

ACTIVIDAD TAMBERA EN EL NORESTE BONAERENSE Y SU IMPACTO EN LOS ACUIFEROS UTILIZADOS PARA CONSUMO

Borzi, G.^{a,b}, Tanjal C.^{a,b}, Santucci L.^{a,b}, Galliari, J.^{b,c}, Villalba E.^{a,b}, Stein, J.^b, González M.^{b,d}, Carol E.^{a,b}

^aCentro de Investigaciones Geológicas, CIG, CONICET - UNLP, ARGENTINA

^bFacultad de Ciencias Naturales y Museo, FCNyM Universidad Nacional de La Plata, ARGENTINA

^cCentro de Química Inorgánica, CEQUINOR, CONICET – UNLP, ARGENTINA

^dInstituto de Recursos Minerales, INREMI, UNLP-CIC-CONICET, ARGENTINA

e-mail: gborzi@fcnym.unlp.edu.ar

RESUMEN

La actividad tambera es uno de los sustentos económicos del noreste bonaerense, donde los productores arrear al ganado hasta galpones de ordeño y se procede a la extracción de leche dos veces al día. Posteriormente al ordeño se realiza el lavado del predio y las excretas que fueron generadas por el ganado son drenadas hacia sectores deprimidos en donde éstas pueden infiltrar en el suelo y constituir fuentes de contaminación hacia los acuíferos. El objetivo del trabajo es analizar las características químicas del agua subterránea en las adyacencias de establecimientos tamberos a fin de evaluar si esta actividad afecta la calidad de los acuíferos de la región, cuyo recurso hídrico es utilizado para consumo humano. Con este fin, se recolectaron muestras de agua subterránea, así como también de un efluente derivado del lavado del tambo. Las muestras fueron procesadas en laboratorio, cuantificando elementos mayoritarios y fósforo soluble. De estos elementos, nitratos y fosfatos son componentes que derivan de la degradación de las excretas del ganado, encontrándose en el efluente concentraciones de 113 y 9 mg/L respectivamente. No obstante, en el agua subterránea se registraron valores promedio de NO_3^- cercanos a 30 mg/L y de PO_4^{3-} de 0,26 mg/L. Considerando estos elementos, sólo se observa una incipiente alteración en relación con el contenido de nitratos en el agua subterránea de los acuíferos que afecta a la misma para su uso y consumo. Respecto al fósforo, dado que éste es poco móvil, puede ser retenido en el suelo y en la zona no saturada. El monitoreo de acuíferos en las adyacencias de establecimientos tamberos constituye una herramienta de vital importancia para la gestión de los recursos hídricos ya que permite mitigar las fuentes contaminantes mediante la detección temprana de afectaciones en la calidad química del agua de abastecimiento.

Palabras Clave: Establecimientos tamberos, Recursos hídricos, Calidad del agua.

INTRODUCCIÓN

La provincia de Buenos Aires en Argentina se caracteriza por presentar extensas planicies dedicadas a la actividad agropecuaria. En este sentido, el noreste de dicha provincia constituye un centro tambero, donde el partido de Brandsen (ver Fig. 1) posee una larga historia en lo que respecta a la cría de vacas lecheras, siendo una actividad económica de importancia en el área.

Dentro de las actividades ganaderas, la producción de leche es una de las que mayor cantidad de agua demanda. La fuente de provisión de agua en la región deriva de la

explotación del acuífero freático o del acuífero semiconfinado, siendo este último el de mayor caudal (Borzi, 2018). Si bien estos acuíferos poseen una calidad de agua aceptable para la producción lechera, existen problemas de contaminación asociados a deficiencias en la construcción y manejo de las perforaciones, fuentes de contaminación cercanas a los pozos (corrales y lagunas) y desconocimiento por parte de los productores, acerca de cómo manejar el agua y los efluentes (Nosetti et al., 2002).

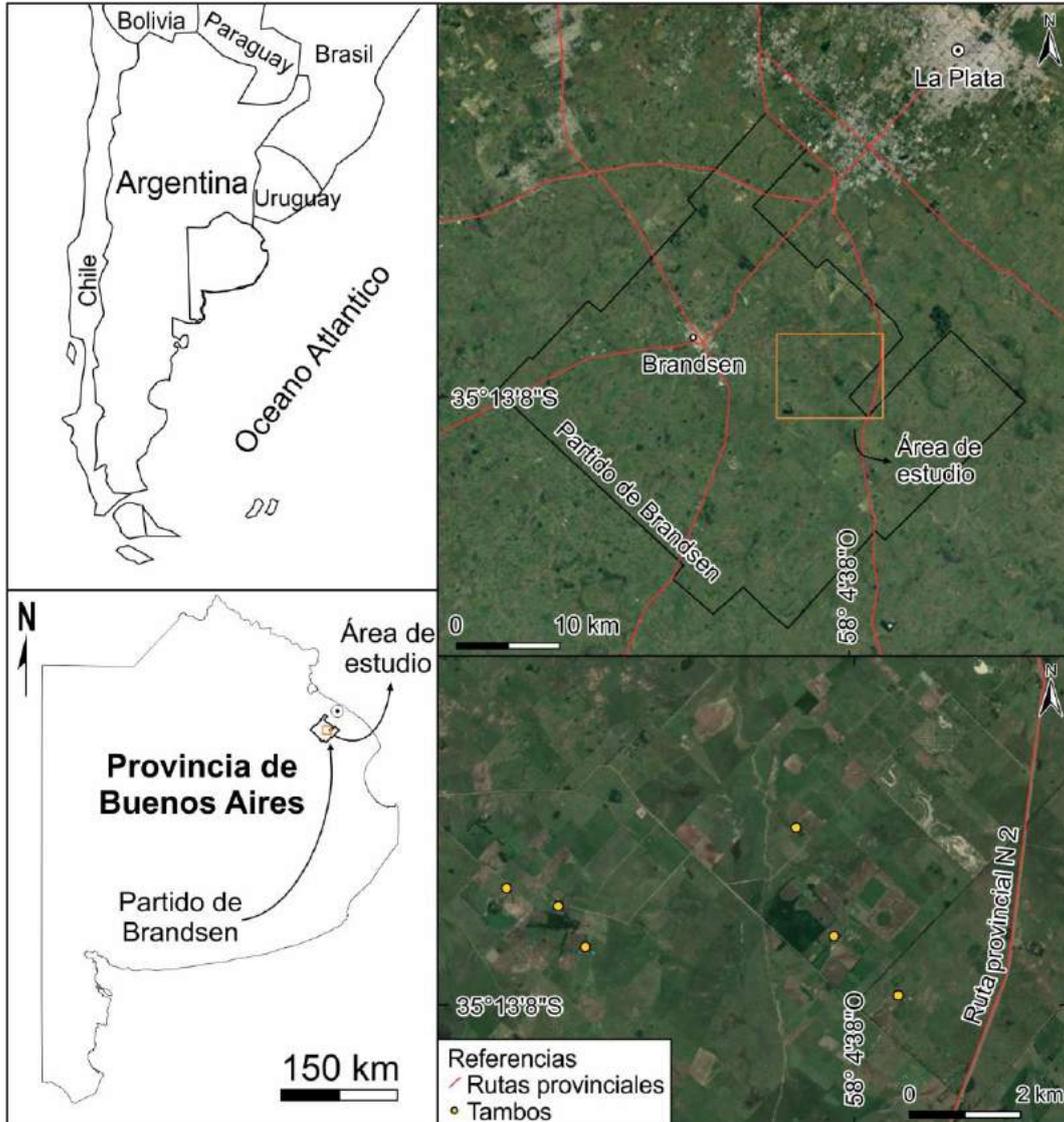


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

El ganado es arreado hasta galpones de ordeñe dos veces al día donde se procede a la extracción de leche. Posterior a cada ordeñe, se efectúa el lavado del predio mediante agua a alta presión removiendo así las excretas generadas por el ganado, las cuales son drenadas a sectores deprimidos, pudiendo infiltrar en el suelo y alcanzar a los acuíferos. La degradación de las excretas del ganado genera elevadas concentraciones de nitrógeno, fósforo, azufre, cloruros y carbono orgánico, entre otros elementos en solución (Veizaga, 2015). Estos elementos pueden infiltrar con el agua de recarga alterando la calidad química de los acuíferos utilizados para uso y consumo humano. De

estos elementos, el nitrato es un elemento muy móvil que si se presenta en altas concentraciones en las aguas de consumo puede afectar la salud de los pobladores, así como también al ganado, especialmente las vacas lecheras. En este sentido, altas concentraciones de nitratos en el agua de consumo pueden causar metahemoglobinemia en lactantes y cáncer gastrointestinal en adultos (McDonald y Kay, 1988; OMS, 2004), en tanto que, en el ganado, el nitrato se reduce a nitrito en el rumen generando también metahemoglobinemia (Bavera, 2011). Los fosfatos son otra especie aniónica poco móvil en los sistemas acuíferos. El consumo de agua con elevadas concentraciones de fósforo constituye un potencial riesgo para las personas, debido a que éste puede impedir la absorción del calcio y favorecer la precipitación de fosfato de calcio en el lumen intestinal (Levenson y Bockman, 1994). En base a esto, el objetivo del trabajo fue analizar las características químicas del agua subterránea en las adyacencias de establecimientos tamberos con el fin de evaluar si dicha actividad afecta la calidad de los acuíferos del sector, cuyo recurso hídrico es utilizado no solo para la producción sino también para consumo humano.

MÉTODOS Y MATERIALES

Se efectuaron relevamientos de 6 predios tamberos localizados en las proximidades del km 82 de la Ruta Provincial 2 (ver Fig. 1) en donde se tomaron muestras de agua y se realizó un registro de las condiciones constructivas de los pozos de uso y consumo, así como también de las características propias de cada uno de los tambos.

En base a las perforaciones existentes se diagramó una red de muestreo, la cual constó de 12 muestras de agua subterránea (9 provenientes del acuífero semiconfinado y 3 del acuífero freático), y 1 muestra que corresponde a un efluente derivado del lavado de uno de los tambos. La toma de muestras se realizó según los protocolos recomendados por la APHA (1998), y la misma fue efectuada en el mes de septiembre del año 2019. La conductividad eléctrica y el pH del agua fueron medidos mediante un equipo multiparamétrico portátil marca Lutron modelo WA-2017SD. La determinación de los elementos mayoritarios, nitratos y fosfatos fueron realizadas en el Laboratorio de Geoquímica del Centro de Investigaciones Geológicas (CIG) mediante métodos estandarizados (APHA, 1998). La concentración de carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), cloruros (Cl^-), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) fue determinada mediante titulación. Sodio (Na^+) y potasio (K^+) se cuantificaron por absorción atómica con fotómetro de llama marca Crudo Caamaño modelo Ionometer Alfanumérico. Por último, sulfatos (SO_4^{2-}), nitratos (NO_3^-) y fosfatos (PO_4^{3-}) fueron cuantificados utilizando un espectrofotómetro UV-Visible de doble haz Shimadzu UV-160A.

Las muestras fueron geolocalizadas mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) para analizar espacialmente el tipo de agua, el cual se determinó mediante el uso de diagramas Stiff.

RESULTADOS

Los predios tamberos relevados presentaban variadas dimensiones, siendo algunos de ellos de reducido tamaño (ver Fig. 2a), y otros de una mayor capacidad para albergar vacas durante el ordeño (ver Fig. 2b).



Figura 2. a. Tambo de pequeñas dimensiones. **b.** Tambo con capacidad de albergar mayor cantidad de ganado.

En todos los casos, los tambos se encontraban techados y con piso impermeabilizado con una capa de hormigón (ver Fig. 2 y Fig. 3 b y e). La limpieza del predio luego del ordeño consiste en el lavado con agua a presión, tanto de las maquinarias como del piso para eliminar las excretas. Los productos químicos utilizados en el lavado y desinfección son, según informaron los productores, soda cáustica, cloro en polvo mezclado con detergente y ácido muriático en algunos casos.



Figura 3. a. Zanja para evacuar agua de lavado sin impermeabilización. **b.** Tambo de ordeño donde se puede apreciar el zanjeo para conducir el agua del lavado a sector bajo sin impermeabilización. **c.** Zanja para evacuar agua de lavado con impermeabilización de hormigón. **d.** Bajo excavado e impermeabilizado con hormigón para almacenar momentáneamente el agua de lavado. **e.** Tambo de ordeño donde se puede apreciar el zanjeo para conducir el agua del lavado a sector bajo impermeabilizado y posteriormente por rebalse a un área más baja sin impermeabilización.

El agua de lavado y las excretas en conjunto con los limpiadores utilizados son conducidas a zanjas para su disposición final en piletas excavadas en áreas topográficamente más bajas (ver Fig. 3). De los sitios relevados, solo uno de ellos contaba con un bajo impermeabilizado con hormigón, en tanto que el resto de los predios no presentaba ningún tipo de impermeabilización. Pese a esto, al colmatarse el sector impermeabilizado, el agua sobrante es dirigida a otro bajo sin impermeabilización.

Respecto a los pozos utilizados para uso y consumo, los mismos evidenciaron una falta de aislación en la parte superior que evite el ingreso directo de contaminantes (ver Fig. 4) y además se encontraban en lugares cercanos al sector donde se drena el agua de lavado. Según se pudo corroborar con los productores, la profundidad de los pozos que extraen agua del acuífero semiconfinado utilizados para la producción es de aproximadamente 60 m, exceptuando 3 pozos que extraen agua del acuífero freático cuya agua es utilizada para consumo humano.



Figura 4. Pozos dirigidos hacia el acuífero semiconfinado en los predios tamberos del área de estudio.

Las muestras de agua subterránea del acuífero semiconfinado presentan valores de pH entre 7,38 y 8,08 y valores de conductividad eléctrica entre 688 y 1360 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabla I). En todas las muestras analizadas dominan los iones HCO_3^- y Na^+ con valores entre 308,16 y 658,97 mg/L, y entre 128 y 290 mg/L respectivamente, tratándose de muestras bicarbonatadas sódicas (ver Fig. 5).

Tabla I. Resumen de los valores cuantificados para las diversas fuentes de agua muestreadas.

Muestra	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	PO_4^{3-}
			mg/L									
Acuífero semiconfinado												
n	9											
Máx.	8,08	1360	83,05	658,97	14,55	80,97	80,57	23,80	30,12	290	14,0	0,294
Mín.	7,38	688	31,68	308,16	2,66	12,46	15,70	5,88	15,86	128	7,4	0,195
Promedio	7,83	966	53,27	426,45	7,77	36,24	33,02	11,07	21,88	193	8,9	0,251
DesvEst	0,23	213	15,86	117,42	4,44	25,74	25,48	5,38	4,91	47	2,0	0,041
Acuífero freático												
n	3											
Máx.	8,73	667	41,09	309,90	11,80	12,11	14,06	14,10	21,74	141	11,0	0,311
Mín.	7,76	595	27,40	305,55	5,23	5,31	9,92	3,82	11,41	107	6,1	0,266
Promedio	8,12	630	36,53	308,16	7,82	9,34	11,41	9,30	18,06	126	8,4	0,289
DesvEst	0,53	36	7,90	2,30	3,50	3,57	2,30	5,17	5,77	17	2,5	0,023
Superficial												
Efluente	7,48	1674	0	739,06	116,15	49,83	113,25	12,64	33,51	211	90,0	9,178

Las muestras de agua subterránea del acuífero freático presentan valores de pH entre 7,76 y 8,73 y una conductividad eléctrica que varía entre 595 y 667 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabla I). Al igual que en las muestras tomadas desde el acuífero semiconfinado, dominan los iones HCO_3^- y Na^+ con valores entre 305,55 y 309,90 mg/L para HCO_3^- , y entre 107 y 141 mg/L para Na^+ , mostrando facies bicarbonatadas sódicas (ver Fig. 5). Respecto a los contenidos de NO_3^- y PO_4^{3-} en el acuífero semiconfinado, éstos varían entre 15,70 y 74,70 mg/L y entre 0,195 y 0,286 mg/L respectivamente. Por su parte, en el acuífero freático los contenidos de NO_3^- varían entre 9,92 y 14,06 mg/L y los de PO_4^{3-} entre 0,266 y 0,311 mg/L. En relación con estas concentraciones y los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino (2012) se observa que sólo 2 muestras del acuífero semiconfinado superan en NO_3^- el límite de potabilidad. Cabe aclarar que en dicho código no existen valores de referencia respecto a la concentración máxima del PO_4^{3-} permitida en el agua de consumo. Asimismo, se destaca que no se observa que los establecimientos con mayor capacidad de albergar ganado y que por consiguiente manejan un mayor volumen de excretas, registren en el agua subterránea concentraciones más elevadas de iones mayoritarios o nutrientes (NO_3^- y PO_4^{3-}) que puedan derivar del manejo de los efluentes, en relación con los establecimientos de menores dimensiones.

La muestra de agua superficial de efluente derivado del lavado de un tambo se corresponde con la muestra tomada en el bajo impermeabilizado (ver Fig. 3d). Dicha muestra presenta un pH de 7,48 y una conductividad eléctrica de 1674 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esta muestra presenta los valores más altos en los iones HCO_3^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} y K^+ , entre la totalidad de las muestras analizadas, correspondiendo a una muestra bicarbonatada a sulfatada sódica. El contenido de NO_3^- registrado fue de 113,25 mg/L y el de PO_4^{3-} de 9,178 mg/L.

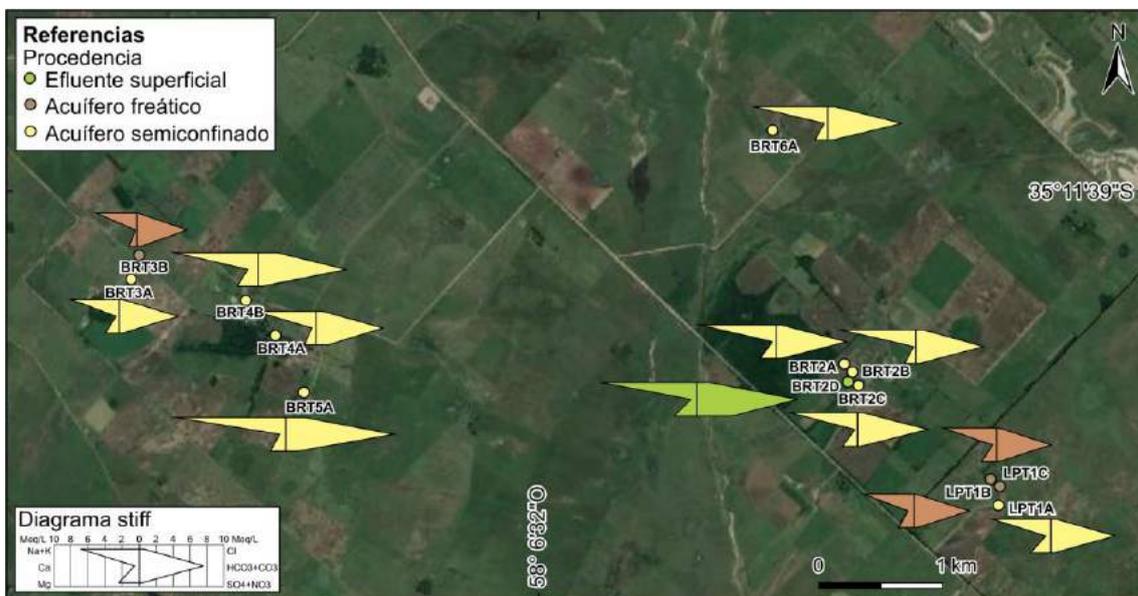


Figura 5. Distribución espacial, representada mediante diagramas Stiff, de las muestras colectadas en los predios tamberos del área de estudio.

DISCUSION

La contaminación de acuíferos producto del desarrollo de diversas actividades pecuarias es un escenario común. En general, en los sistemas ganaderos de la Región Pampeana se evidencia que el agua disponible para la producción de leche presenta problemas de contaminación química y microbiológica (Charlón et al., 2012a; Litwin et al., 2016; Cellone et al., 2020; Borzi et al., 2020). Esto se debe frecuentemente a fallencias estructurales, como por ejemplo el inadecuado manejo de los efluentes, sistemas semi entubados y deficiencias en las perforaciones de agua, situación que pone de manifiesto la necesidad de tomar precauciones respecto al uso de los recursos hídricos en los predios lecheros (Litwin et al., 2016). Los relevamientos efectuados evidenciaron que dichas fallencias estructurales se presentan también en el área de estudio, donde los pozos utilizados para abastecimiento carecen de sello impermeable, y su localización cercana a los galpones de ordeño puede favorecer el ingreso directo de contaminantes producto de la degradación de las excretas.

Los efluentes provienen de las diversas actividades de las operaciones de ordeño, como ser la limpieza de corrales, sala y máquinas de ordeño, suelen presentar elevados valores de salinidad (Nosetti, et al., 2002). Estas actividades también presentan elevadas concentraciones de nitrógeno (N) y fósforo (P) principalmente, derivados de las heces y orina del ganado que incrementan el riesgo de contaminación de suelos y aguas (Burón Alfano et al., 2009). De los compuestos que pueden derivar de las excretas se encuentran iones tales como Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , K^+ y PO_4^{3-} (Hudak et al., 2000; Suthar et al., 2009; García et al., 2015). La muestra de efluente obtenida de uno de los tambos analizados en este trabajo presenta el mayor valor de conductividad eléctrica (1674 $\mu\text{S}/\text{cm}$) dentro de todas las muestras obtenidas. En esta muestra se han registrado los valores más altos en los iones HCO_3^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} y K^+ , siendo la misma de tipo bicarbonatada a sulfatada sódica. Asimismo, el efluente presenta una alta concentración tanto de PO_4^{3-} (9 mg/L), como de NO_3^- (113 mg/L).

Por su parte, con relación al agua subterránea, sólo el NO_3^- evidenció un leve incremento, tanto en el acuífero freático como en el semiconfinado, respecto a los valores de fondo del área, los cuales son cercanos a 10 mg/L (Borzi, 2018). No obstante, estos valores fueron bajos (Tabla I), y sólo dos muestras obtenidas del acuífero semiconfinado superaron el límite de 45 mg/L de NO_3^- establecido por el Código Alimentario Argentino (CCA, 2012) para consumo humano. Asimismo, no se observa relación entre los contenidos de nitratos y las fuentes de aporte tales como los sitios de ordeño, corrales o áreas con vertido de efluentes. Esto estaría evidenciando que, pese a la falta de sello en las perforaciones de agua, la afectación de los acuíferos es escasa a nula. Es importante destacar esta característica ya que resulta contrastante si se comparan los valores de nitratos obtenidos con los registrados en establecimientos tamberos próximos al área de estudio, donde los NO_3^- superan los 500 mg/L (Cellone et al., 2020). Esta baja a nula contaminación por nitratos podría estar asociada a la impermeabilización de los pisos en los tambos y recolección mediante zanjeo hacia áreas deprimidas, los que constituiría una medida de mitigación de la contaminación en el manejo de efluentes. Predios sin estos cuidados estructurales tienden a generar una mayor superficie de exposición de los suelos a las excretas favoreciendo la infiltración de NO_3^- con el agua de lavado (Cellone et al., 2020).

Respecto al contenido de PO_4^{3-} los valores observados en el agua subterránea fueron bajos, con un promedio de 0,26 mg/L. El fosfato es un compuesto poco móvil que tiende a ser retenido por el suelo y en la zona no saturada (Robles, 1991; Borggaard et

al., 2004), lo cual podría explicar los bajos valores observados en el agua de los acuíferos subyacentes. Asimismo, respecto a esto último, nótese que, si se comparan las concentraciones iónicas en el efluente con las del agua subterránea, estas últimas son considerablemente inferiores. Esto evidencia que la zona no saturada estaría cumpliendo un rol de importancia en la protección de los acuíferos subyacentes (Hernández, 2001), reteniendo otros iones además del PO_4^{3-} .

CONCLUSIONES

Los acuíferos estudiados registran escasa a nula contaminación relacionada a especies iónicas derivadas de la actividad tambera, encontrándose a excepción de dos muestras, todos los puntos monitoreados dentro de los límites permitidos por el Código Alimentario Argentino. Las falencias estructurales observadas en las perforaciones de agua tales como falta de aislamiento y sello impermeabilizante no estarían afectando en la actualidad la calidad del agua, no obstante, es necesaria su adecuación en un futuro inmediato. El agua de lavado de los tambos, excretas y productos de limpieza, que es volcada en sectores deprimidos sin ningún tratamiento previo, constituyen focos de contaminación. Sin embargo, la escasa a nula contaminación destaca la importancia de la zona no saturada como atenuante de los contaminantes, así como también se resalta la impermeabilización de los pisos de los galpones como medida de mitigación a estos focos.

Si bien los resultados obtenidos no indican en general la existencia de problemas en el agua de consumo, el monitoreo de acuíferos en las adyacencias de establecimientos tamberos es una práctica que debe llevarse a cabo regularmente para asegurar la calidad de la misma. Esto constituye una herramienta de vital importancia para la preservación y gestión de los recursos hídricos, ya que permite la detección temprana de contaminantes y contribuye a mitigar las fuentes de contaminación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo quieren agradecer a la FCNyM - UNLP por los fondos aportados para la realización de este trabajo mediante el Proyecto PRIBA y a los productores tamberos del sector por la excelente predisposición para trabajar en conjunto.

REFERENCIAS

- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998).
- Borggaard, O.K., Szilas, C., Gimsing, A.L. y Rasmussen, L.H. Estimation of soil phosphate adsorption capacity by means of a pedotransfer function. *Geoderma*, vol 118, no.1-2, 55-61 (2004).
- Bavera, G. A. Aguas y aguadas para el ganado. *Editorial Imberti*. 4ta edición (2011).
- Borzi, G. Influencia de la actividad antrópica en la geohidrología de la cuenca del río Samborombón, Tesis doctoral inédita, La Plata, Universidad Nacional de La Plata (2018).
- Borzi, G. E., Jovic, N., Villalba, E., Stein, M. J., Tanjal, C., y Santucci, L. 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). *Revista del Museo de La Plata*, 5(2), 467-474 (2020).
- Burón Alfano, V., Questa, G., Herrero, M. A., Orlando, A. A., Flores, M., y Charlón, V. Potencial de reutilización de los residuos provenientes de tambos comerciales para la fertilización de recursos forrajeros. *InVet*, vol. 11, núm. 2, 85-92 (2009).

- Cellone, F., Carol, E., Pugliese, I., Córdoba, J., Butler, L., y Lamarche, L. Nitrate pollution in dairy farms and its impact on groundwater quality in a sector of the Pampas plain, Argentina. *Environmental Earth Sciences*, 79, 1-7 (2020).
- Charlón, V., y Herrero, M. A. Aptitud del agua para diferentes usos en tambos de las cuencas lecheras de Argentina, *II Jornadas del Agua en Agroecosistemas*, CETA FCV, UBA, Buenos Aires, Argentina (2012a).
- Charlón, V., Herrero, M.A., Cuatrin, A. Contaminación del agua subterránea por nitratos en sitios intensificados de predios lecheros. *Revista Argentina de Producción Animal*, 32 (1) (2012b).
- Código Alimentario Argentino. Capítulo XII, Artículos: 982 al 1079-Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificadas (2012).
- García, A., Fleite, S., Ciapparelli, I., Pugliese, D., Weigandt, C. y De Iorio, A. Observaciones, desafíos y oportunidades en el manejo de efluentes de feedlot en la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Ecología austral*, vol. 25, no 3, 255-262 (2015).
- Hernández, M. A. La importancia de la Zona No-Saturada en la hidrología de llanuras. In *Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* (Vol. 53) (2001).
- Hudak, P.F., Videan, N. y Ward, K. Nitrate and chloride concentrations in the High Plains Aquifer, Texas. *International Journal of Environmental Studies*, vol. 57, no. 5, 563-577 (2000).
- Levenson, D. y Bockman, R. A review of calcium preparations. *Nutrition reviews* (1994).
- Litwin, G., Giménez, G., Alvarez, H., Esnaola, I., Centeno, A., Moretto, M., y Almada, G. Indicadores de sustentabilidad en tambos comerciales de la cuenca lechera pampeana argentina. *Paraná: INTA* (2016).
- McDonald A. T. y Kay D. Water resources: issues and strategies. Harlow, UK: *Longman Scientific and Technical*, (1988).
- Nosetti, L., Herrero, M. A., Pol, M., Maldonado May, V., Iramain, M. S., y Flores, M. Cuantificación y caracterización de agua y efluentes en establecimientos lecheros. Demanda de agua y manejo de efluentes. *InVet*, 4(1), 37-43 (2002).
- Organización Mundial de la Salud. Guidelines for Drinking Water Quality (2004).
- Robles, C. Transformaciones y traslocaciones del fósforo como indicadores del desarrollo del suelo. *Suelo y Planta*, vol. 1, 793-800 (1991).
- Suthar, S., Bishnoi, P., Singh, S., Mutiyar, P. K., Nema, A. K., y Patil, N. S. Nitrate contamination in groundwater of some rural areas of Rajasthan, India. *Journal of hazardous materials*, vol. 171, no. 1-3, pp. 189-199 (2009).
- Veizaga, E.A. Estudio de la dinámica del nitrato en el suelo proveniente de la actividad ganadera intensiva. Tesis doctoral inédita, Santa Fe, Universidad Nacional del Litoral. (2015).