Naturalis
Repositorio Institucional
http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar

Universidad Nacional de La Plata
Facultad de Ciencias Naturales y Museo

Evaluación del contenido de nitratos en agua subterránea en áreas rurales asociadas a tambos

Pugliese, Irina Noé
Licenciado en Geología

Dirección: Carol, Eleonora
Co-dirección: Cellone, Francisco

Facultad de Ciencias Naturales y Museo
2018

Acceso en:
http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/id/20190828001691

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Naturalis Repositorio Institucional
FCNyM - UNLP

EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE NITRATOS EN AGUA SUBTERRÁNEA EN ÁREAS RURALES ASOCIADAS A TAMBOS

Autor: Irina Noé Pugliese

Directores:

Dra. Eleonora Carol

Lic. Francisco Cellone

Trabajo Final de la Licenciatura en Geología de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo
Universidad Nacional de La Plata

2018

RESUMEN

El nitrato es uno de los contaminantes más frecuentes en las aguas subterráneas tanto en áreas urbanas como rurales. En estas últimas puede provenir de fertilizantes nitrogenados en el caso de la actividad agrícola, mientras que en la ganadería se relaciona a fuentes puntuales como tambos y feed lots. Las elevadas concentraciones de nitratos en el agua para abastecimiento pueden ser perjudiciales para la salud humana. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el contenido de nitratos en agua subterránea en áreas rurales asociadas a tambos del Partido de Punta Indio. Se caracterizaron los principales acuíferos de la zona, tipos de suelo, clima y se realizó un balance del agua en el suelo. Se relevaron 9 establecimientos tamberos, donde se evaluaron las características constructivas de 19 perforaciones, distancia a fuentes puntuales de contaminación y sentido de escurrimiento superficial. Se efectuaron muestreos periódicos donde se midieron conductividad eléctrica y pH del agua subterránea y se determinó el contenido de nitratos en laboratorio. Desde el punto de vista químico el agua subterránea presenta pH y salinidad variables y en algunas perforaciones valores de contenido de nitrato por encima de los límites permitidos para consumo humano. Los valores del contenido de nitrato se encuentran significativamente correlacionados a los valores de pH, conductividad, además de que tienden a disminuir en perforaciones alejadas de fuentes puntuales de contaminación o aguas arriba de las mismas. Los valores de nitrato en el agua subterránea durante el año hidrológico considerado no varían significativamente. 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 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.

ABSTRACT

Nitrate is one of the most frequent pollutants in groundwater in both urban and rural areas. In agricultural zones, it is related to nitrogen fertilizers, while in livestock farming zones is related to point sources such as milking yard farms and feed lots. High nitrate concentrations in water can be harmful to human health. The aim of this work was to evaluate the nitrate content of groundwater in milking yard farms in Punta Indio. A characterization of the main aquifers in the area, soil types, climate and a soil water balances were performed. A groundwater sampling was performed in 19 wells in 9 different milking yard farms along a year. Distance to different point sources of pollution and surface runoff were evaluated and electrical conductivity and pH were measured in the field. Water samples were collected in order to determine nitrate content in laboratory. Results point out that groundwater has variable pH and conductivity values and nitrate content is above Argentinian drinking water quality standards in some wells. Nitrate content also shows a correlation with conductivity and pH while it tends to decrease with distance to pollution point sources. In general, nitrate content does not show significative changes along a year. Groundwater pollution may cause problems in farmers health but also it might affect the milking yard farm production and their facilities and would be also related to microbiological water pollution. This study is the first contribution to set a local groundwater management plan to guarantee water quality for supply.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 3
OBJETIVOS 3
METODOLOGÍA 4
RESULTADOS 6
Características geohidrológicas del área de estudio 6
Características de las perforaciones monitoreadas y concentración de nitratos para cada establecimiento tambero 10
DISCUSIÓN 27
CONCLUSIONES 29
BIBLIOGRAFÍA 30

INTRODUCCIÓN

El nitrato constituye la forma más oxidada, estable y móvil de las especies del nitrógeno en solución y tiene su origen generalmente en fuentes de nitrógeno exteriores al sistema acuífero (Spalding y Exner 1993, Perdomo et al. 2001). La contaminación por nitratos es una de las principales causas de deterioro del agua subterránea, siendo éste el contaminante más común en muchas regiones urbanas y rurales del país. En los centros urbanos o suburbanos carentes de servicios cloacales, los nitratos derivan de la degradación de la materia orgánica, mayormente de origen fecal (Auge y Nagy 1996, Picone et al. 2003, Carol 2004, Saracho et al. 2005). Los pozos ciegos domiciliarios en los que se vierten los desechos fecales son fuentes principales de emisión. En las áreas suburbanas y rurales los compuestos nitrogenados agregados al suelo, como los fertilizantes, abonos y residuos orgánicos también constituyen fuentes de nitratos al agua subterránea. Por su parte, la ganadería extensiva no aporta localmente importantes concentraciones de nitratos al suelo. Sin embargo, el creciente desarrollo de feed lot y tambos hace que existan en la actividad ganadera fuentes puntuales de aportes de nitratos que pueden afectar al agua subterránea (Borzi et al. 2017, Cellone et al. 2017).

En los tambos, las excretas de las vacas y los efluentes derivados de la limpieza de los animales y del mismo tambo constituyen fuentes de nitratos que pueden infiltrar y alcanzar a los niveles acuíferos más someros y contaminar a las perforaciones de abastecimiento de los pobladores aledaños. La evaluación del contenido de nitratos en el agua de abastecimiento humano es de suma importancia ya que elevadas concentraciones de este anión pueden traer problemas para la salud asociados principalmente el desarrollo de metahemoglobinemia (World Health Organization, 1996). El límite de potabilidad establecido por el Código Alimentario Argentino para agua potable de uso domiciliario es de 45 mg/L (Codigo Alimentario Argentino, 2012). La población más vulnerable son los lactantes menores a tres meses alimentados con biberón, aunque se han notificados casos en personas adultas.

OBJETIVOS

El objetivo general del plan de tesis de grado es evaluar el contenido de nitratos en el agua subterránea en áreas rurales asociadas a tambos localizadas dentro del partido de Punta Indio.

Los objetivos específicos incluyen:

- Caracterizar los acuíferos dentro del área de estudio.
- Identificar áreas potencialmente sensibles a la contaminación por nitratos.
- Determinar la potabilidad del agua subterránea en relación al contenido de nitratos.

-Elaborar modelos conceptuales donde se muestren los principales procesos que determinan la presencia y concentración de nitratos en el agua subterránea.

- Generar pautas de manejo del recurso hídrico que tiendan a la preservación la calidad del agua.

METODOLOGÍA

En una primera instancia se efectuó una recopilación de información antecedente tanto del área de estudio como aquella asociada a la contaminación de agua subterránea por nitratos.

Se realizaron relevamientos de establecimientos tamberos dentro del partido de Punta Indio (Fig. 1) en el marco del proyecto especial Prohuerta "Acondicionamiento de la infraestructura hídrica para el acceso a agua segura para el consumo y producción en establecimientos familiares Tamberos-Maseros "del cual participan el INTA CT Cuenca Norte, el IPAF Región Pampeana, la Municipalidad de Punta Indio y el Centro de Investigaciones Geológicas. Para cada establecimiento se efectuó una descripción de las características geomorfológicas y del escurrimiento superficial a partir un Modelo Digital de Elevación (DEM), imágenes satelitales Google Earth, cartas topográficas y relevamientos de campo.

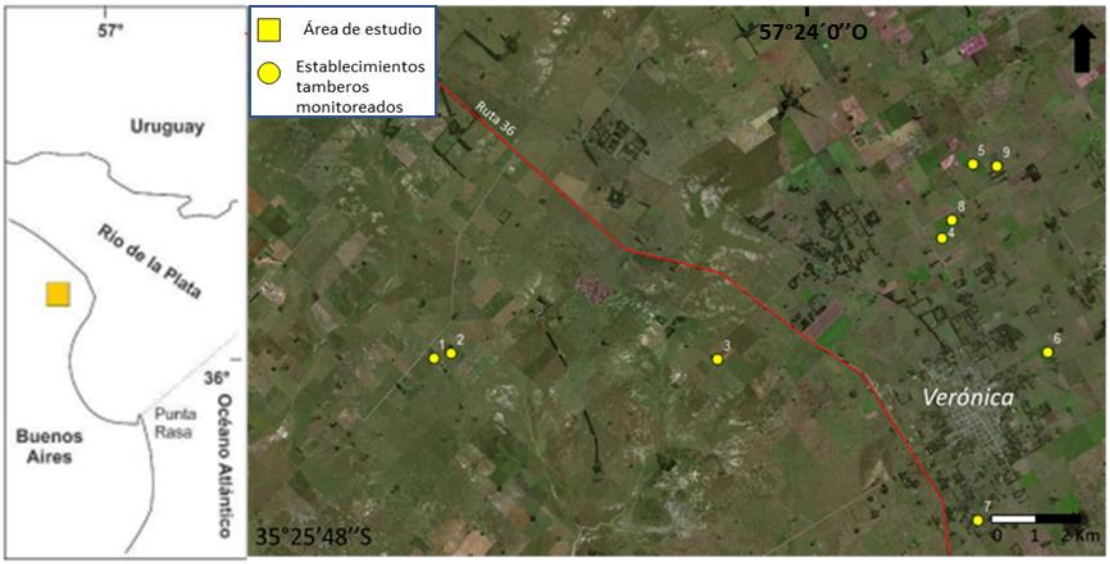

Figura 1: Ubicación del área de estudio y de los establecimientos tamberos monitoreados.

La hidrogeología del área de estudio, en la que se enmarcan los establecimientos tamberos, se definió en detalle a partir del análisis de descripciones de perforaciones de pozos de abastecimiento de agua de la localidad de Verónica aportadas por el Servicio Provincial de Agua

Potable y Saneamiento Rural (SPAR). Estos registros contienen la información litológica de las perforaciones efectuadas al acuífero multicapa (freático y semiconfinado) que se utiliza para abastecimiento.

Para el estudio del régimen de precipitaciones y la realización de balances hídricos mediante la metodología de Thornthwaite y Mather (1957) se utilizaron los datos de precipitaciones y temperaturas diarias registrados por el Servicio Meteorológico Nacional en la Base Aeronaval de Punta Indio (BAPI) de coordenadas 35° 20'53'' S, 57° 17' 40'' O correspondientes al periodo 1926-2016. La reserva de agua útil máxima del suelo se estableció en un valor de 100 mm teniendo en cuenta las características del suelo de la región estudiada. Mediante el balance modular se estimaron la evapotranspiración real (ETR) y los excesos y déficits hídricos para caracterizar el régimen hidrológico regional en el que se enmarca el área de estudio.

En cada establecimiento tambero se tomaron muestras de agua de todas las perforaciones existentes dentro del predio del tambo, las cuales comprenden bombas de mano, molinos y bombas sumergibles según el caso. En los sitios donde existían perforaciones aledañas al tambo de otros privados también se recolectaron muestras. Durante los muestreos se relevaron las instalaciones de los tambos a fin de ubicar las posibles fuentes de contaminación (área de ordeñe y lavado, drenajes de excretas, etc.) respecto del drenaje y de la ubicación de las perforaciones. También se prestó atención a la construcción y mantenimiento de las perforaciones en relación a si disponían de sello impermeabilizante, si estaban aisladas de los focos de contaminación.

Las muestras extraídas, previa purga de los pozos, fueron rotuladas y preservadas en heladera hasta su análisis. In situ se determinó el pH y la conductividad eléctrica del agua con un equipo portátil. En laboratorio se determinó el contenido de nitratos mediante método estandarizado (APHA 1998) en el Laboratorio de Geoquímica del Centro de Investigaciones Geológicas (Fig. 2). Los datos analizados en esta tesis corresponden a muestreos efectuados el 2 de junio, 10 de agosto, 21 de noviembre del 2017 y el 3 de abril del 2018. Cabe aclarar que la medición de parámetros in situ solo pudo efectuarse en los muestreos realizados en junio de 2017 noviembre de 2017 y abril de 2018, donde la tesista realizo la toma de muestras. El muestreo de agosto de 2017 fue efectuado por el municipio de Punta Indio quien envió las muestras refrigeradas al laboratorio del CIG.

Figura 2: Realización de determinaciones de contenido de nitrato en el Laboratorio de Geoquímica del Centro de Investigaciones Geológicas.

Todos los datos obtenidos fueron volcados en un sistema de información geográfica (SIG) el que se utilizó para analizar las variaciones espaciales del contenido de nitratos en relación a las fuentes de contaminación.

RESULTADOS

Características geohidrológicas del área de estudio

Los nueve establecimientos tamberos estudiados se ubican en el área de planicie continental loessica donde las cotas varían entre cotas entre 15 y 25 m snm (Fig. 3). De ellos, seis se localizan en el sector de divisorias entre los arroyos menores que drenan al Río de la Plata y la cuenca del río Samborombón, y tres en la cuenca alta del río Samborombón.

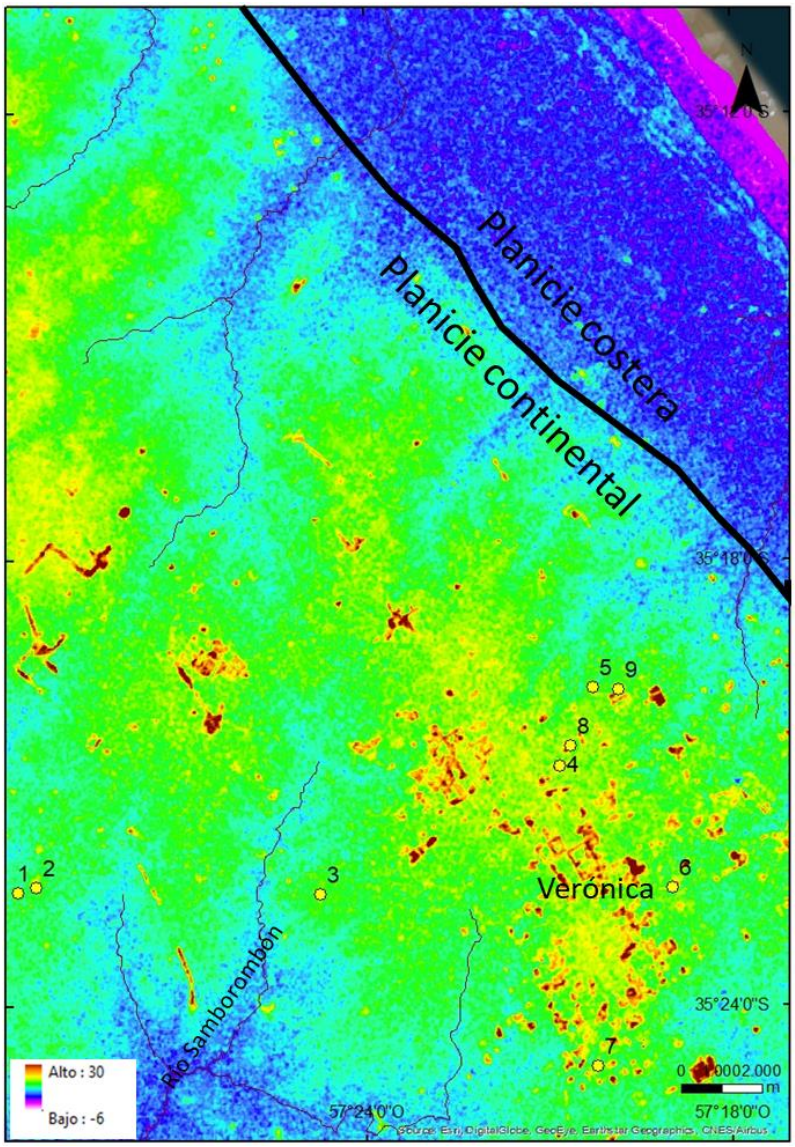

Figura 3: Modelo digital de elevación del terreno para el área de estudio con la ubicación de los establecimientos tamberos en círculos amarillos.

En estas zonas de las cuencas fluviales los suelos son imperfectamente drenados dominantemente de tipo Hapluder Típico según la clasificación Soil Taxonomy (USDA, 2010). Los mismos pertenecen a la serie de Verónica, donde los perfiles de suelos se caracterizan por la presencia de horizontes A, Btss, BCsskn, Ckn.

El clima de la región es templado húmedo observándose según el análisis de precipitaciones diarias para el periodo 1926-2016 que la media de las precipitaciones anuales es de 944,7 mm, siendo el año más lluvioso 1993 con 1704,5 mm y el más seco 1979 con 476,5 mm (Fig. 4).

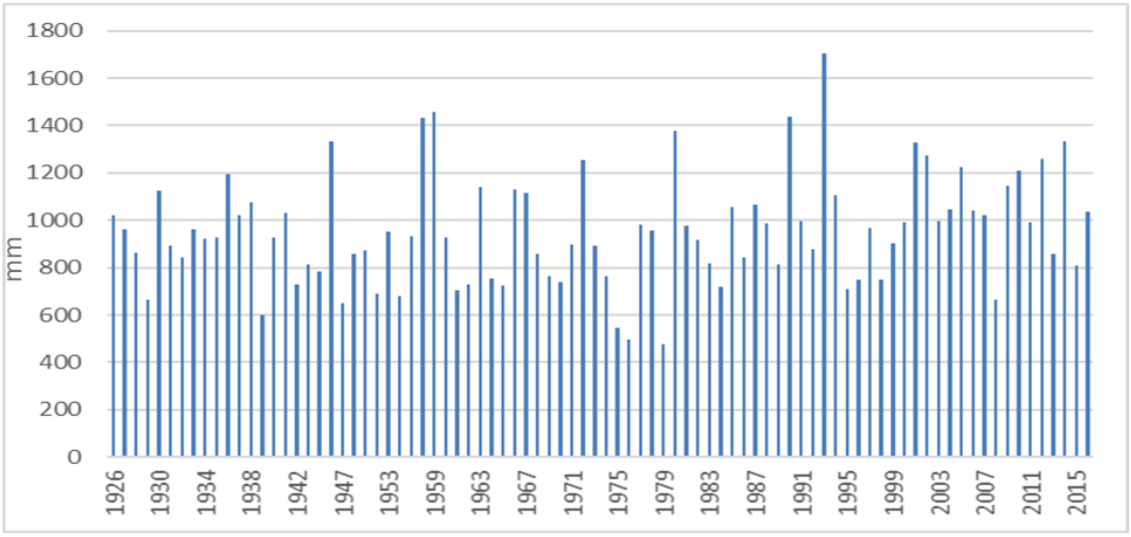

Figura 4: Precipitaciones anuales para el periodo 1926-2016.

El balance hídrico mensual para el periodo 1996-2016 (Fig. 5) muestra que los meses más lluviosos son enero y febrero. Los excedentes hídricos ocurren preferencialmente entre los meses de febrero y noviembre mientras que los déficits ocurren en los meses de enero y diciembre donde la evapotranspiración domina por sobre la precipitación. Para este periodo la precipitación media anual es de 1087,2 mm, alcanzando la evapotranspiración potencial anual un valor de 810,3 mm.

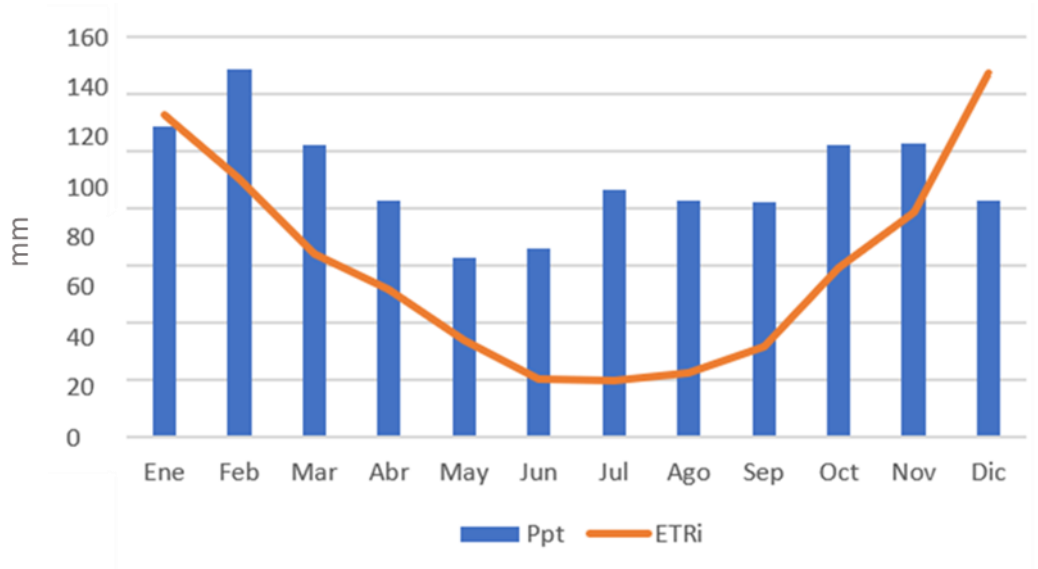

Figura 5: Balance hídrico mensual para las precipitaciones medias del periodo 1996-2016.

Los sedimentos que afloran en toda el área de planicie continental son limos de colores castaños correspondientes a los depósitos loessicos pleistocenos de la Fm. Pampeano o Sedimentos Pampeanos (Ameghino, 1908). Según el análisis de los registros litológicos de las perforaciones de agua (Fig. 6) los Sedimentos Pampeanos en el área de estudio poseen un espesor de 42 m y

están dominados por limos con intercalaciones arcillosas y niveles de tosca. En estos sedimentos se aloja el acuífero freático que almacena agua de baja salinidad.

Por debajo de estos sedimentos existe una capa arcillosa de 13 m de espesor a la cual subyacen sedimentos arenosos correspondientes a la Fm. Puelches (Santa Cruz, 1972). La Fm. Puelches muestra en las perforaciones analizadas en esta tesis un espesor del orden de los 30 m y una composición dominada por arenas medianas a finas de composición silícea. En estos sedimentos se aloja el acuífero semiconfinado que es la principal fuente de abastecimiento de la región (Santa Cruz, 1972). Los datos relevados en estas perforaciones, así como la información antecedente indican que el agua es de baja salinidad generalmente con tenores salinos inferiores a 1 g/L (Cellone y Carol, 2015). Por debajo de la Fm. Puelches se encuentra una arcilla verdosa correspondiente a la Fm. Paraná, la cual en el área de estudio se ubica a 76 m bbp (Fig. 6).

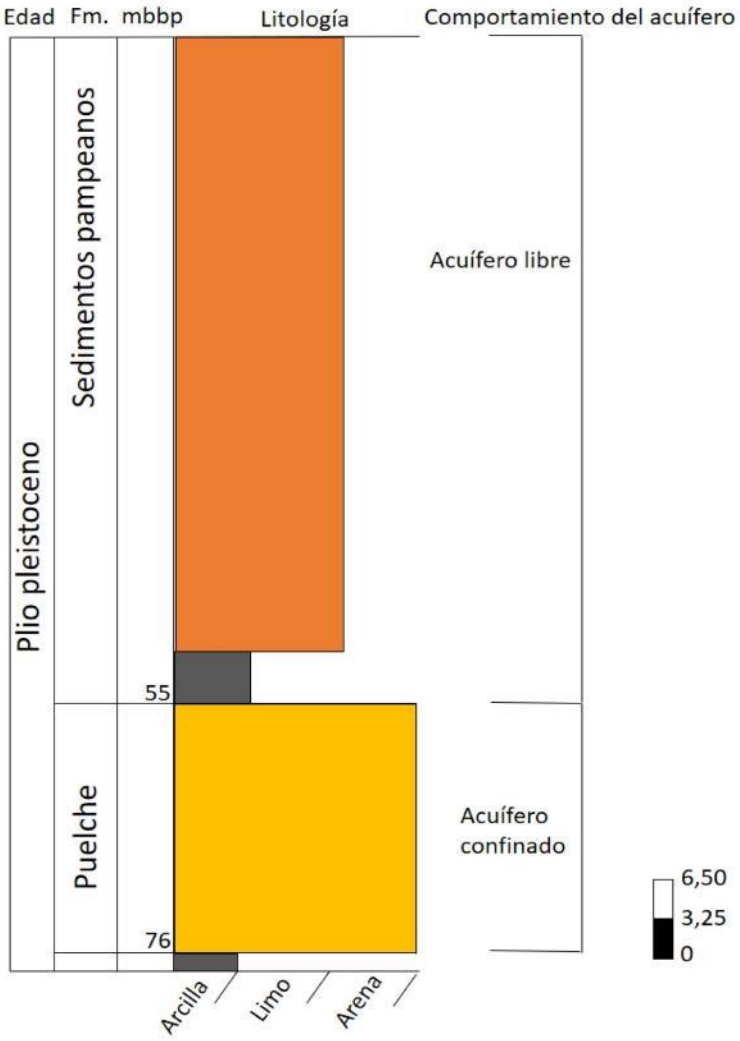

Figura 6: Detalle de columna estratigráfica obtenida a partir de las descripciones litológicas hechas por el SPAR a partir de perforaciones ubicadas en la localidad de Verónica.

Características de las perforaciones monitoreadas y concentración de nitratos para cada establecimiento tambero

Los relevamientos de campo permitieron hacer una descripción detallada de cada uno de los establecimientos muestreados en función de las características del medio físico, la distribución dentro de la propiedad de la o las perforaciones de agua subterránea y de las instalaciones propias de cada tambo.

El predio N°1 se encuentra en el sector de cabecera de la cuenca del río Samborombón (Fig. 1 y 3). El mismo cuenta con tres perforaciones al acuífero freático, las cuales se encuentran protegidas por una cubierta de chapa o cemento (Fig. 7). La Bomba A y la bomba manual se encuentran en una vivienda del mismo establecimiento localizada cerca de 100 m al N del tambo (Fig. 8) y la bomba B, se ubica al NE del tambo, a una distancia de 14 m.

Las instalaciones del tambo son precarias mostrando una zona de ordeñe techada y un corral lateral. En el mismo el agua del lavado de las instalaciones y desechos del ganado escurre por el suelo hacia las zonas más deprimidas. Este sector de ordeñe y corral constituye dentro del predio el principal foco de contaminación por desechos orgánicos.

Figura 7: a) bomba manual, b) bomba A, c) bomba B, d) zona de ordeñe del tambo.

El análisis de las concentraciones de nitratos en las perforaciones anteriormente descriptas pone en evidencia que las mayores concentraciones (con valores entre 100 y 136 mg/L, según el periodo muestreado) se encuentran en la bomba B, la cual se ubica próxima al sector de ordeñe y corral (Tabla 1, Fig. 7). En las perforaciones ubicadas 100 m hacia el norte (bomba manual y bomba A) las concentraciones de nitratos son bajas presentando en todos los muestreos valores inferiores a 30 mg/L (Tabla 1, Fig. 9). Respecto de los valores de pH y conductividad eléctrica del agua medidos en campo, los valores oscilaron entre 7,78 y 8,18, y entre 826 y 1255 µS/cm respectivamente.

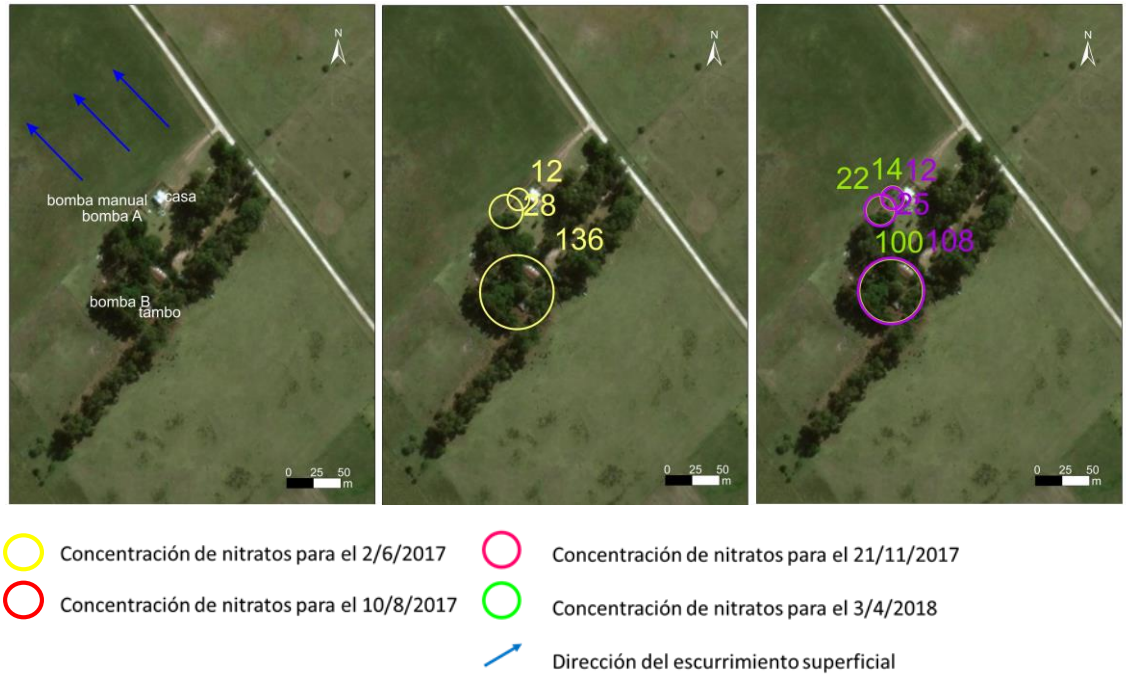

Figura 8: Ubicación de los puntos de muestreo, dirección del escurrimiento preferencial en superficie según la pendiente y concentración de nitratos a lo largo del periodo muestreado para el predio N°1.

Tabla 1: Contenido de nitratos en mg/L en agua subterránea para los cuatro muestreos realizados y valores promedio de pH y conductividad eléctrica del agua.

Fecha de toma de muestras		2/6/2017	10/8/2017	21/11/2017	3/4/2018	pH	Conductividad (µS)
N° tambo	Instalacion	[NO3] mg/L	[NO3] mg/L	[NO3] mg/L	[NO3] mg/L	promedio	promedio
1	BOMBA MANUAL	12	SD	12	14	8,01	826
	BOMBA A	28	SD	25	22	8,18	846
	BOMBA B	136	SD	108	100	7,78	1255
2	MOLINO A	84	SD	53	64	7,83	1180
	MOLINO B	8	SD	9	SD	8,32	835
3	BOMBA	6	5	6	5	7,46	565
	MOLINO	5	3	4	7	7,70	643
4	BOMBA	78	66	SD	68	8,05	889
	MOLINO	SD	SD	SD	102	7,22	1189
5	BOMBA	6	5	6	6	7,91	837
	MOLINO	SD	5	12	SD	7,60	835
6	BOMBA A	379	374	554	414	7,06	2437
	BOMBA B	79	42	72	70	7,89	1153
	MOLINO	SD	SD	SD	164	7,37	1540
	BOMBA C	SD	SD	SD	13	7,28	1036
7	BOMBA	69	34	42	38	8,00	894
	MOLINO	8	4,5	12	8	7,85	715
8	BOMBA	115	77	169	149	7,36	1350
9	BOMBA	5	SD	5	5	7,76	997

El predio N°2 se encuentra próximo al predio N°1 en el sector de cabecera de la cuenca del río Samborombón (Fig. 1). Las instalaciones del tambo son precarias mostrando una zona de ordeñe techada con paredes de chapa, cubriendo dos de sus laterales y un sector alambrado lateral tipo corral (Fig. 9). En el mismo el agua del lavado de las instalaciones y desechos del ganado escurre por el suelo hacia las zonas más deprimidas. Este sector de ordeñe y corral constituye dentro del predio el principal foco de contaminación por desechos orgánicos.

Figura 9: a) Bomba, b) molino, c) tambo.

El predio cuenta con dos perforaciones que extraen el agua a partir de molinos. El molino A, se encuentra a 20 m al norte del foco de contaminación en la zona alta del terreno y el molino B a 180 m al SE aguas abajo (Fig. 10) del escurrimiento superficial según la pendiente del terreno. Acumulación en superficie de efluentes de estos desechos también se observan próximos a las perforaciones.

Las muestras de aguas en el molino A presentaron en los distintos periodos muestreados concentraciones de nitratos entre 53 y 84 mg/L asociadas a valores promedio de pH de 7,83 y de conductividad eléctrica de 1180. En el molino B las concentraciones de nitratos registradas fueron en todos los casos inferiores a 10 mg/L, el pH promedio fue de 8,32 y la conductividad eléctrica de 835 µS/cm (Tabla 1).

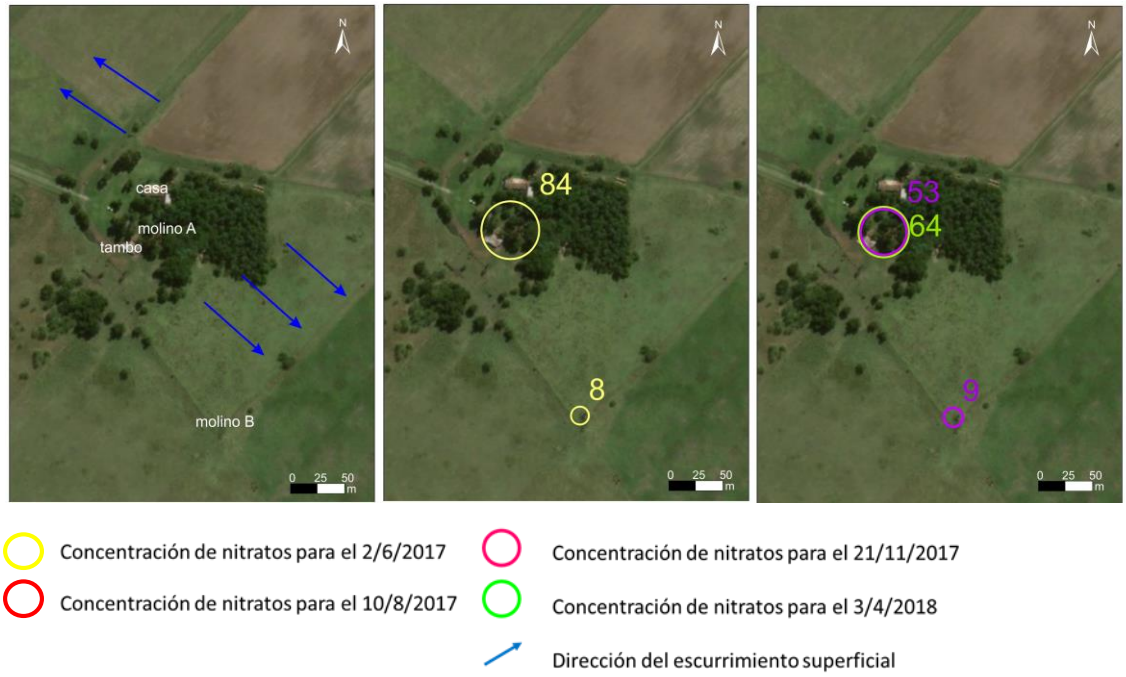

Figura 10: Ubicación de los puntos de muestreo, dirección del escurrimiento preferencial en superficie según la pendiente y concentración de nitratos a lo largo del periodo muestreado para el predio N°2.

El predio N°3 se localiza también en el sector de cabeceras del río Samborombón en las proximidades de la ruta 36 (Fig. 1). Las instalaciones del tambo son precarias mostrando una zona de ordeñe techada y un corral lateral. En el mismo el agua del lavado de las instalaciones y desechos del ganado escurre por el suelo hacia las zonas más deprimidas. Este sector de ordeñe y corral constituye dentro del predio el principal foco de contaminación por desechos orgánicos.

Figura 11: a) molino b) base del molino.

Este predio cuenta con dos perforaciones de agua, una de ellas es una bomba ubicada a 14 m al E del foco contaminante, y la otra es un molino (Fig. 11), ubicado 150 m al NE aguas arriba en relación al escurrimiento superficial según la pendiente del terreno (Fig. 12). En ambos casos las perforaciones registraron bajas concentraciones de nitrato (menor a 10 mg/L) con pH entre 7,46 y 7,70 y conductividad eléctrica entre 565 y 643 µS/cm (Tabla 1).

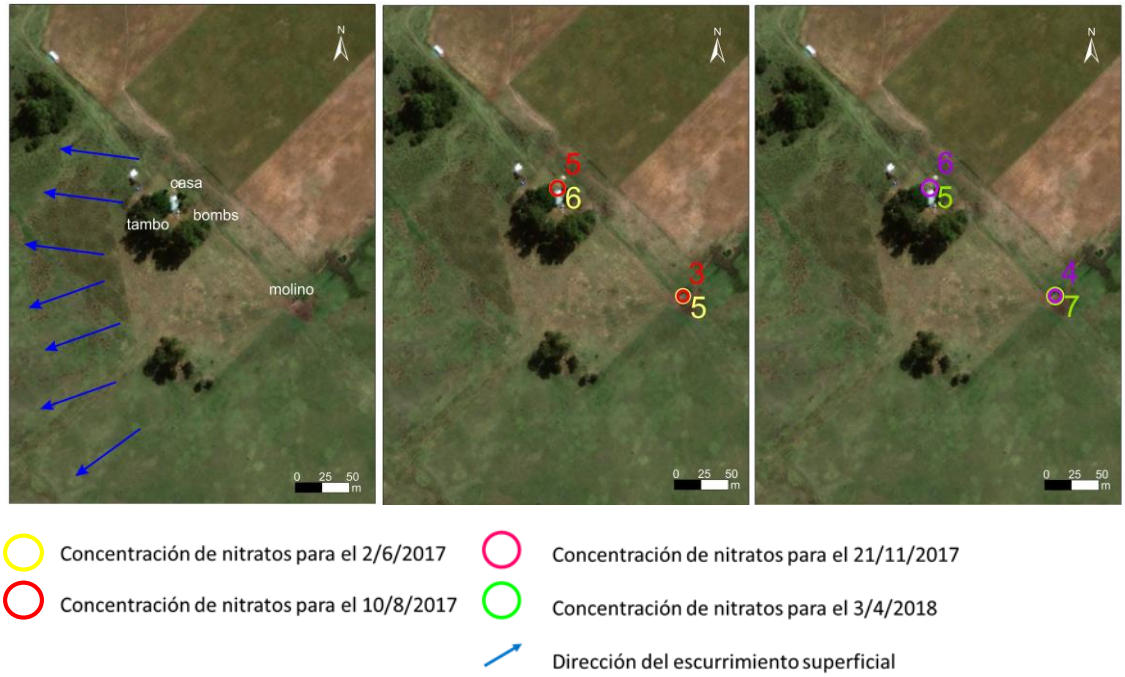

Figura 12: Ubicación de los puntos de muestreo, dirección del escurrimiento preferencial en superficie según la pendiente y concentración de nitratos a lo largo del periodo muestreado para el predio N°3.

El predio N°4 se localiza en el sector de divisoria entre los arroyos menores que drenan al Río de la Plata y a la cuenca de rio Samborombón, en las proximidades de la ruta 36 (Fig. 1). El tambo cuenta con una zona de ordeñe techada, sostenida por una estructura de madera con una base de hormigón impermeable (Fig. 13) y un corral lateral. El agua que se utiliza para la limpieza de las instalaciones y los desechos del ganado escurren con la pendiente hacia zonas deprimidas. Debido a esto la sala de ordeñe y el corral constituyen dentro del predio el principal foco de contaminación para el agua de las perforaciones.

Figura 13: a) Bomba, b) molino, c) zona de ordeñe del tambo.

El predio presenta dos perforaciones que extraen el agua a partir de una bomba y un molino (Fig. 14). La bomba se ubica se a 8 m al N del foco contaminante, y el molino a 32 m al NO de dicho foco (Fig. 14).

Las muestras de aguas en la bomba presentaron en los distintos periodos muestreados concentraciones de nitratos entre 66 y 78 mg/L asociadas a valores promedio de pH 8,05 y conductividad eléctrica de 889 µS/cm. En el molino la concentración de nitratos registrada fue de 102 mg/L, el pH promedio fue de 7,22 y la conductividad eléctrica 1189 µS/cm (Tabla 1). Si se analizan las concentraciones en el tiempo y espacio se aprecia que no hay una gran variación en el contenido de nitratos (Tabla 1), observándose que ambas perforaciones sobrepasan el límite permitido de nitratos para potabilidad del agua.

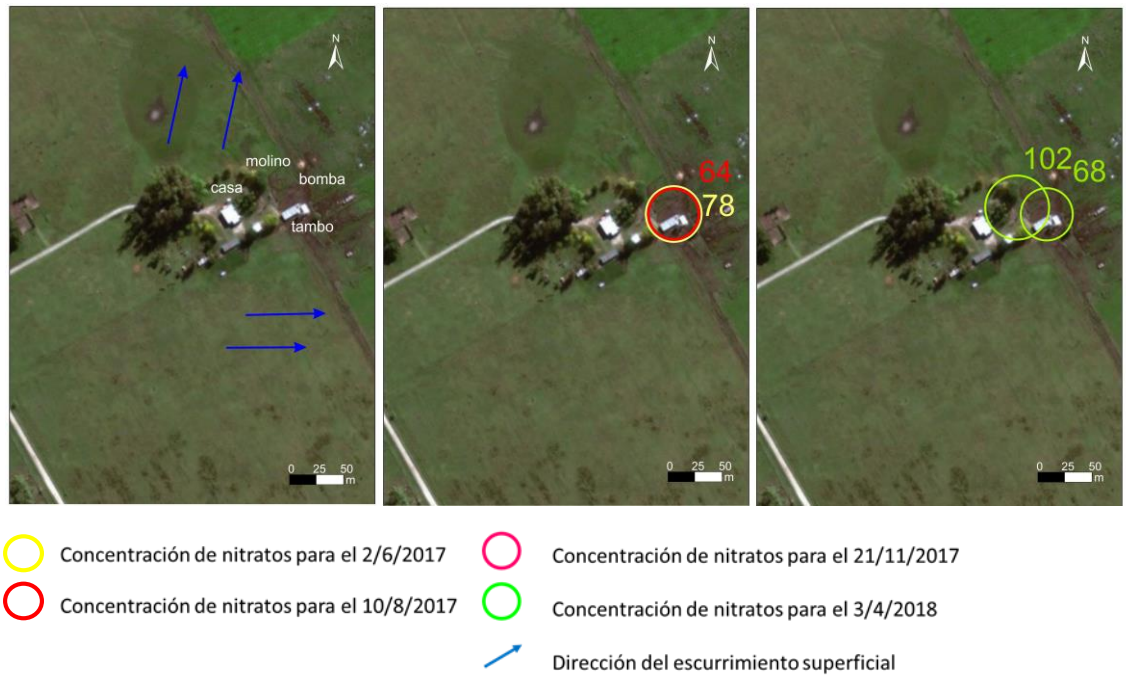

Figura 14: Ubicación de los puntos de muestreo, dirección del escurrimiento preferencial en superficie según la pendiente y concentración de nitratos a lo largo del periodo muestreado para el predio N°4.

El predio N°5 se localiza en el sector de divisorias de cuenca (Fig. 1). La sala de ordeñe del tambo cuenta con paredes y techo de chapa, sostenidos por una estructura de madera siendo el piso del mismo de tierra y contando al igual que en los anteriormente descriptos de un corral lateral. (Fig. 15). En el mismo el agua del lavado de las instalaciones y desechos del ganado escurre por el suelo hacia las zonas más deprimidas. Particularmente en este predio el agua también es acumulada en una cava lateral a la sala de ordeñe (Fig. 15). Esta zona de acumulación constituye el principal foco de contaminación por desechos derivados de la limpieza de la sala de ordeñe y ganado y corral.

Figura 15: a) Carpeta de hormigón cubriendo a la perforación, b) Molino, c) tambo.

Este predio cuenta con una bomba protegida por una carpeta de hormigón localizada a 103 m al NE del foco contaminante y con un molino localizado a 318 m al SE de dicho foco. Considerando la pendiente del terreno que determina el escurrimiento de los efluentes, ambas perforaciones se encuentran aguas arriba de la sala de ordeñe y cava de acumulación de efluentes (Fig. 16). Los resultados de los análisis de nitratos registran en las dos perforaciones bajas concentraciones (Tabla 1). Las muestras de aguas en la bomba presentaron en los distintos periodos muestreados concentraciones de nitratos entre 5 y 6 mg/L asociadas a valores promedio de pH 7,91 y conductividad eléctrica de 837 µS/cm. En el molino la concentración de nitratos registrada fue entre 5 y 12 mg/L, el pH promedio fue de 7,60 y la conductividad eléctrica 835 µS/cm (Tabla 1).

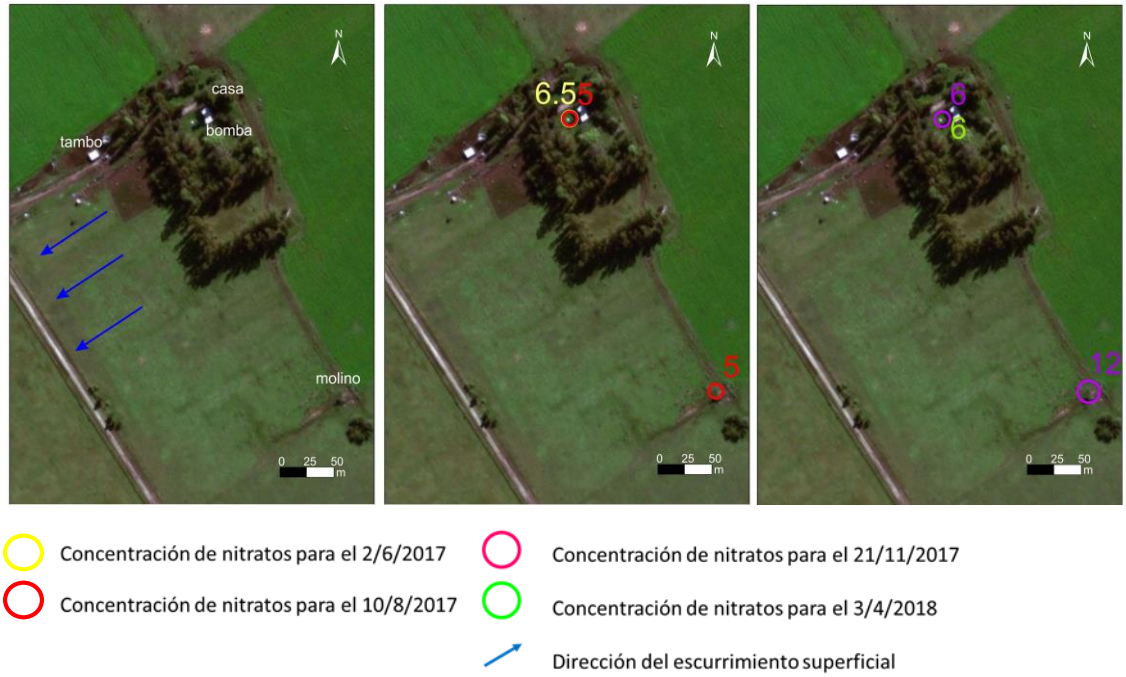

Figura 16: Ubicación de los puntos de muestreo, dirección del escurrimiento preferencial en superficie según la pendiente y concentración de nitratos a lo largo del periodo muestreado para el predio N°5.

El predio N°6 se localiza también en el sector de divisoria de cuenca (Fig. 1). La sala de ordeñe de este predio cuenta con un tinglado de chapa con piso impermeabilizado, destacándose en este tambo la limpieza que presentaba este sector al momento de ir a tomar las muestras (Fig. 17). Sin embargo, el agua del lavado de las instalaciones y los desechos del ganado escurren por el suelo hacia las zonas deprimidas, afectando una perforación de tipo bomba, la cual se encuentra lindante a la sala de ordeñe. Esta perforación no cuenta con protección que impida el ingreso de los efluentes los que constituyen fuentes directas de contaminación. Asimismo, se resalta que esta perforación es la utilizada para abastecimiento de agua de bebida en el predio. Este predio también cuenta con un molino ubicado 36 m al N de la sala de ordeñe.

Figura 17: a) Bomba, b) detalle del suelo en donde se ubica la bomba, c) sala de ordeñe del tambo.

Las muestras de agua en la bomba lindante a la sala de ordeñe (bomba A) presentaron en los distintos periodos muestreados concentraciones de nitratos entre 374 y 554 mg/L asociadas a valores promedio de pH 7,06 y conductividad eléctrica de 2437 µS/cm. En el molino la concentración de nitratos registrada fue de 164 mg/L, el pH promedio fue de 7,37 y la conductividad eléctrica 1540 µS/cm (Tabla 1). Como los resultados de los análisis de nitratos en las muestras fueron elevados, se decidió extender el perímetro de estudio para este predio y abarcar dos perforaciones más (bombas sumergibles) localizadas en campos colindantes ubicados al NE (Fig. 18). En las bombas sumergibles B y C las concentraciones de nitratos registradas variaron entre 79 y 13 mg/L, con valores promedio de pH 7,89 y de conductividad eléctrica de 1153 µS/cm para la bomba B y valores de pH de 7,28 y de conductividad eléctrica de 1036 µS/cm para la bomba C (Tabla 1). Esto muestra que el contenido de nitratos en estas dos últimas perforaciones es bajo en comparación con las perforaciones del tambo, sin embargo, para el caso de la bomba sumergible A, de cuatro muestreos efectuados en tres de ellos se registraron concentraciones por encima del límite de potabilidad (Tabla 1).

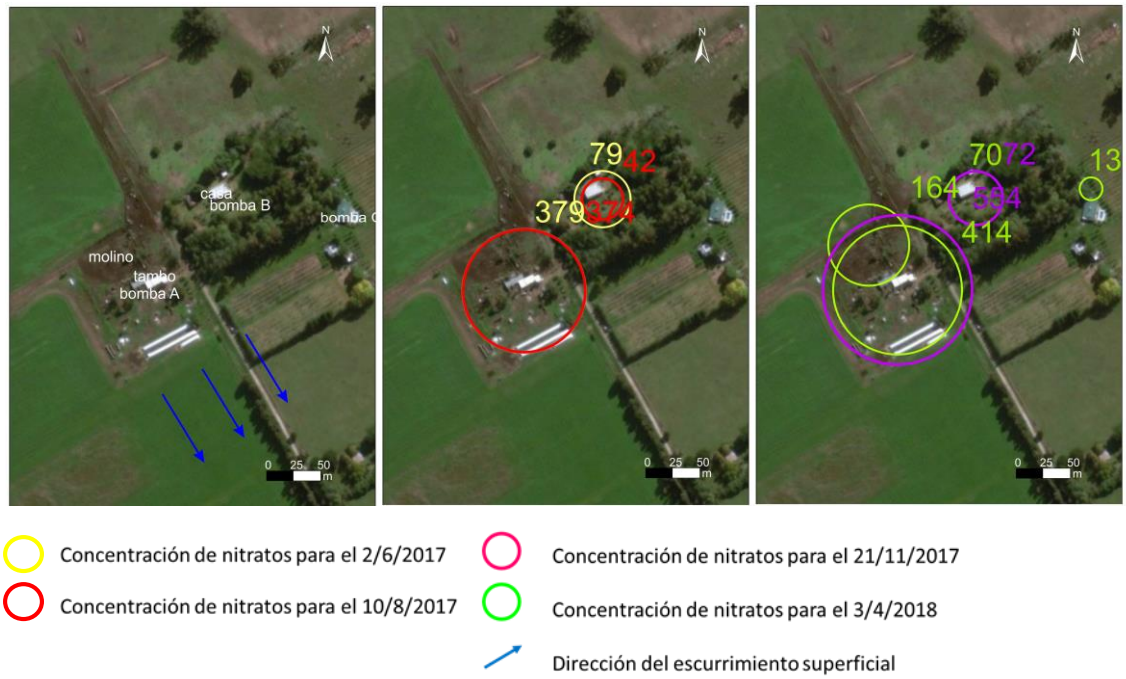

Figura 18: Ubicación de los puntos de muestreo, dirección del escurrimiento preferencial en superficie según la pendiente y concentración de nitratos a lo largo del periodo muestreado para el predio N°6.

El predio N°7 localizado en el sector de divisorias (Figs. 1 y 3), presenta un tambo con instalaciones compuestas por una zona de ordeñe techada con paredes de ladrillo y piso de hormigón (Fig. 19). Al igual que en los predios anteriores los efluentes del lavado de las instalaciones y desechos del ganado escurre por el suelo hacia las zonas deprimidas. En este predio se censaron dos perforaciones correspondientes a una bomba sumergible y un molino (Fig. 19).

Figura 19: a) Molino, b) tambo.

La bomba está protegida por una casilla de hormigón y el molino tiene un tanque australiano, ambos se ubican al SE a 12 y 82 m respectivamente de la sala de ordeñe, aguas abajo del foco contaminante respecto del drenaje controlado por la pendiente del terreno (Fig. 20). Las muestras de aguas en la bomba presentaron en los distintos periodos muestreados concentraciones de nitratos entre 34 y 69 mg/L asociadas a valores promedio de pH de 8,00 y de conductividad eléctrica de 894 µS/cm. En el molino la concentración de nitratos registrada fue entre 5 y 12 mg/L, el pH promedio de 7,85 y la conductividad eléctrica de 715 µS/cm (Tabla 1).

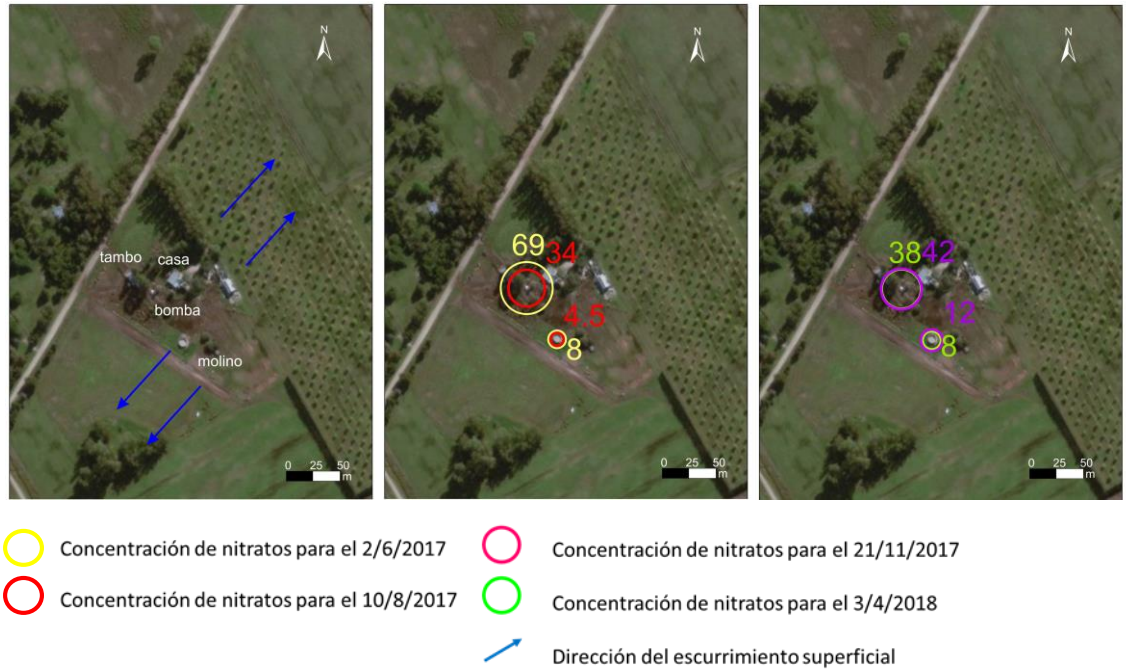

Figura 20: Ubicación de los puntos de muestreo, dirección del escurrimiento preferencial en superficie según la pendiente y concentración de nitratos a lo largo del periodo muestreado para el predio N°7.

El predio N° 8 localizado en área de divisorias (Figs. 1 y 3) es un tambo que cuenta con una sala de ordeñe techada con piso de tierra y con un corral lateral (Fig. 21). Todos los efluentes líquidos provenientes del tambo son vertidos al suelo. Este predio tiene una sola bomba sumergible ubicada 51 m al NO de las instalaciones del tambo (Fig. 21).

Figura 21: a) bomba, b) detalle del suelo en donde se ubica la bomba, c) tambo.

Las muestras de aguas en la bomba presentaron en los distintos periodos muestreados concentraciones de nitratos entre 77 y 169 mg/L asociadas a valores promedio de pH de 7,36 y conductividad eléctrica de 1350 µS/cm (Tabla 1).

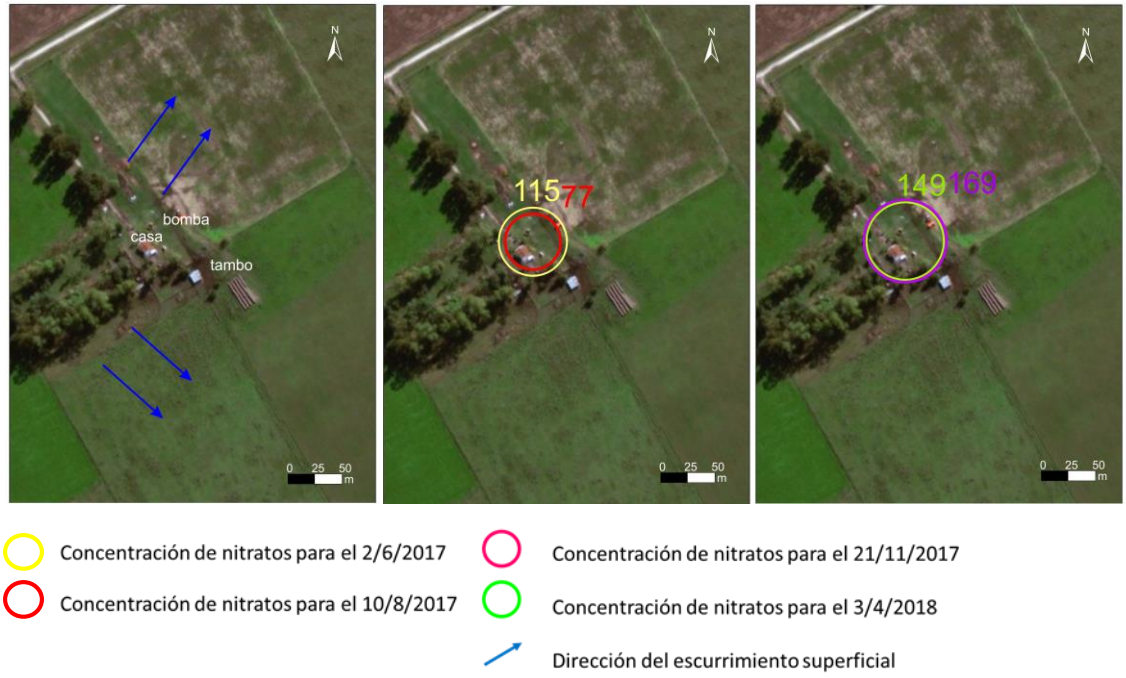

Figura 22: Ubicación de los puntos de muestreo, dirección del escurrimiento preferencial en superficie según la pendiente y concentración de nitratos a lo largo del periodo muestreado para el predio N°8.

El predio N°9 localizado en las proximidades de la ruta 36 en área de divisoria de cuenca (Figs. 1 y 3). Las instalaciones del tambo son precarias mostrando una zona de ordeñe techada con paredes de chapa y piso de cemento y un corral lateral. En el mismo el agua del lavado de las instalaciones y desechos del ganado escurre por un canal lateral (Fig. 23).

Figura 23: a) sala de ordeñe del tambo, b) efluentes del tambo, c) efluentes del tambo y la casa del tambero.

Este predio tiene una sola bomba sumergible ubicada 56 m al SO de las instalaciones del tambo (Fig. 24). Los resultados de los análisis dieron baja concentración de nitratos en la perforación (Tabla 1). Las muestras de aguas en la bomba presentaron en todos los periodos muestreados concentraciones de nitratos de 5 mg/L, pH promedio de 7,76 y conductividad eléctrica promedio de 997 µS/cm (Tabla 1).

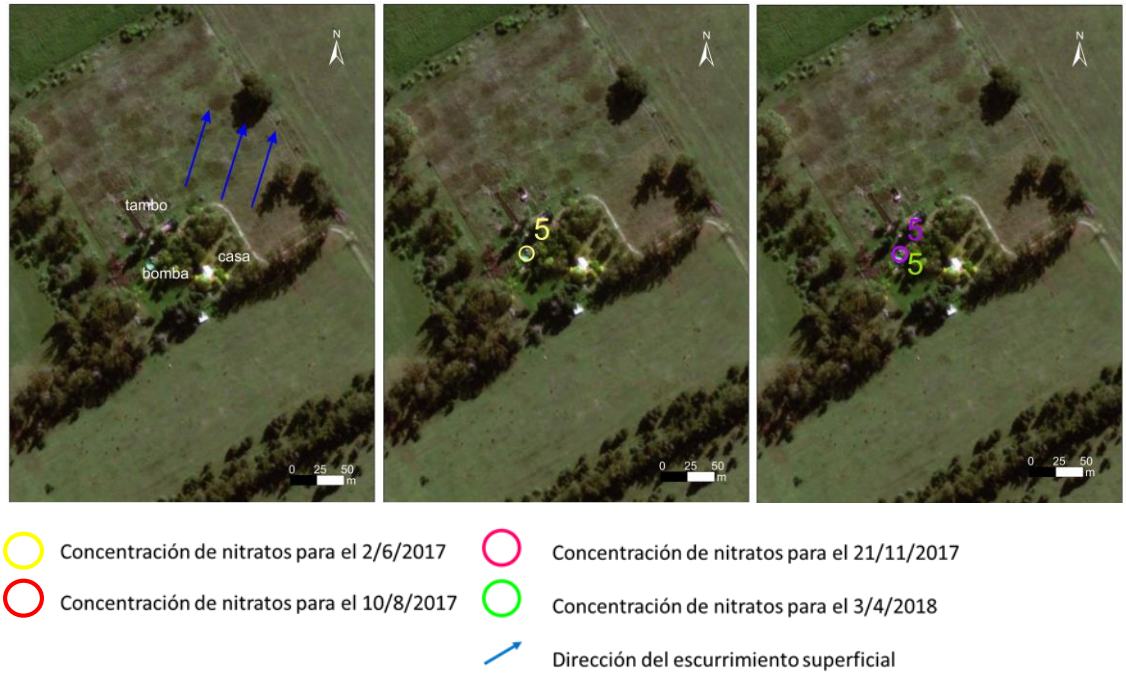

Figura 24: Ubicación de los puntos de muestreo, dirección del escurrimiento preferencial en superficie según la pendiente y concentración de nitratos a lo largo del periodo muestreado para el predio N°9.

Si se analiza para cada muestreo efectuado la totalidad de las muestras se observa que existe una relación entre los valores de nitratos y los de conductividad eléctrica y pH del agua. En los gráficos de nitratos en función de la conductividad eléctrica del agua se aprecia que a partir de valores cercanos a 800 µS/cm ocurre un aumento en la concentración de nitratos la cual se

correlaciona positivamente (r^2 cercano a 0,9) con el aumento de la conductividad eléctrica (Fig. 25).

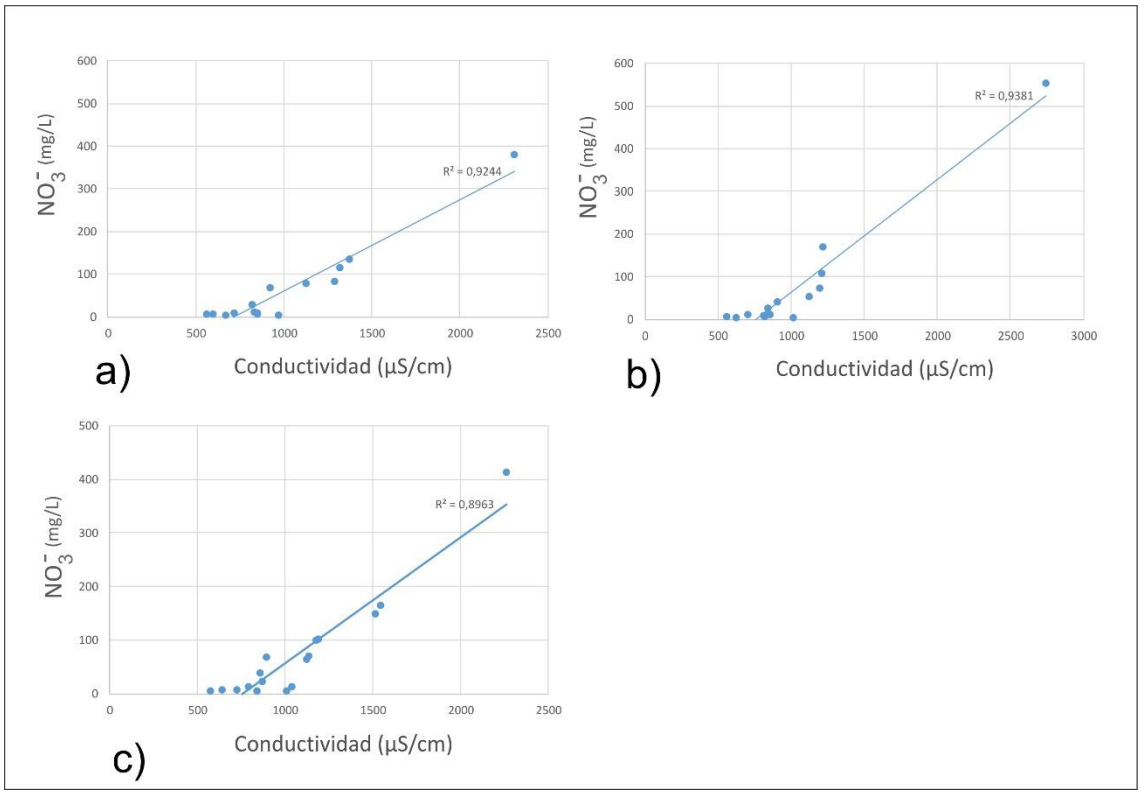

Figura 25: a) Relación entre el contenido de nitrato y la CE del agua subterránea para el 2/6/2017 b) 21/11/2017, c) y para el 3/4/2018.

Respecto al pH se observa un comportamiento inverso, aunque la correlación es baja (r^2 entre 0,36 y 0,52) donde las menores concentraciones de nitratos se asocian a los valores de pH neutros a levemente alcalinos y al aumentar los nitratos el pH tiende a disminuir (Fig. 26).

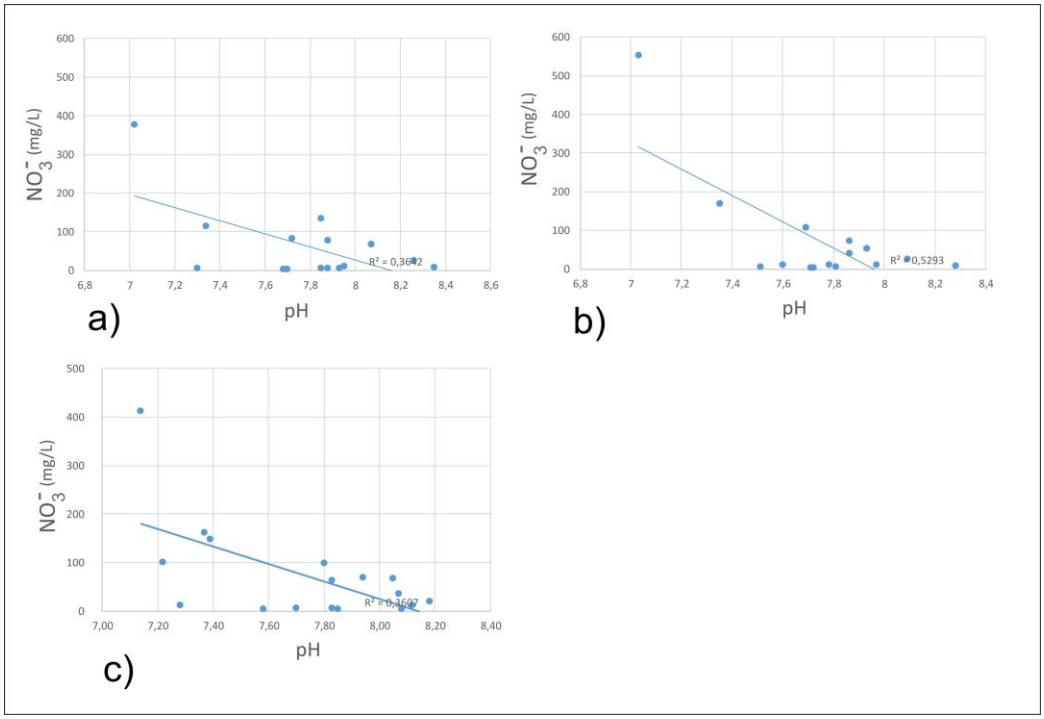

Figura 26: a) Relación entre el contenido de nitrato y el pH del agua subterránea para el 2/6/2017 b) para el 21/11/2017, c) y para el 3/4/2018.

Por otro lado, si se analiza la concentración de nitratos en función a la distancia del foco contaminante (lugar de ordeñe y corrales) se observa que las mayores concentraciones ocurren en los pozos más próximos (Fig. 27).

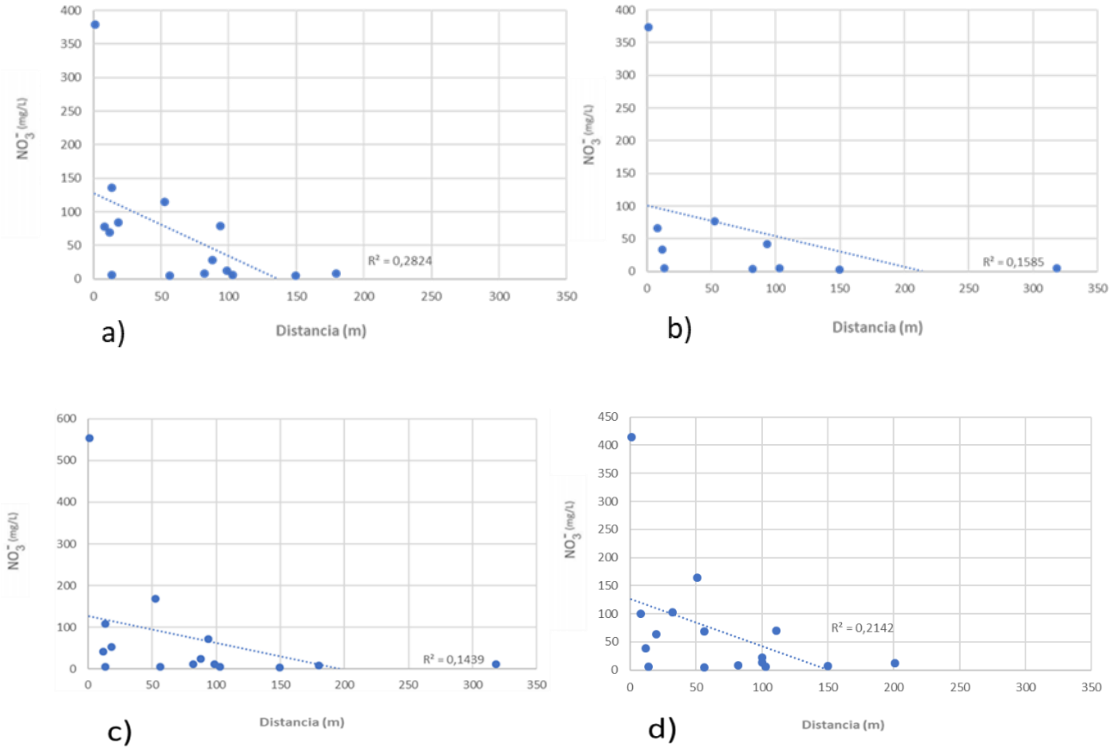

Figura 27: a) Relación entre el contenido de nitrato y la distancia al foco contaminante para el 2/6/2017, b) para el 10/8/2017, c) para el 21/11/2017 y b*) para el 3/4/2018.*

Por último, en el análisis de la variación temporal en el contenido de nitratos de todos los predios (Fig. 28) evidencia que a excepción del predio 2 (molino A), predio 4 (bomba), predio 6 (bomba), predio 7 (bomba y molino) y predio 8 (bomba) no se observan grandes variaciones en la concentración de nitratos. Asimismo, se puede visualizar que el predio 1 (bomba A y B), predio 2 (molino B), predio 3 (bomba y molino), predio 4 (bomba), predio 5 (molino), predio 6 (bomba A) predio 7 (molino), predio 9 (bomba) siempre presentan valores por debajo de 45 mg/L.

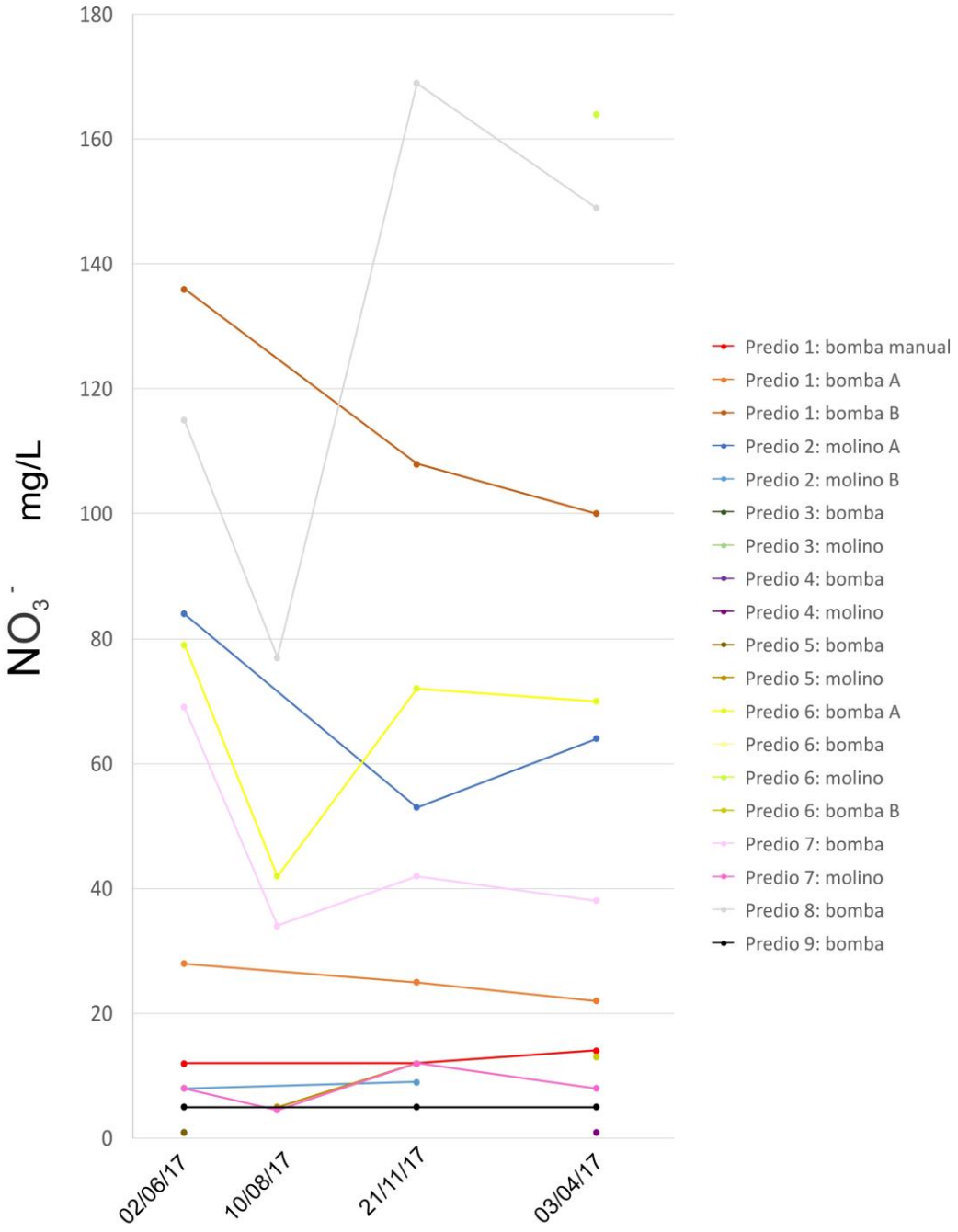

Figura 28: Contenido de nitrato en función del tiempo.

DISCUSIÓN

A partir de los resultados de los análisis del muestreo en el intervalo de 11 meses se observa que de 19 perforaciones usadas para el abastecimiento de agua 6 de ellas se encuentran por encima de los 45 mg/L (Tabla 1 y Fig. 28), es decir, por arriba de lo máximo permitido para el consumo humano según el Código Alimentario Argentino. La instalación de molinos en la zona de pastoreo tiene el fin de abastecer de agua a los animales, por otro lado, las bombas que se

ubican todas próximas al hogar son utilizadas para abastecimiento y a su vez para la limpieza de las instalaciones de ordeñe y elaboración de la materia prima.

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 descripto:

$NH_{2\,(org)} + H^+ \leftrightarrow NH_3$	Degradación de nitrógeno orgánico
$NH_3 + H^+ \leftrightarrow NH_4^+$	Ionización del amoníaco
$NH_4^+ + 2O_2 \leftrightarrow NO_3^- + H_2O + 2H^+$	Nitrificación aeróbica del amonio

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 (Fig. 26). El aumento de la concentración de nitratos se vincula a su vez con el aumento de la salinidad del agua (Fig. 25), lo cual podría deberse a la incorporación de otros iones al medio a partir de los efluentes de los tambos.

Los principales focos de contaminación identificados se corresponden a las zonas de ordeñe y corrales de animales, cavas, bajos o zanjas que reciben las aguas residuales de la limpieza de la sala de ordeñe y de la sala de elaboración. Esta problemática ha sido evaluada en otras zonas tamberas de la provincia donde se encontró también 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 (Herrero et. al. 2012). Asimismo, en muestreos realizados anteriormente en algunos de los tambos relevados por el INTA se determinó contaminación microbiológica en el agua subterránea.

Si bien el nivel freático se encuentra a aproximadamente 6 m de profundidad (según informe de perforaciones de la cooperativa de verónica y perforistas locales) y es de esperar que no exista un acceso directo de los contaminantes hacia el acuífero, sino que parte de ellos puedan ser retenido en la zona no saturada. No obstante, la realización de perforaciones sin un sello hace que el espacio anular entre el caño y la perforación sea una vía de acceso directo de los contaminantes provenientes del escurrimiento desde superficie. 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 y 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, sin importar el riesgo de contaminación por nitratos y patógenos, con el fin de cuidar la economía, ahorrando en el gasto de cañerías. 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., 2009). Las perforaciones relevadas muestran una tendencia hacia la disminución del contenido de nitratos con el aumento de la distancia a fuentes de contaminación (Fig. 27). Aun las perforaciones someras con características constructivas simples (molinos) alejados de las fuentes de contaminación arrojaron bajos tenores de nitratos. Con el fin de generar un seguimiento y garantizar una mejora en la calidad del agua subterránea para los tamberos de la localidad de Punta Indio resulta indispensable evaluar la evolución en la concentración de nitratos a largo plazo, ya que este trabajo solo aporta datos de la concentración desde junio del 2017 hasta abril del 2018 (Tabla 1).

Para evitar el ingreso directo de contaminantes a la perforación desde el drenaje de efluentes se sugiere proteger las perforaciones con sellos de cemento y cabinas. Estas medidas impedirían que el efluente pueda ingresar por el espacio anular entre la perforación y el caño de toma. Asimismo, se recomienda hacer el lavado de la perforación, no acopiar desechos en la proximidad de la perforación, así como evitar zanjeos de drenaje de efluentes sin impermeabilización.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos evidencian que en varios de los establecimientos estudiados existen elevadas concentraciones de nitratos producto de la contaminación derivada de los desechos orgánicos (lavado de animales e instalaciones y excretas).

Valores de nitrato 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, y 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.

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.

BIBLIOGRAFÍA

Ameghino, F. 1908. Las formaciones sedimentarias de la región litoral de Mar del Plata y Chapadmalal. Museo Nacional de Buenos Aires.

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. y Nagy M. 1996. Origen y evolución de los nitratos en el suelo y el agua subterránea de La Plata - Provincia de Buenos Aires - Argentina. 3er Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Actas: 1-12. San Luis Potosí. México.

Borzi, G., Desbois, M., Dode, C., Santucci, L., Carol, E. 2017. Influencia de la ganadería intensiva en la calidad química del agua subterránea en un sector de la cuenca del río Samborombón. PROIMCA - PRODECA 2017, Bahía Blanca.

Carbó, L. I., Flores, M. C., Herrero, M. 2009. Well site conditions associated with nitrate contamination in a multilayer semiconfined aquifer of Buenos Aires, Argentina. Env. Geol. 1489–1500.

Carol, E. 2004 Contenido de nitratos en aguas subterráneas del extremo sur del conurbano bonaerense En: II Reunión de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial del MERCOSUR. Montevideo, Uruguay.

Cellone F., Carol E. 2015. Control Geohidrológico sobre la química del acuífero Puelche en el partido de Punta Indio. Congreso de Ciencias Ambientales COPIME 2015

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.

Código Alimentario Argentino (2012). Ley 18.284, Capítulo XII, Bebidas Analcohólicas, bebidas hídricas, agua y agua gasificada.

Herrero, M.A., Iramain, M.S., Korol, S., Buffoni, H., Flores, M., 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, 61-70.

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).

Perdomo C., Cassanova O., Ciganda V. 2001. Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay. Agrociencia 1, 10-22.

Picone, L.I.; Andreoli, Y.E.; Costa, J.L.; Aparicio, V., Crespo, L., Nannini, J.; Tambascio, W. 2003. Evaluación de nitratos y bacterias coliformes en pozos de la cuenca alta del Arroyo Pantanoso (Bs. As.). Revista de Investigaciones Agropecuarias 32: 99-110.

Santa Cruz, J. N. 1972. Estudio sedimentológico de la Formación Puelches en la provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 27(1), 5-62.

Saracho M., Segura L., Moyano P. y Rodríguez N., 2005. Variación espacio - temporal de la concentración de nitratos en el agua subterránea de la ciudad Capital - Provincia de Catamarca. IV Congreso Argentino de Hidrogeología, Actas: 129 – 138.

Spalding, R. F., & Exner, M. E., 1993. Occurrence of nitrate in groundwater—a review. Journal of environmental quality, 22(3), 392-402.

Thornthwaite, C. W., & Mather, J. R., 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance (No. 551.57 T515i). Drexel Institute of Technology, Centerton, NJ (EUA). Laboratory of Climatology.

USDA, N. (2010). Keys to soil taxonomy. Soil Survey Staff, Washington.

World Health Organization. 1996. Guidelines for Drinking-water Quality. Volume 2: Health Criteria and Other Supporting Information. Second edition, Geneva, 973 p.