO_3^- . Immobile or poorly soluble elements, such as phosphates, would tend to be retained in the soil and in the unsaturated zone, not affecting the chemical properties of the aquifer. On the other hand, levels of trace elements do not show changes with respect to the chemical baseline for the area. In some wells, the pollution of the aquifer caused by nitrates exceeds the limit suggested by the World Health Organization and affects the local inhabitants. Likewise, we detected socioeconomic vulnerability due to lack of access to basic services, such as potable water and an adequate sewer system.

Key words: *Feedlot, Water pollution, Nitrates*

RESUMO. Influência das atividades agropecuárias intensivas na hidrogeoquímica do lençol freático em um setor da alta bacia do rio Samborombón (Província de Buenos Aires, Argentina). A bacia do rio Samborombón, localizada no nordeste da província de Buenos Aires, é uma bacia rural onde, embora a pecuária extensiva domine, os estabelecimentos de pecuária intensiva começaram a se desenvolver nos últimos anos. A engorda de gado em curral gera uma grande quantidade de excrementos, que são uma fonte pontual de contaminação da água. Nos setores onde o abastecimento de água para consumo se dá por meio da exploração da água subterrânea, estes focos de contaminação podem limitar sua potabilidade. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência de um curral de engorda na hidroquímica do lençol freático na alta bacia do rio Samborombón, bem como analisar a vulnerabilidade social e o risco hídrico presentes na área. Para isso, amostras de água foram coletadas para determinar os principais íons, traços e fósforo em laboratório, medindo-se in situ o pH e a condutividade elétrica. Os resultados indicam que a pecuária intensiva constitui uma atividade que tende a deteriorar a qualidade do lençol freático por meio da incorporação de Cl^- , SO_4^{2-} e NO_3^- . Elementos imóveis ou pouco solúveis, como os fosfatos, tenderiam a ser retidos no solo e na zona não saturada sem afetar o lençol. Por sua vez, os elementos traços não evidenciam alterações em relação aos valores químicos de base na área de estudo. A contaminação do lençol por nitratos em alguns poços excede o limite sugerido pela Organização Mundial da Saúde e afeta os habitantes que vivem nas proximidades. Da mesma forma, foi identificada uma vulnerabilidade socioeconômica devida à falta de acesso a serviços básicos, como água potável e sistema de esgoto adequado.

Palavras-chave: *Curral de engorda, Contaminação hídrica, Nitratos*

Introducción

La Llanura Pampeana se caracteriza principalmente por el desarrollo de actividades agropecuarias, siendo una de las regiones más productivas del mundo (Durán *et al.*, 2011), en la cual la ganadería y la agricultura extensiva históricamente fueron las principales actividades productivas. Sin embargo, en las últimas décadas actividades intensivas tanto agrícolas como ganaderas han comenzado a desarrollarse en algunos sectores. El engorde del ganado en corrales permite maximizar la producción final del ganado vacuno en espacios reducidos. La alta concentración de animales en una superficie pequeña con retorno de grandes cantidades de excretas al suelo ocasiona un desbalance en el ciclado de nutrientes del suelo (Viglizzo & Frank, 2010). Se estima que un vacuno excreta por día alrededor del 5 al 6 % de su peso vivo, por lo que, un novillo de 400 kg de peso vivo desecha entre 20 y 25 kg de estiércol diarios (Andriulo *et al.*, 2003). En el corral, las excretas (materia fecal y

orina) son una fuente puntual de contaminación del suelo y agua que contiene elevadas concentraciones de carbono orgánico, nitrógeno, fósforo, azufre y cloruros, entre otros elementos en solución (Veizaga, 2015).

La cuenca del río Samborombón se localiza en el noreste de la provincia de Buenos Aires (Fig. 1). Dado que la misma se desarrolla dentro de la Región Pampeana, se trata de una cuenca eminentemente rural en la cual es cada vez más común encontrar prácticas como las mencionadas previamente. El abastecimiento de agua en la zona para el desarrollo de las prácticas agropecuarias y para consumo humano es mediante la explotación del agua subterránea a través de pozos que captan, en su mayoría, agua del acuífero freático el cual recarga por la infiltración del agua de lluvia (Borzi, 2018). En zonas adyacentes a corrales de engorde, la contaminación del recurso hídrico subterráneo genera una amenaza de origen antrópico a la población vulnerable de la zona y la aparición de un riesgo, en este caso hídrico.



Figura 1. Ubicación del área de estudio en las cercanías del km 72 de la Ruta Provincial 36.

El objetivo del trabajo fue evaluar la influencia de un corral de engorde en la hidroquímica del acuífero freático en la cuenca alta del río Samborombón, así como también analizar la vulnerabilidad social y el riesgo hídrico presente en el área. Para esto, se realizó una caracterización del contenido de iones mayoritarios, trazas, fósforo soluble y fósforo total del acuífero freático, en los alrededores de un corral de engorde con el fin de evaluar la influencia que este tipo de actividad tiene sobre la principal fuente de abastecimiento de agua de la población local.

Materiales y métodos

Se diseñó una red de monitoreo de agua subterránea en las inmediaciones del corral de engorde aledaño a la Ruta Provincial 36 y el acceso a la localidad de Oviden (Fig. 1). Dicha red constó de 15 puntos de muestreo correspondientes a perforaciones domiciliarias que captan agua del acuífero freático (Fig. 2). In situ se midió el

pH y la conductividad eléctrica del agua con un equipo multiparamétrico portátil marca Lutron modelo WA-2017SD, efectuándose la toma de muestras de agua según las normas estandarizadas (APHA, 1998) durante el mes de febrero del 2019, no registrándose precipitaciones durante el periodo de muestreo.

En el laboratorio del Centro de Investigaciones Geológicas se determinaron iones mayoritarios, trazas, fósforo soluble y fósforo total. La determinación de iones mayoritarios se realizó por métodos estandarizados (APHA, 1998). El contenido de carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), cloruros (Cl^-), dureza, calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) fue determinado por titulación. Sodio (Na^+) y potasio (K^+) se determinaron por absorción atómica con fotómetro de llama marca Crudo Caamaño modelo Ionometer Alfanumérico, mientras que sulfatos (SO_4^{2-}), nitratos (NO_3^-), fósforo soluble (PO_4^{3-}) y fósforo total (P Total) se analizaron utilizando un espectrofotómetro UV-Visible de doble haz Shimadzu UV-160A. Respecto a los límites de detección del NO_3^- y ambas especies de fósforo, los mismos son de 1 mg/l y 0,01 mg/l respectivamente. Los elementos traza (As, Cr, Cu, Pb y V) fueron analizados por medio de espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS, Perkin Elmer-Nexlon 300X with a reaction-colision cell) con un límite de detección de 0,0001 mg/L.

La clasificación de las muestras de agua se realizó mediante el software Diagrammes (Simler, 2009) utilizando diagramas Stiff. Por su parte, los elementos traza fueron comparados mediante el uso de gráficos de barras representados en partes por millón. Tanto los diagramas Stiff como los diagramas de barras se volcaron en un Sistema de Información Geográfica (SIG) con el fin de observar la variación química del agua en cada sector muestreado. Respecto a los diagramas Stiff, éstos fueron indicados en color rojo cuando exceden el límite máximo sugerido para el NO_3^- de 50 mg/l según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2008). Respecto a la concentración de elementos traza, los mismos fueron comparados con sitios similares de la cuenca para observar si existe alguna variación de éstos por la influencia del corral de engorde. Por último, los resultados obtenidos también fueron interpretados a partir de sus índices de correlación mediante el software RStudio (Team R., 2015).

El muestreo de agua se complementó con entrevistas no estructuradas a los pobladores de cada sitio a fin de relevar información vinculada a la forma de acceso al agua, disposición de excretas y percepción del riesgo hídrico asociado a la ingesta de agua contaminada. Las entrevistas tuvieron la finalidad de analizar la vulnerabilidad social y la percepción que las personas tienen sobre las problemáticas vinculadas con los riesgos, a fin de explicar la forma en que las mismas intervienen en los comportamientos y acciones sobre el territorio (Ferrari, 2017).

Resultados

Los pobladores rurales extraen agua mediante pozos de consumo a una profundidad aproximada de 30 a 40 m en el acuífero freático o pampeano. La conductividad eléctrica de las muestras presentó valores promedio de 856 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un máximo de 2050 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un mínimo de 599 $\mu\text{S}/\text{cm}$, parámetro que no es utilizado como límite para consumo según la OMS (2008). El pH observado fue ligeramente alcalino con un valor promedio 7,11, sin registrarse grandes variaciones en estos. La composición química mayoritaria muestra variaciones entre facies bicarbonatadas-cálcicas y bicarbonatadas-sódicas (Fig. 2). Por su parte, las concentraciones de Cl^- , el SO_4^{2-} y el NO_3^- registradas presentan un aumento conforme se incrementa la conductividad eléctrica del agua, con correlaciones significativas mayores a 0,9 (p value < 0,01). La concentración de NO_3^- supero en 5 de los puntos de muestreo el límite sugerido por OMS (2008), localizándose estas muestras en las inmediaciones del corral de engorde, registrándose también puntos dispersos con elevadas concentraciones (Fig. 2). Las concentraciones de fósforo soluble y total presentaron valores similares en toda el área de estudio las cuales que no superaron los 0,25 mg/L de PO_4^{3-} . Si bien es una zona de divisoria, el escaso relieve del área no evidenció una relación entre la topografía y los contenidos de NO_3^- y PO_4^{3-} hallados.

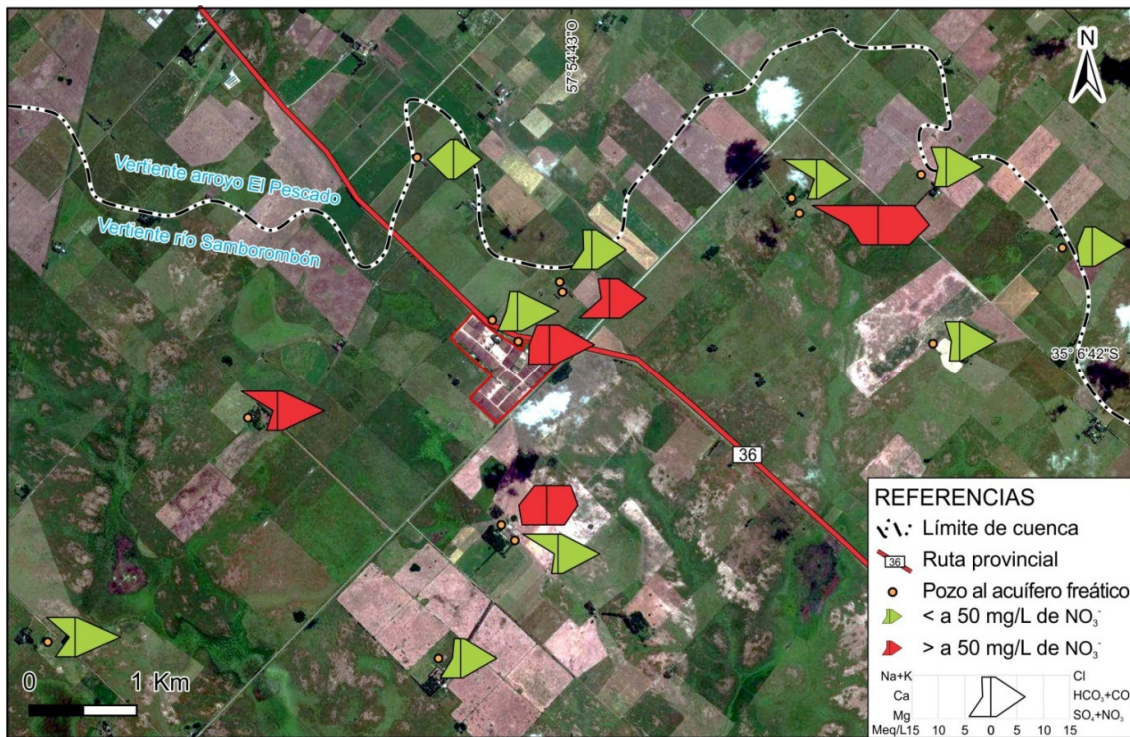


Figura 2. Diagramas de Stiff mostrando el contenido de iones mayoritarios de los puntos muestreados. En color rojo se indican las muestras que superan el límite de potabilidad del nitrato de la OMS (2008).

Respecto a las concentraciones de los elementos traza, las mismas superaron el límite máximo sugerido para el As según la OMS (2008) en el 100 % de las muestras. El resto de los elementos traza (Cr, Cu, Pb y V) se encontraron por debajo de los límites sugeridos por el OMS (2008) exceptuando 1 muestra donde el contenido de Pb supera levemente dicho límite (Fig. 3).

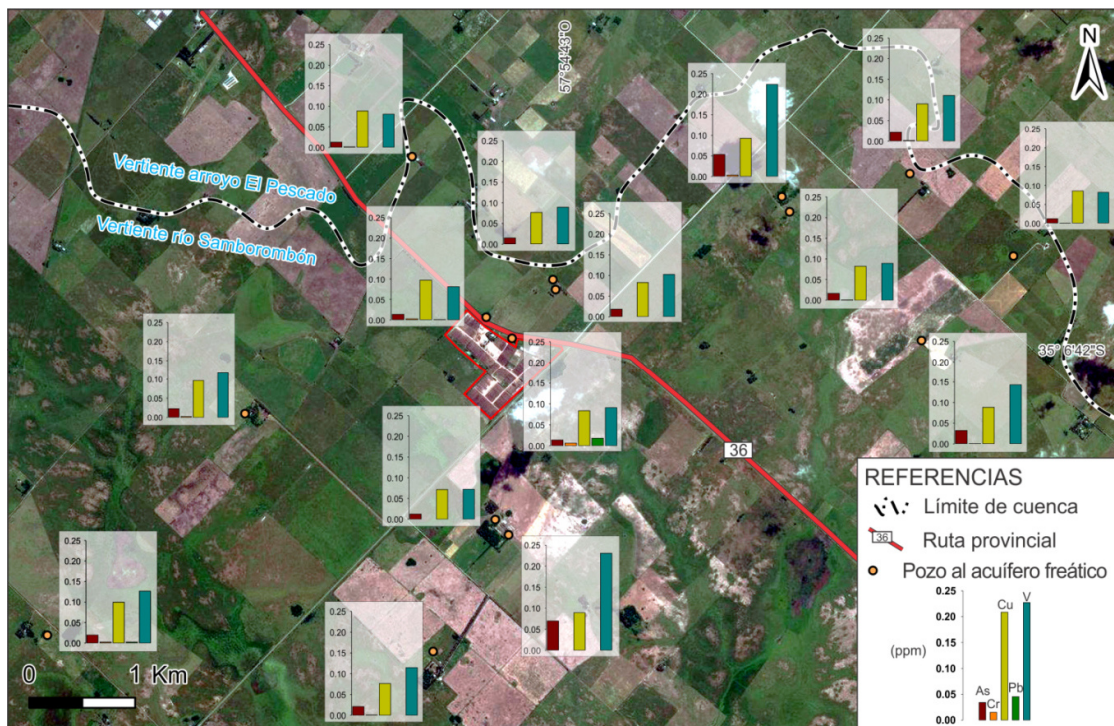


Figura 3. Contenido de elementos traza en el agua subterránea de los distintos puntos muestreados.

De las entrevistas realizadas (11) se recoge que en el 90 % de los hogares o establecimientos visitados, el agua que se consume proviene del acuífero freático, sin tratamiento previo; el 10 % restante consume agua extraída del acuífero semiconfinado. En todos los casos la disposición de excretas se realiza en pozos ciegos los cuales en algunos casos suelen localizarse muy próximos a los pozos de abastecimiento. En cuanto a la percepción del riesgo hídrico asociado al consumo de agua potencialmente contaminada, el 100 % de los entrevistados consideran que el agua que consumen no representa una amenaza para su salud. Se destaca que, para aquellos pobladores de los sitios localizados en las inmediaciones del feedlot, la presencia del mismo tampoco representa una potencial amenaza a su salud.

Discusión

Las actividades ganaderas intensivas constituyen fuentes puntuales de contaminación del agua subterránea a partir de la descomposición de las excretas que ocurren en los corrales de engorde y zanjeos de drenaje asociados a los mismos (García & Iorio, 2005, García et al., 2015). La descomposición de excretas puede aportar nitratos y fosfatos a los acuíferos, los que migran desde superficie con la infiltración del agua de lluvia (García et al., 2015). En las adyacencias al corral de engorde estudiado, ambos elementos fueron registrados en el agua subterránea alcanzando el nitrato valores de hasta 225 mg/l, determinándose en 5 puntos de muestreo concentraciones por encima del límite de potabilidad (OMS, 2008). Cabe destacar que, elevadas concentraciones de nitratos fueron registradas no sólo en pozos próximos al corral de engorde, sino también en sitios próximos a pozos ciegos o bebederos de animales. Por su parte, los contenidos de fosfatos fueron bajos (inferiores a 0,25 mg/l) en todos los pozos relevados. Estos resultados son consistentes con el comportamiento geoquímico disímil que presentan ambos iones. El nitrato es un ion conservativo en el agua, lo que determina que no sea retenido en la zona no saturada e ingrese fácilmente al acuífero freático junto con el agua de infiltración (Kundu & Mandal, 2009). Al contrario, el fosfato si bien puede presentarse en altas concentraciones en los efluentes de los corrales de engorde (García et al., 2015), es un ion relativamente inmóvil en la zona no saturada. Esto se debe a que la capacidad de adsorción de fósforo del suelo aun no se encuentra saturada (Borggaard et al., 2004) y es adsorbido por las arcillas, materia orgánica o carbonatos del suelo y de la zona no saturada, la cual también contiene arcillas y carbonatos y tiene un espesor de aproximadamente 6 m (Auge et al., 2004), característica que retarda o impide su migración con el agua de infiltración hacia el acuífero (Robles, 1991).

Las excretas del ganado también pueden aportar otros iones al agua subterránea tales como cloruros y sulfatos, los que contribuyen a aumentar la conductividad eléctrica del agua (Hudak et al., 2000; Spalding & Hartke, 2001). Esta característica ha sido registrada en los pozos próximos al corral de engorde, donde además los aumentos en los contenidos de cloruros y sulfatos se correlacionan positivamente con los de nitratos y los de conductividad eléctrica del agua. En este sentido, si bien el Cl⁻ y una conductividad eléctrica elevada son factores que pueden afectar el gusto del agua de consumo, no existen valores de referencia propuestos para estos parámetros (OMS, 2008). Asimismo, pueden causar daño foliar al utilizar el agua para riego; pese a esto, los valores registrados no serían un problema para esta práctica, sin embargo dependen del tipo de especie cultivada (Bauder et al., 2011).

En relación a los contenidos de elementos traza, no se observaron variaciones relacionadas a la presencia del corral de engorde, registrándose concentraciones similares a las obtenidas en otros sectores de la cuenca estudiada (Borzi et al., 2018). Al igual que como ocurre a escala regional dentro del acuífero freático alojado en los sedimentos loessicos (Heredia & Cirelli, 2009; Zabala et al., 2016), el As registró valores por encima del límite de potabilidad. El V fue otro elemento que presentó una elevada concentración, no obstante, si bien se ha reportado que este elemento en exceso puede ser perjudicial para la salud del ganado (Gummow et al., 2005), no existen límites internacionales sugeridos por la Organización Mundial de la Salud en cuanto al agua de consumo

humano (OMS, 2008). Tanto As como V son elementos cuyo origen en el acuífero estudiado es geogénico, asociado a la alteración de las trizas volcánicas y/o desorción desde los óxidos de Fe y Mn presentes en los sedimentos (Smedley *et al.*, 2000).

Conclusiones

Los resultados indican que la química del agua subterránea en las inmediaciones de un corral de engorde se ve afectada por esta actividad ganadera. Si bien el suelo y la zona no saturada protegerían el acuífero subyacente reteniendo algunos elementos, los más móviles alcanzan el acuífero modificando la calidad del mismo. La ganadería intensiva constituye una actividad que tiende a deteriorar el suelo por compactación y la calidad del acuífero subyacente mediante la incorporación de Cl^- , SO_4^{2-} y NO_3^- , lo que se ve reflejado en un aumento de la conductividad eléctrica. Elementos inmóviles o poco solubles como los fosfatos tenderían a retenerse en el suelo y zona no saturada sin afectar al agua freática. Por su parte, si bien puede existir aporte de elementos traza desde el corral de engorde, no se evidencian cambios significativos en sus concentraciones respecto a los valores de fondo de la química establecida en el área.

La contaminación del acuífero por nitratos en algunos pozos cercanos al corral de engorde afecta a los pobladores que viven en las adyacencias. Esta situación adquiere mayor gravedad en áreas rurales, donde el abastecimiento de agua potable de los pobladores depende únicamente de la explotación de los acuíferos afectados.

Por su parte, se identificó una vulnerabilidad de tipo socioeconómica debido a la falta de acceso a servicios básicos, como es el acceso a agua potable y a un sistema cloacal adecuado, y a la incapacidad de la población de la zona para responder y/o adaptarse a los impactos negativos de la amenaza presente. Esta vulnerabilidad se intensifica por la falta de conocimiento de la población sobre la calidad del agua subterránea que consumen y sobre la existencia de un foco puntual de contaminación como el corral de engorde presente en la zona. En este sentido, la elevada concentración de nitratos registrada por encima de los valores recomendados por el OMS, pone en riesgo la salud de los pobladores.

Los datos suministrados en el trabajo ponen en alerta el riesgo hídrico presente en el área estudiada, la cual requiere de un monitoreo periódico y de medidas de mitigación y gestión del recurso hídrico que logren un acceso al agua de abastecimiento de calidad a los pobladores más vulnerables.

Referencias bibliográficas

- Andriulo, A., Sasal, C., Améndola, C. & Rimatori, F. (2003) "Impacto de un sistema intensivo de producción de carne vacuna sobre algunas propiedades del suelo y del agua". *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 32(3), pp. 27-56.
- American Public Health Association (APHA) (1998) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Inc., Washington. DC.
- Auge, M., Hirata, R., & Vera, F.L. (2004) *Vulnerabilidad a la contaminación por nitratos del acuífero puelche en La Plata, Argentina*. Informes del Centro de Estudios de América Latina (CEAL).
- Bauder, T.A., Waskom, R.M., Sutherland, P.L., Davis, J.G., Follett, R.H., & Soltanpour, P.N. (2011) Irrigation water quality criteria. Service in action; no. 0.506.
- Borggaard, O.K., Szilas, C., Gimsing, A.L. & Rasmussen, L.H. (2004) "Estimation of soil phosphate adsorption capacity by means of a pedotransfer function", *Geoderma* 118(1-2), pp. 55-61.
- Borzi, G. (2018) *Influencia de la actividad antrópica en la geohidrología de la cuenca del río Samborombón*, Tesis doctoral inédita, La Plata, Universidad Nacional de La Plata.
- Durán, A., Morrás, H., Studdert, G. & Liu, X. (2011) "Distribution, properties, land use and management of Mollisols in South America", *Chinese Geographical Science* 21(5), pp. 511.

- Ferrari, M.P. (2017) "Configuraciones del riesgo y percepción social. Los asentamientos La Lomita y Alta Tensión, Puerto Madryn, Chubut", *Geograficando* 13, pp. 24.
- García, A., Fleite, S., Ciapparelli, I., Pugliese, D., Weigandt, C. & De Iorio, A. (2015) "Observaciones, desafíos y oportunidades en el manejo de efluentes de feedlot en la provincia de Buenos Aires, Argentina", *Ecología austral* 25(3), pp. 255-262.
- García, A.R. & Iorio, A.D. (2005) "Incidencia de la descarga de efluentes de un feedlot en la calidad de agua del arroyo Morales, Buenos Aires-Argentina", *Revista de la Facultad de Agronomía*, Universidad de Buenos Aires 25, pp. 167-176.
- Gummow, B., Botha, C., Noordhuizen, J. & Heesterbeek, J. (2005) "The public health implications of farming cattle in areas with high background concentrations of vanadium", *Preventive Veterinary Medicine* 72, pp. 281-290.
- Heredía, O.S. & Cirelli, A.F. (2009) "Trace elements distribution in soil, pore water and groundwater in Buenos Aires, Argentina", *Geoderma* 149(3-4), pp. 409-414.
- Hudak, P.F., Videan, N. & Ward, K. (2000) "Nitrate and chloride concentrations in the High Plains Aquifer, Texas", *International Journal of Environmental Studies* 57(5), pp. 563-577.
- Kundu, M.C. & Mandal, B. (2009) "Nitrate enrichment in groundwater from long-term intensive agriculture: its mechanistic pathways and prediction through modeling", *Environmental Science & Technology* 43(15), pp. 5837-5843.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2008) *Guidelines for Drinking Water Quality*.
- Robles, C. (1991) "Transformaciones y traslocaciones del fósforo como indicadores del desarrollo del suelo", *Suelo y Planta* 1, pp. 793-800.
- Simler, R. (2009) *Diagrammes software*. Downloadable at <http://www.lha.univ-avignon.fr/LHA-Logiciels.htm>.
- Smedley, P.L., Macdonald, D.M.J., Nicolli, H.B., Barros, A.J., Tullio, J.O. & Pearce, J.M. (2000) "Arsenic and other quality problems in groundwater from northern La Pampa Province, Argentina", *British Geological Survey, Overseas Geology Series*, Technical Report WC/99/036.
- Spalding, R. & Hartke, E. (2001) "A nitrogen and sulfur isotope investigation of redox conditions occurring in a shallow outwash aquifer", *AGU Fall Meeting 2001, Abstracts*.
- Team, R. (2015) *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, Inc., Boston, MA. 2015. URL: <https://www.rstudio.com/products/rstudio>.
- Viglizzo E. & Frank F. (2010) "Evaluación ecológica: ejemplo de estudio en las pampas de Argentina", *Revista de la Cátedra Unesco sobre Desarrollo Sostenible de la UPV/EHU* 4, pp. 79.
- Veizaga, E.A. (2015) *Estudio de la dinámica del nitrato en el suelo proveniente de la actividad ganadera intensiva*, Tesis doctoral inédita, Santa Fe, Universidad Nacional del Litoral.
- Zabala, M.E., Martínez, S., Manzano, M., & Vives, L. (2016) "Groundwater chemical baseline values to assess the Recovery Plan in the Matanza-Riachuelo River basin, Argentina", *Science of the Total Environment* 541, pp. 1516-1530.