

# Procesos hidroquímicos y deficiencias en la infraestructura que condicionan la calidad del agua en establecimientos tamberos del Partido de Punta Indio

*Francisco Cellone<sup>1</sup>, Joaquín Córdoba<sup>2</sup>, Irina Pugliese<sup>3</sup>, Eleonora Carol<sup>1</sup> Lisandro Butler<sup>4</sup> y Luciano Lamarche<sup>5</sup>*

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Geológicas (UNLP-CONICET)

<sup>2</sup> INTA - IPAF Región Pampeana

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP)

<sup>4</sup>INTA, Coordinación Territorial Cuenca del Salado

<sup>5</sup>Dirección de Desarrollo Económico, Municipalidad de Punta Indio

E-mail: fcellone@fcnym.unlp.edu.ar

## RESUMEN:

El objetivo del presente trabajo fue evaluar los procesos hidroquímicos que regulan la calidad del agua subterránea y la infraestructura de captación desde la que se abastecen tambos maseros del Partido de Punta Indio. Se relevaron 10 establecimientos tamberos donde se evaluaron las características constructivas de 18 perforaciones y distancia a fuentes puntuales de contaminación. Se tomaron muestras de agua donde se midieron conductividad y pH y se determinó el contenido de iones mayoritarios. Posteriormente se realizó un modelado hidroquímico y los resultados fueron en conjunto interpretados mediante diagramas de clasificación de aguas y de relaciones iónicas. Los resultados muestran que desde el punto de vista químico el agua subterránea es principalmente bicarbonatada sódica a cálcica magnésica con pH y salinidad variables. Se observaron valores de contenido de nitrato y de dureza por encima de los límites permitidos para consumo humano en 8 y 3 perforaciones respectivamente. Los valores del contenido de nitrato se encuentran significativamente correlacionados a los valores de pH, conductividad, dureza e índice de saturación en calcita, además de que tienden a disminuir en perforaciones alejadas de fuentes puntuales de contaminación.

Se interpreta que el proceso de nitrificación acidifica el medio favoreciendo la disolución de carbonatos presentes en la matriz del acuífero, lo cual aumenta la dureza, la conductividad del agua y el IS en calcita. El deterioro en la calidad del agua no solamente podría ocasionar problemas en la salud de los productores sino que a su vez influiría en la producción animal y en la calidad para su uso en las instalaciones del tambo a su vez que estaría relacionada a otros aspectos como la contaminación microbiológica. Los resultados del presente estudio significan un primer aporte para definir a nivel local pautas para un mejor manejo del recurso hídrico dentro de los predios productivos.

## INTRODUCCIÓN

El Partido de Punta Indio, provincia de Buenos Aires, constituye un área de baja densidad poblacional donde la principal actividad económica es la ganadería. Además, existen distintos establecimientos asociados a la actividad ganadera, entre ellos tambos productores de masa para mozzarella, con una producción de entre 180 y 800 litros de leche al día con menos de 40 vacas en ordeño. Se trata de establecimientos de pequeñas dimensiones, en donde la unidad productiva se encuentra íntimamente relacionada con la unidad doméstica, conviviendo y compartiendo actividades y recursos. Es así que el abastecimiento de agua se realiza a través de pozos de captación del acuífero freático, utilizándose el agua tanto para consumo doméstico como para la producción tampera (abrevado e higienización de las instalaciones). La extracción se realiza mediante bombas de entre  $\frac{3}{4}$  y 1.5 HP (electrobombas sumergibles o centrífugas) y/o molinos. El acuífero freático está en este sector desarrollado enteramente sobre los Sedimentos Pampeanos, constituidos por limos castaño rojizos de origen eólico (loess) de mediana permeabilidad (Auge, 2005). El nivel freático se encuentra entre 4 y 8 m de profundidad en las cabeceras de las cuencas descendiendo hacia los cauces de los arroyos, siendo el sentido del escurrimiento subterráneo en dirección a estos últimos (Sala et al. 1972). En cuanto a la mineralogía de los Sedimentos Pampeanos, la misma corresponde principalmente a plagioclasas, cuarzo, ortosa y vidrio volcánico, destacándose también la presencia de carbonatos en forma de concreciones, venillas y mantos, localmente conocidos con el nombre de tosca (Teruggi, 1957). El saneamiento doméstico en los tambos se realiza mediante pozos absorbentes con o sin cámara séptica. El agua residual de la actividad de ordeño y elaboración de masa para mozzarella es volcada cruda a cavas, zanjas o bajos naturales.

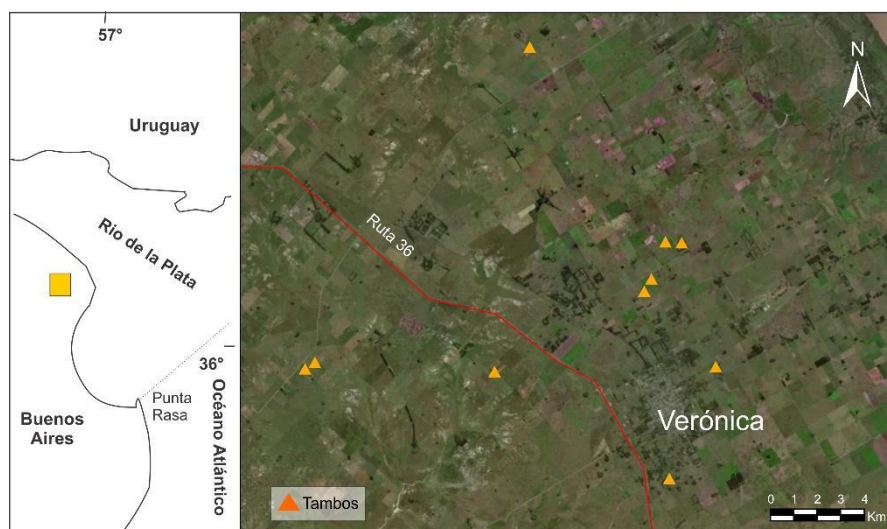
La zona de estudio pertenece a la Cuenca Lechera del Abasto Sur, ubicada en parte sobre la denominada Cuenca del Salado, donde sus características agroecológicas permiten la producción ganadera extensiva sobre pastizales naturales, con algunos suelos aptos para la siembra de pasturas, verdeos o cultivos de reserva, que requieren para su respuesta la aplicación de fertilización química nitrogenada. En estudios

previos se ha reportado la presencia de indicadores de contaminación fecal en el agua subterránea en la totalidad de los tambos analizados (Cellone et. al, 2017).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar los procesos hidroquímicos que regulan la calidad del agua subterránea y la infraestructura de captación desde la que se abastecen tambos maseros del Partido de Punta Indio.

## METODOLOGÍA

Se realizó un muestreo en 10 establecimientos tamberos del partido de Punta Indio durante abril de 2018 (Figura 1). En total se muestrearon 18 perforaciones de abastecimiento incluyendo bombeadores, bombas sumergibles y molinos a diferentes distancias de posibles fuentes puntuales de contaminación (corrales, pozos ciegos, sala de ordeño, vuelco de efluentes). Se relevaron características constructivas de los pozos como son: encamisado, presencia de protección superficial y ubicación. Se determinaron en campo conductividad eléctrica (CE) y pH del agua subterránea mediante un equipo portátil y en laboratorio se determinaron las concentraciones de carbonato, bicarbonato, cloruro, sulfato, nitrato, sodio, calcio, magnesio y potasio (APHA 1998). Posteriormente se calculó el índice de saturación (IS) en calcita para todas las muestras mediante el software de modelado hidroquímico Phreeqc. Los resultados fueron interpretados mediante gráficos de clasificación de aguas y de relaciones iónicas para establecer los procesos que regulan la calidad del agua.

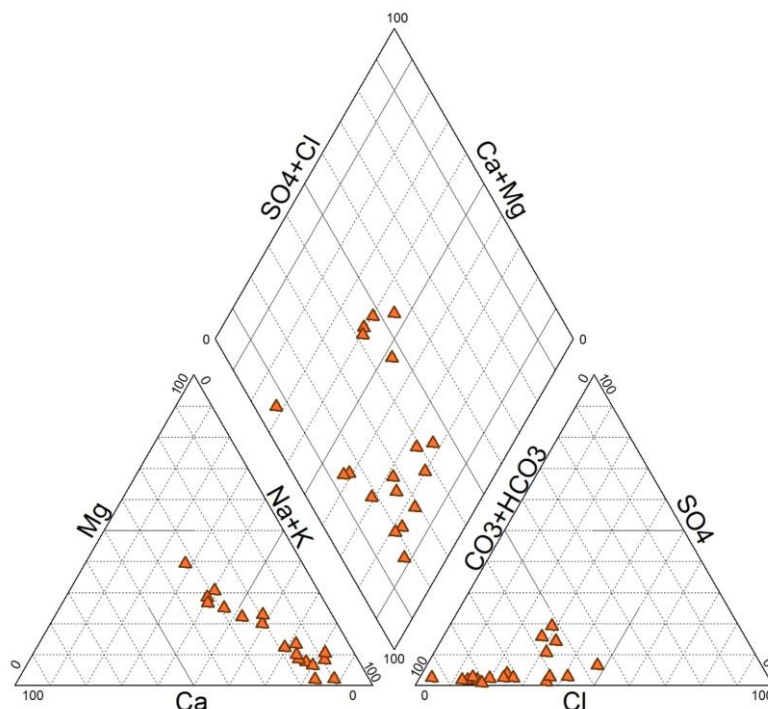


**Figura 1.-** Ubicación de establecimientos tamberos en el Partido de Punta Indio.

## RESULTADOS

Desde el punto de vista constructivo los pozos presentan serias deficiencias de aislamiento y no respetan parámetros sanitarios para su ubicación. En general se trata de pozos únicos que se emplean tanto para el abastecimiento a las viviendas como para abastecer al sector de ordeño. Los usos son múltiples e incluyen el consumo humano, abrevado animal, la limpieza del equipo de ordeño e instalaciones del tambo. Los pozos más alejados a la sala de ordeño e instalaciones del tambo corresponden a molinos utilizados para el abrevado animal. Se desconocen en general las características constructivas de las perforaciones, aún en los casos donde fueron realizadas recientemente. Ninguno de los pozos relevados presenta aislamiento superficial y en el caso de aquellas perforaciones en que se conocen sus características constructivas las mismas no están cementadas y el encamisado alcanza solo los primeros metros superficiales a fin de evitar el desmoronamiento del suelo.

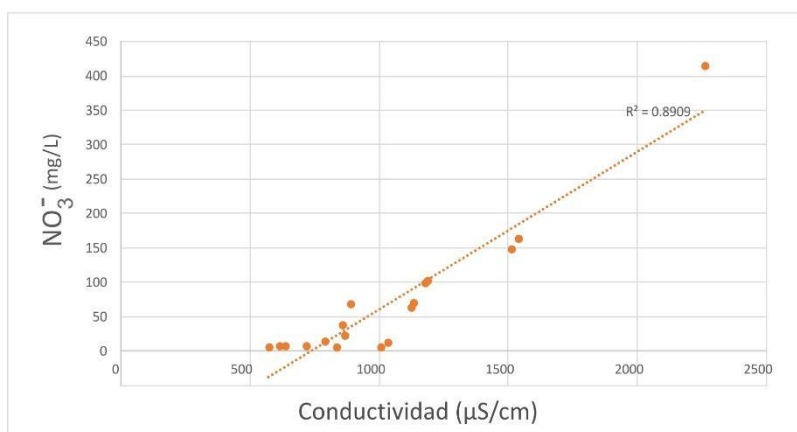
Desde el punto de vista químico, el agua subterránea es principalmente bicarbonatada sódica a bicarbonatada cálcica-magnésica (Figura 2). En cuanto al pH, el mismo varía en todas las muestras entre 7.14 y 8.48 dentro del rango normal para un agua subterránea apta para consumo humano. Por otro lado, la conductividad eléctrica del agua es variable según la perforación considerada, con un rango que va de 573 a 2260  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



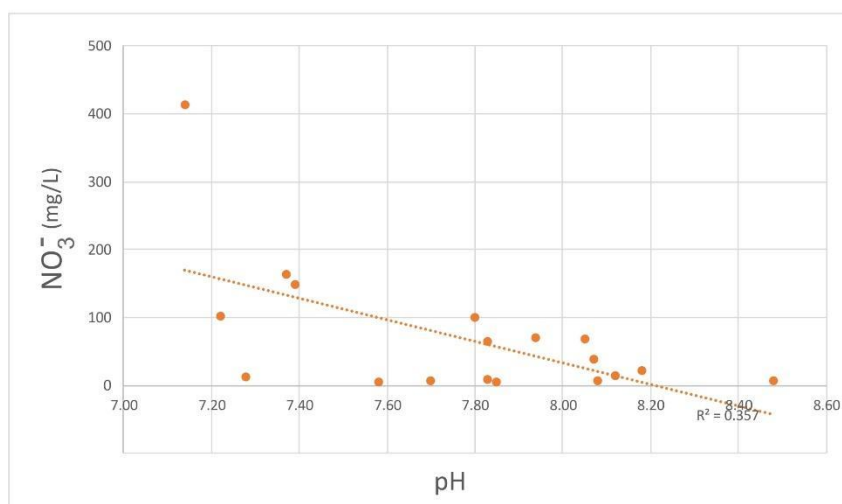
**Figura 2.-** Diagrama Piper de clasificación de aguas. Muestras de agua de pozo de los distintos establecimientos tamberos del Partido de Punta Indio

El contenido de nitratos resulta elevado en un amplio número de pozos. Del total de las perforaciones analizadas, en 8 de ellas se determinaron valores de nitrato que superan el límite de potabilidad de 45 mg/L establecido por el Código Alimentario Argentino (2012).

Si se correlacionan dichos valores de nitrato con la C.E. del agua subterránea medida en campo se obtiene que existe una correlación directa entre ambos con un valor de  $r^2$  de 0.89 (Figura 3). Si se analiza la relación existente entre el contenido de nitrato y el pH del agua subterránea ocurre que la correlación se da en este caso de manera inversa. El valor del coeficiente de correlación  $r^2$ , si bien es bajo, resulta a su vez significativo, con un valor de 0.36 (Figura 4).

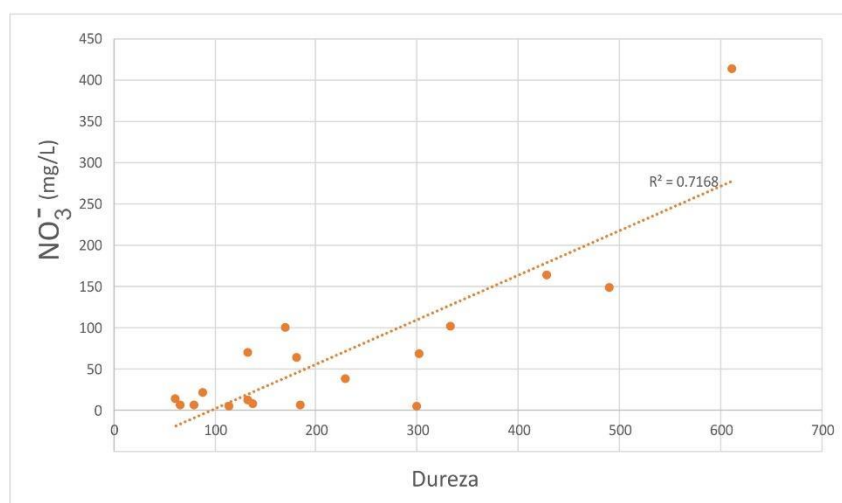


**Figura 3.-** Relación entre el contenido de nitrato y la CE del agua subterránea.



**Figura 4.-** Relación entre el contenido de nitrato y el pH del agua subterránea.

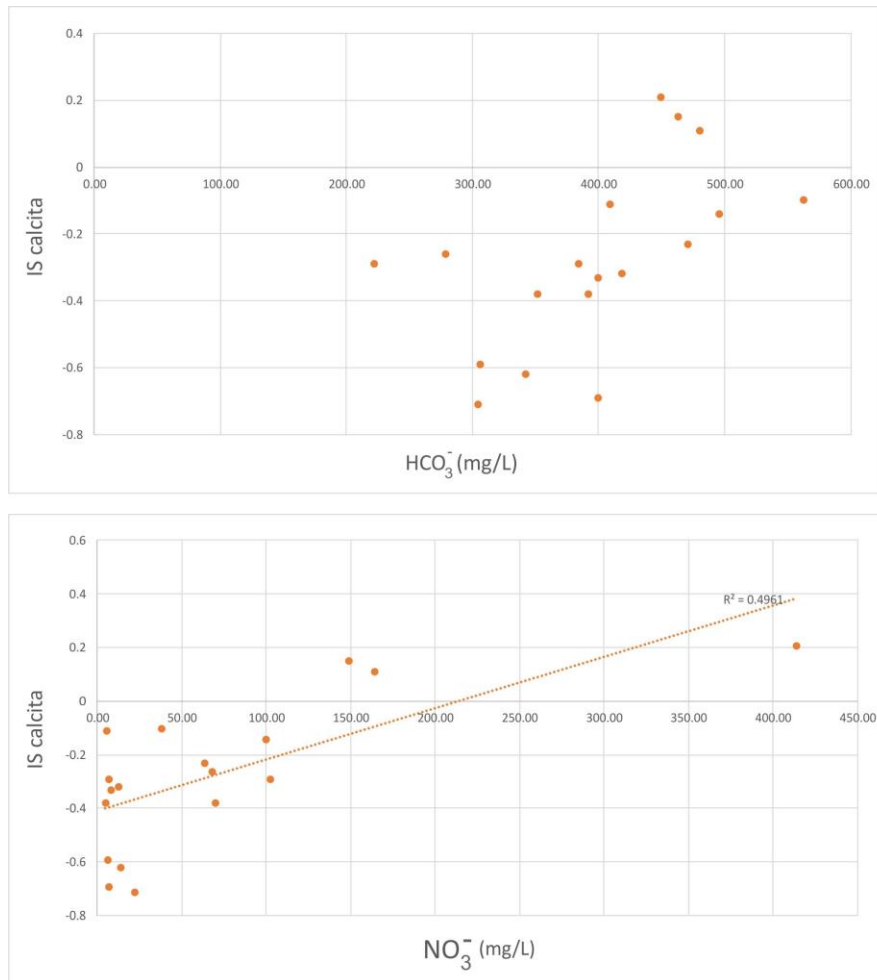
Por otro lado, en cuanto a la dureza del agua subterránea, se determinó en 3 muestras que la misma supera el valor límite de 400 mg/L establecido por el Código Alimentario Argentino (2012) y en otras 3 se encuentra cercana este último. Si se correlacionan los valores de nitrato con la dureza se obtiene que ambos parámetros están relacionados de manera directa con un coeficiente de correlación  $r^2$  de 0.72 (Figura 5).



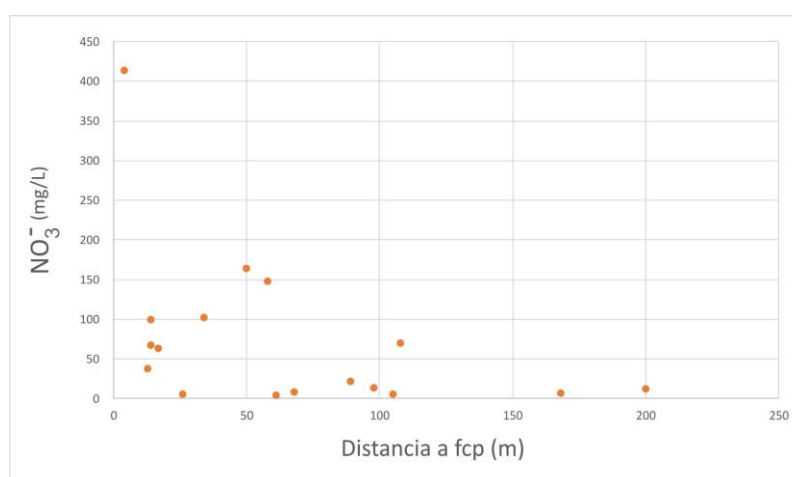
**Figura 5.-** Relación entre el contenido de nitrato y la dureza del agua subterránea.

Los valores de IS en calcita indican que la mayor parte de las muestras están subsaturadas en este mineral, encontrándose 3 por encima del límite de saturación. Si se analiza la relación entre estos valores y el contenido de nitrato, se observa a su vez que los mismos se encuentran relacionados, presentando un coeficiente de correlación  $r^2$  de 0.5. Por otra parte, las 3 muestras que se encuentran saturadas en calcita son aquellas que presentan los mayores valores en el contenido de nitrato (Figura 6).

Otro factor a considerar es la distancia a focos de contaminación puntual. Una de las tendencias observadas es que el contenido de nitrato de las muestras tiende a disminuir a medida que la perforación se aleja de los focos de contaminación. Si bien los valores de distancia corresponden a distintos sitios muestreados, se observa que los mayores contenidos de nitratos se relacionan a distancias menores a los 50 m. (Figura 7).



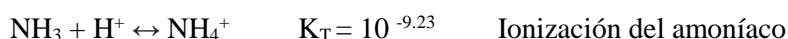
**Figura 6.-** Relación entre índice de saturación en calcita y contenido de bicarbonato y nitrato en mg/L.



**Figura 7.-** Relación entre contenido de nitrato y distancia a focos puntuales de contaminación.

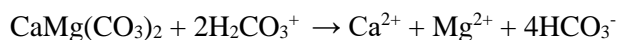
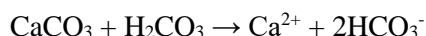
## DISCUSIÓN

Los altos contenidos de nitrato registrados en el agua subterránea en los establecimientos tamberos son atribuibles principalmente a la descomposición del nitrógeno orgánico y la subsiguiente nitrificación del amonio producido por la ionización del amoníaco. Las siguientes ecuaciones ilustran el proceso descrito:



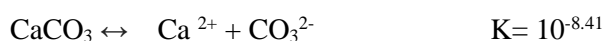
El proceso de nitrificación ocurre bajo condiciones aerobias, por lo que es esperable que se de en la zona no saturada del suelo. Este proceso a su vez acidifica el medio al liberarse protones en la reacción, lo cual explicaría por qué existe una correlación inversa entre la concentración de nitrato en el agua subterránea y el pH.

Es plausible que la acidificación en el medio favorezca la meteorización de los sedimentos carbonáticos presentes en el loess (nódulos y laminaciones de tosca). La liberación de protones como producto del proceso de nitrificación favorece la formación de ácido carbónico, el cual ataca y disuelve a los carbonatos liberando al medio calcio, magnesio y bicarbonato:



La dureza del agua subterránea está representada por una combinación de los cationes calcio y magnesio. El proceso anteriormente descrito favorecería el aumento de la dureza del agua además que es esperable que haya un consecuente aumento en la conductividad eléctrica. Asimismo, dicho proceso lleva a que el agua subterránea tienda hacia la saturación en calcita lo que explicaría por qué los mayores contenidos de nitrato coinciden con los mayores valores del IS en calcita.

A medida que la calcita se disuelve, el  $\text{CO}_3^{2-}$  es convertido en  $\text{HCO}_3^-$  por medio de la reacción con el  $\text{H}^+$ . Esto ocasiona que se disocie más  $\text{H}_2\text{CO}_3$  por lo que entra en solución una mayor cantidad de  $\text{CO}_2$ . Bajo un sistema abierto (Clark, 2015) como el acuífero freático estudiado, donde la fuente de  $\text{CO}_2$  es constante en el sistema, las reacciones tienden a progresar hasta la saturación en calcita.



Los potenciales focos puntuales de contaminación identificados se corresponden a los informados por otros autores (Carbó et. al., 2009; Robertson et al., 2012): pozos absorbentes de las viviendas, corrales de animales, cavas, bajos o zanjas que reciben las aguas residuales de la limpieza de la sala de ordeño y de la sala de elaboración. Estas corrientes contienen elevadas concentraciones de distintas especies de nitrógeno y algunas de ellas patógenos de origen fecal. Herrero et. al. (2012) evaluaron la calidad del agua subterránea en tambos de la cuenca Abasto sur y encontraron una asociación entre el contenido de nitratos y *Escherichia coli*, lo que indica que la presencia de nitratos en el agua subterránea se debía en parte a contaminación de origen fecal.

La falta de conocimiento o conocimiento parcial de las características constructivas de las perforaciones de captación ha sido observada por Moreyra et. al. (2012) en establecimientos agropecuarios familiares de la región pampeana. Los autores también destacan la ausencia de planificación de las perforaciones. En los casos estudiados se observa además la ausencia de planificación de las instalaciones productivas, como ubicación de corrales, locales de ordeño y elaboración. En uno de los establecimientos relevados la perforación fue realizada sobre un corral aledaño al local de ordeño y elaboración. En estos casos parece primar un criterio de cercanía a los puntos de uso del agua, en detrimento de otros que disminuyan el riesgo de contaminación por nitratos y patógenos. A esta situación se suma la ausencia de sistemas apropiados para la depuración de aguas residuales de las actividades productivas.

La distancia de la perforación a fuentes de contaminación es uno de los factores asociados al riesgo de contaminación por nitratos (Carbó et. al., 2008). Las perforaciones relevadas muestran una tendencia hacia la disminución del contenido de nitratos con el aumento de la distancia a fuentes de contaminación. Aun las perforaciones someras con características constructivas simples (molinos) alejados de las fuentes de contaminación arrojaron bajos tenores de nitratos.

## *Calidad de agua para la producción láctea*

La calidad del agua para el lavado de la máquina de ordeño y de los utensilios es importante para producir leche de buena calidad. La dureza y la calidad microbiológica del agua son los aspectos más relevantes a considerar (Herrero et. al., 2002). Valores de dureza por encima de los 380 mg/L disminuyen la eficiencia de limpieza en las ordeñadoras cuando los detergentes no incluyen agentes ablandadores en la proporción adecuada (Iramain et. al., 2001). En los casos estudiados se encontraron valores de dureza superiores a 380 mg/l en perforaciones que abastecen al sector de ordeño y elaboración de 2 establecimientos, mientras que en 3 tambos se observaron valores de entre 300 y 380 mg/l. Estos valores obligan a plantear posibles modificaciones en la rutina de ordeño, ya que el uso de detergentes ácidos no está difundido en los tambos relevados debido principalmente a su costo en relación con otros productos de limpieza.

Las características fisicoquímicas del agua estudiada se encuentran por debajo de los límites de seguridad a partir del cual se ve afectada la producción animal (Bavera, 2011), a excepción del contenido de nitratos. En 7 perforaciones se midieron valores de nitratos de entre 45 y 200 mg/l, cuyo consumo pueden ocasionar problemas en guacheras cuando no hay un adecuado balance nutricional, mientras que en 1 caso se encontraron valores en el rango de 200 a 500 mg/l, donde el consumo crónico aumentan el riesgo de problemas reproductivos (Iramain et. al., 2001).

## CONCLUSIONES

En cuanto a los procesos hidroquímicos que regulan la calidad del agua, los resultados evidencian una clara relación entre los contenidos de nitrato en el agua subterránea y otros parámetros fisicoquímicos como la conductividad, la dureza, el pH y el índice de saturación en calcita. El proceso de nitrificación, al mismo tiempo que aumenta el contenido de nitrato en el agua subterránea, acidifica el medio favoreciendo la disolución de los sedimentos carbonáticos presentes en la matriz del acuífero. Consecuentemente se observa un aumento en la dureza y la conductividad del agua subterránea. La disolución de los carbonatos, a su vez ocasiona que se incorpore CO<sub>2</sub> al acuífero freático por lo que las reacciones tienden a progresar hasta la saturación en calcita como lo evidencian la correlación entre el contenido de nitrato y el IS en calcita. De esta manera el deterioro de la calidad del agua no solamente se da a través del aumento del contenido de nitrato sino que a su vez la calidad se ve afectada por altos valores de dureza y conductividad. Valores de nitrato y dureza del agua por encima de los límites permitidos pueden no solo afectar la salud humana sino también la producción animal y el funcionamiento de las instalaciones del tambo.

La falta de información por parte de los productores respecto a las características de una obra de captación segura, la ausencia de profesionales idóneos y de registro de parámetros fisicoquímicos del medio perforado,

sumado a la falta de control por parte de las autoridades de aplicación, determina que la calidad del agua de los establecimientos productivos dependa de los criterios de los perforistas locales y en gran medida del poder adquisitivo de los productores. Por ello consideramos que los resultados del estudio significan un aporte para definir a nivel local pautas para la construcción de nuevas perforaciones o la toma de decisión respecto a la clausura y relocalización de obras de captación dentro de los predios productivos.

## REFERENCIAS

APHA (American Public Health Association), 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, Twentieth ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC.

Auge, M. P., 2005. Hidrogeología De La Plata, Provincia De Buenos Aires. XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata Argentina, 2(1428), 293–311.

Bavera G., 2011. *Aguas y aguadas para el ganado*. 4º Ed. Imberti-Bavera. 500 p.

Carbó, L; Flores, M., Herrero, M.A., 2009. *Well site conditions associated with nitrate contamination in a multilayer semiconfined aquifer of Buenos Aires, Argentina*. Environmental Geology. 57 (7). pp 1489-1500.

Cellone, F; Córdoba, J; Butler, L; Lamarche, L., 2017. *Calidad de agua para fines múltiples en establecimientos tamberos del Partido de Punta Indio*. 6º Congreso de Ciencias Ambientales.

Clark, I., 2015. *Groundwater geochemistry and isotopes*. CRC press.

Cellone, F.; Córdoba J.; Butler L.; Lamarche L. 2017. Calidad de agua para fines múltiples en establecimientos tamberos del partido de Punta Indio. 6º Congreso de Ciencias Ambientales -COPIME 2017.

Código Alimentario Argentino., 2012. *Bebidas hídricas, agua y agua gasificada*. Capítulo XII.

Herrero, M.A., Iramain, M.S., Korol, S., Buffoni, H., Flores, M. y Fortunato, M., 2002. *Calidad de agua y contaminación en tambos de la cuenca lechera de Abasto Sur, Buenos Aires (Argentina)*. Rev. Arg. De Prod. Anim, 22(1), pp.61-70.

Iramain, M.S., Nosetti, L., Herrero, M.A., Maldonado May, V., Flores, M. and Carbó, L., 2001. *Evaluación del uso y manejo del agua en establecimientos lecheros de la provincia de Buenos Aires, Argentina*. En III Encuentro de las Aguas (pp. 1-11). IICA.

Moreyra, A., Puricelli, M., Mercader, A., Rey, M.I., Córdoba, J. y Marsans, N., 2012. *El acceso al agua de los agricultores familiares de la región pampeana: un análisis multidimensional*. Mundo agrario, 12(24).

Provincia de Buenos Aires, 1999. *Ley N° 12.257, Código de Aguas*.

Robertson, W. D., Moore, T. A., Spoelstra, J., Li, L., Elgood, R. J., Clark, I. D., Schiff, S. L., Aravena, R., and Neufeld, J. D., 2012. Natural attenuation of septic system nitrogen by anammox. *Ground Water*, 50: 541–553. doi: 10.1111/j.1745-6584.2011.00857.

Sala, J. et al., 1972. Contribución al estudio geohidrológico del noreste de la provincia de Buenos Aires. EASNE-CFI. Serie. Tec 24.

Teruggi, M. E., 1957. The nature and origin of Argentine loess. *Journal of Sedimentary Research*, 27(3).