

---

# Problemática de nitratos en el agua subterránea de zonas urbanas: caso de estudio Pergamino-Argentina

S. Perdomo  
M. S. Ruiz  
A. Walhmann

J. E. Ainchil  
E. E. Kruse

**Resumen:** Un manejo sostenible del agua subterránea en zonas urbanizadas exige el conocimiento del origen y variaciones espacio-temporales de posibles contaminantes. La afectación por nitratos en Pergamino (provincia de Buenos Aires) es el principal problema de abastecimiento de agua potable para la población. Con base en la caracterización hidrogeológica del acuífero pampeano y la red de flujo asociada a la explotación del agua subterránea se analizan las condiciones hidroquímicas en la zona urbana. Asimismo, se reconoce una variación espacial en el contenido de nitratos con valores superiores a 150 mg/l en coincidencia con el cono de depresión de la zona de explotación e inferiores a 45 mg/l

en la periferia. Complementariamente, las variaciones temporales en el periodo 2006-2018 evidencian un incremento progresivo de las concentraciones en la mayoría de los pozos analizados y, en casos puntuales, oscilaciones vinculadas a variaciones estacionales. En conclusión, la fuente de contaminación se asocia a un sistema de saneamiento inadecuado y/o pérdidas en la actual red de cloacas. El deterioro en la calidad química del agua en el centro de la ciudad condujo a la inhabilitación de pozos y a la búsqueda de mejores condiciones en los sectores periurbanos.

**Palabras clave:** acuífero pampeano, contaminación, nitratos, Pergamino, Argentina.

---

Recibido: Octubre, 2019 /Aceptado: Noviembre, 2019  
Publicado en línea: Febrero, 2020

© 2020

---

S. Perdomo • M. S. Ruiz • J. E. Ainchil



Universidad Nacional del Noroeste de la provincia de Buenos Aires (UNNOBA), Monteagudo, 2772, Pergamino (2700), Buenos Aires.

E-mail de correspondencia: perdomo.geofisica@gmail.com

S. Perdomo • A. Walhmann • J. E. Ainchil •  
E. E. Kruse

Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Paseo del Bosque s/n, La Plata (1900), Buenos Aires.

S. Perdomo • E. E. Kruse

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Centro de investigación y Transferencia del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (CITNOBA).

**Abstract:** Sustainable groundwater management in urban areas requires knowledge of the spatial and temporal variations of possible contaminants. The main problem in the provision of drinking water in Pergamino (Buenos Aires) is the nitrates contamination. Based on the hydrogeological characterization of the Pampeano aquifer and the exploitation groundwater level-monitoring network, hydrochemical conditions in the urban area are analyzed. Areal variation in the nitrate content is recognized with values greater than 150 mg/l in coincidence with the cone of depression in the area of exploitation, and less than 45 mg/l in the periphery. In addition, temporal variations are observed between 2006 and 2018 with a progressive increment in concentrations in most of the wells. In some specific wells, oscillations linked to seasonal variations are observed too. In con-

clusion, the source of contamination is associated with an inadequate sanitation system or losses in the current sewer network. Water chemical deterioration in the center of the city led to put wells out of service and search for better conditions in the periurban sectors.

**Keywords:** Pampeano aquifer, contamination, nitrates, Pergamino, Argentina.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las actividades humanas así como el crecimiento económico y poblacional de los centros urbanos dependen fuertemente de la disponibilidad de agua para consumo. A su vez, este crecimiento genera un incremento en el uso del agua, de la contaminación y en muchos casos, causa un abastecimiento ineficiente. Estos factores se potencian ante un escenario de cambio climático a nivel global. La mala calidad del agua y un abastecimiento no sostenible condicionan el desarrollo económico, y pueden tener efectos negativos sobre la salud y los medios de vida. El desafío de gestionar eficientemente el recurso hídrico subterráneo en Latinoamérica adquiere relevancia cuando se considera que las demandas de agua potable, saneamiento, producción de alimentos, energía y bienes industriales dependen fuertemente del agua subterránea (Auge, 2006).

La contaminación por nitratos en zonas urbanas es una de las principales causas del deterioro de la calidad del agua subterránea y puede impactar sobre la salud humana a través de enfermedades de origen hídrico.

Los nitratos son reducidos a nitritos, y generan una disminución en el transporte de oxígeno en la sangre, especialmente en menores de 6 meses (OMS, 1995), que pueden sufrir cianosis y síntomas de hipoxia (bajo nivel de oxígeno).

La presencia de nitratos en el agua subterránea puede estar asociada principalmente a causas de origen urbano, industrial y rural. Los efluentes domiciliarios y la activi-

dad agrícola intensiva pueden significar una contribución al deterioro en la calidad del agua, debido a la aplicación de fertilizantes y pesticidas que son transportados al sistema fluvial como contaminantes dispersos.

En este trabajo se analizan las condiciones hidroquímicas de un acuífero semilibre del noroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Se realiza un seguimiento temporal del contenido de nitratos en pozos de abastecimiento y se presentan dos situaciones representativas de la distribución espacial con un lapso de 10 años (2009 y 2018).

## DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

### Ubicación

La ciudad de Pergamino posee una superficie aproximada de 30 km<sup>2</sup> y se halla emplazada en el noroeste de la provincia de Buenos Aires. Cuenta con una población de 91,399 habitantes, según el Censo de Población y Vivienda (INDEC, 2010). El abastecimiento de la ciudad se realiza en su totalidad con agua subterránea del acuífero Pampeano, única fuente de agua dulce, debido a que acuíferos más profundos, como el Puelche, presentan elevados contenidos salinos.

Para el suministro existen 60 perforaciones aproximadamente, cuya antigüedad data de la década de los cuarenta hasta la actualidad; fueron inicialmente ubicadas en la zona urbana, mientras que las más recientes se encuentran en la periferia (figura 1). El servicio público cuenta con una red de distribución de agua y cloacas que cubre totalmente el ejido urbano. Sin embargo, antiguamente en la ciudad se realizó la disposición de efluentes domiciliarios en el suelo, mediante pozos absorbentes. CoFAPyS (1993) recomienda una distancia mínima entre el centro de captación de agua y los pozos absorbentes de 25 m. Este tipo de vertidos constituye una de las principales cargas contaminantes históricas y actuales hacia el acuífero, que podrían afectar su calidad fisicoquímica y bacteriológica.

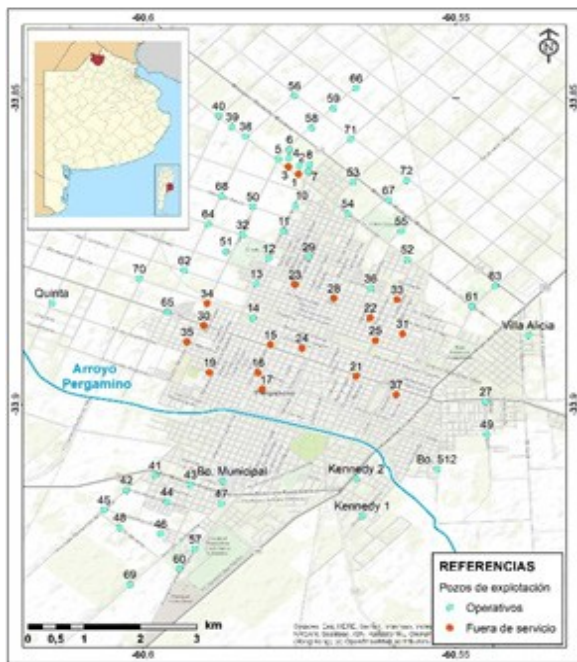


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

### Características climáticas y geológicas

El ámbito de estudio se ubica en la región geomorfológica de la Pampa Ondulada, con valores de cota máximos cercanos a 85 m.s.n.m. hacia el noreste y mínimos de 50 m.s.n.m. hacia el sudeste, que definen una pendiente topográfica local suave menor a 2%.

Según registros de EMC-INTA Pergamino, correspondientes al periodo 1991-2016, el clima es templado, con una temperatura media anual de 16.7°C y una precipitación media anual de 1061 mm. La humedad relativa media anual es de 71%, con un máximo modal en la estación invernal y una evapotranspiración potencial cercana a 830 mm/año.

El balance hídrico a nivel edáfico realizado mediante el método de Thornthwaite y Mather (1957) manifiesta un predominio del exceso hídrico, del orden de 20% de la precipitación media anual, que se produce mayormente durante los meses de abril y octubre, y tiende a favorecer los procesos de recarga del acuífero.

La columna estratigráfica está compuesta por sedimentos de edad terciaria y cuaternaria (Bertol de Santos, 1987; Santa Cruz, 1988). Se identifican de base a la cima las siguientes litologías:

- Formación Olivos o Mioceno Rojo: areniscas arcillosas y arcillas arenosas rojizas de origen continental, con participación eólica y fluvial, que se disponen a una profundidad mayor a -100 m.s.n.m. (reconocido en la perforación hasta -110 m.s.n.m.).
- Formación Paraná o Mioceno Verde: secuencia marina de arcililas, arenas arcillosas y arenas con grava, de coloración verde azulada, con niveles calcáreos y yesíferos. Presenta un espesor variable de 70 m y se dispone a partir de -30 m.s.n.m.
- Arenas Puelches: arenas cuarzosas, medianas y finas de color amarillento y blanquecino, con espesores entre 10 m y 25 m, que se ubican a una profundidad de -25 m.s.n.m.
- Sedimentos Pampeanos: integrados por limo con fracciones subordinadas de arena y arcilla, de tonalidad castaña amarillenta y castaña rojiza, e intercalaciones calcáreas en forma de nódulos o bancos continuos (tosca). Se extiende hasta una profundidad de aproximadamente -21.5 m en el ejido urbano, donde presenta un espesor variable que alcanza máximos de 95 m.

Desde el punto de vista hidrogeológico, se reconoce el acuífero Puelche, integrado por arenas que definen un sistema semiconfinado, el cual se caracteriza por tener aguas extremadamente saladas, con conductividades eléctricas cercanas a 10 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Los Sedimentos Pampeanos contienen el acuífero libre y niveles acuíferos con carácter semiconfinado o semilibre, localizados a mayor profundidad.

Las variaciones de espesor y granulometría en el Pampeano limitan la correlación de un horizonte definido en la

dirección vertical y/o horizontal. En la zona de estudio no se observa un depósito de baja permeabilidad, de extensión y espesor apreciable, que separe los horizontes acuíferos alojados en estos sedimentos continentales.

La clasificación química a partir de iones mayoritarios evidencia aguas de características bicarbonatadas sódicas, con menor contenido de sulfatos y cloruros. En menor proporción se identifican componentes bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas, que caracterizan los sectores topográficamente elevados o zonas de recarga (Ruiz et al., 2016).

## METODOLOGÍA DE TRABAJO

En la etapa inicial, se sistematizaron y recopilaron los análisis de agua realizados por laboratorios acreditados desde 2006 hasta 2018, con frecuencia de muestreo bianual.

Se realizó un análisis cualitativo de toda la serie temporal de cada pozo utilizando el software libre R, versión 3. 5. 1, donde se determinaron las estadísticas principales (valor medio, mediana, desvío estándar y valores extremos), a partir de las cuales se confeccionó un gráfico de cajas (boxplot). Posteriormente, se seleccionaron un total de 15 pozos, 5 representativos de cada sector: zona norte, zona central y zona sur.

Se confeccionó una red de monitoreo con pozos existentes, donde se midió profundidad de agua y altura respecto al terreno natural. Los pozos que estaban en funcionamiento fueron detenidos y luego de un período de reposo, se determinó la profundidad del agua. La red se encuentra integrada por 18 puntos de agua subterránea y 4 de agua superficial, los cuales fueron acotados con un GPS geodésico. De manera conjunta con cartas topográficas a escala 1:50 000, se determinaron los valores de cota del terreno, que permitieron definir el potencial hidráulico y consecuentemente, la morfología de la superficie potenciométrica y dirección del flujo subterráneo.

A partir de las mediciones de profundidad se construyó un mapa de espesor de la Zona No Saturada (ZNS), para evaluar junto con otras características del medio y del contaminante, la vulnerabilidad del acuífero.

Sobre la base de información analítica, se interpretaron las series temporales y se elaboraron mapas de contenidos de nitratos para dos años representativos de la variabilidad y evolución espacial (2009 y 2018). Estos datos fueron comparados con el límite de aptitud para consumo humano (45 mg/l), establecido por el Código Alimentario Argentino (CAA, 2010).

## RESULTADOS

### Hidrodinámica

El área de estudio se enmarca en una zona urbana y periurbana, donde se localizan pozos de explotación de agua para abastecimiento, cuyo régimen de bombeo define la dinámica del sistema.

En la figura 2 se visualiza la morfología de la profundidad de agua subterránea, equivalente al espesor de ZNS.

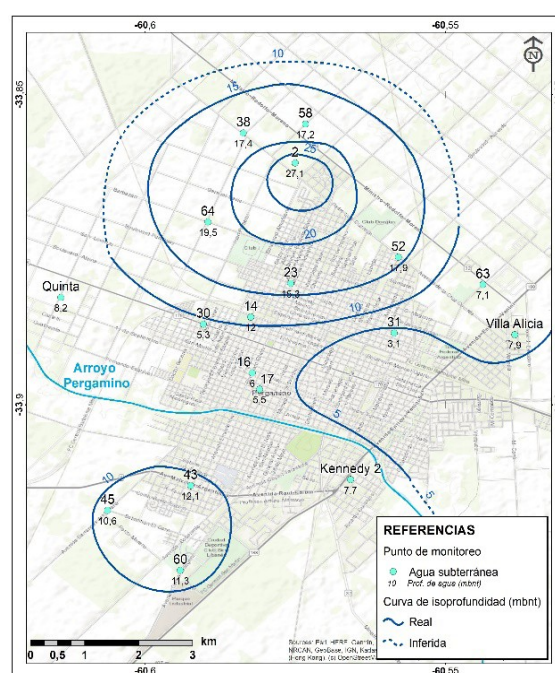


Figura 2. Profundidad del agua subterránea, año 2018.



En el sector norte, donde se ubica la mayor cantidad de pozos de explotación que actualmente abastecen de agua potable a la ciudad de Pergamino, se reconocen las mayores profundidades entre 17 y 27 metros bajo nivel del terreno (m.b.n.t.). En proximidad al arroyo, los valores son del orden de 5.5 m.b.n.t. con mínimos de 3 m.b.n.t.; mientras que al sur del arroyo se presentan profundidades de aproximadamente 11 m.b.n.t. Este sector corresponde a un grupo de pozos de bombeo que abastece una urbanización actualmente en desarrollo.

En relación con los registros se evidencia que el sector norte presenta un menor grado de vulnerabilidad del agua subterránea con base en posibles fuentes de contaminación, mientras que en proximidad al arroyo, la capacidad de la ZNS para atenuar la carga contaminante es significativamente inferior.

La superficie potenciométrica generada a partir de valores de cota de agua adquiere una morfología radial convergente con sentido del escurrimiento subterráneo hacia el arroyo Pergamino, definiendo su carácter efluente.

En la figura 3 se visualizan las curvas equipotenciales, las cuales presentan un comportamiento disímil dependiendo de la posición en relación con el curso de agua superficial. Hacia el norte del arroyo la dinámica natural se encuentra modificada por la generación de dos conos de depresión producto de la explotación de agua cerca de los pozos 2 y 14; mientras que hacia el sur del arroyo, la incidencia de la explotación es menos manifiesta y el agua subterránea mantiene las condiciones de escurrimiento hacia los sectores más bajos del relieve.

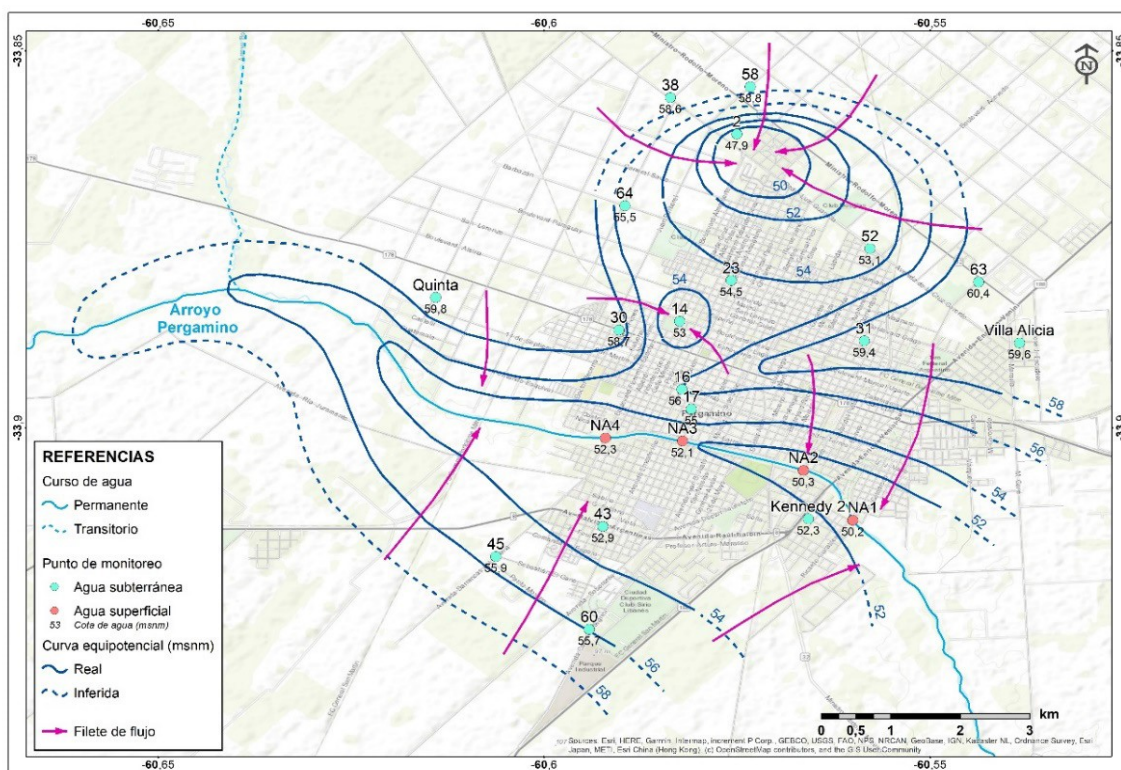


Figura 3. Equipotencial, año 2018.

Los máximos valores de altura potenciométrica son cercanos a 60 m.s.n.m. en el extremo oeste y los menores de 48 m.s.n.m., en correspondencia con los sectores de explotación mencionados.

Hacia el sur se reconocen los menores gradientes hidráulicos del orden de  $3 \times 10^{-3}$ , mientras que al norte la tasa de extracción por bombeo genera gradientes superiores de aproximadamente  $1.6 \times 10^{-2}$ .

En relación con la presencia de nitratos, en el año 2009, las mayores concentraciones se presentaron en el sector central, donde se ubican los pozos de explotación que en ese momento abastecían de agua potable a la ciudad. Hacia el norte se reconocen valores puntuales ligeramente superiores a 45 mg/l, al igual que en el extremo sur donde los máximos alcanzan 52 mg/l (Figura 4).

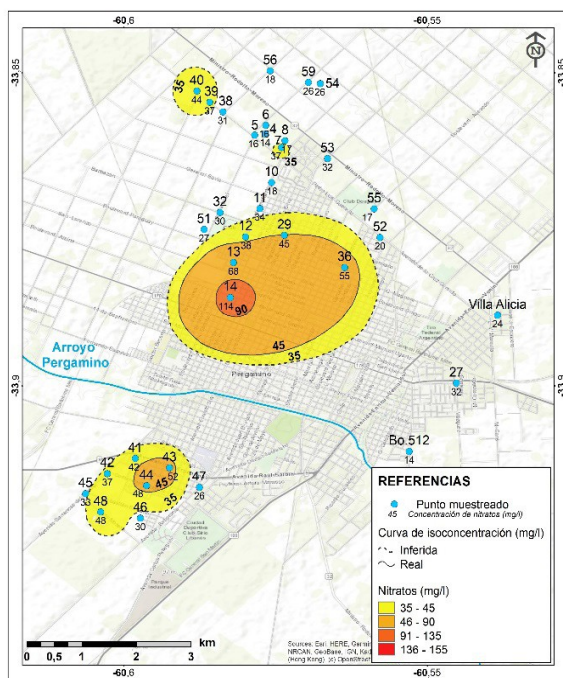


Figura 4. Concentración de nitratos, año 2009.

En 2018 se observó un incremento significativo del contenido de nitratos en la mayoría de los pozos analizados. En la figura 5 se visualizan las curvas de isoconcentración, que en general mantienen la morfología definida en 2009 con un aumento

de la superficie afectada en el sector central, debido a los valores observados en los pozos 10 y 11.

En el extremo este se registra la aparición puntual de contenidos cercanos al nivel guía, en torno al pozo Villa Alicia, con un incremento de las concentraciones durante el periodo analizado; mientras que hacia el norte se mantienen los pozos antiguamente afectados (7, 39 y 40), donde igualmente se verifica un incremento de los contenidos.

En el sector sur del arroyo se conservan las condiciones enunciadas para 2009, con variaciones poco significativas del orden de 5 mg/l.

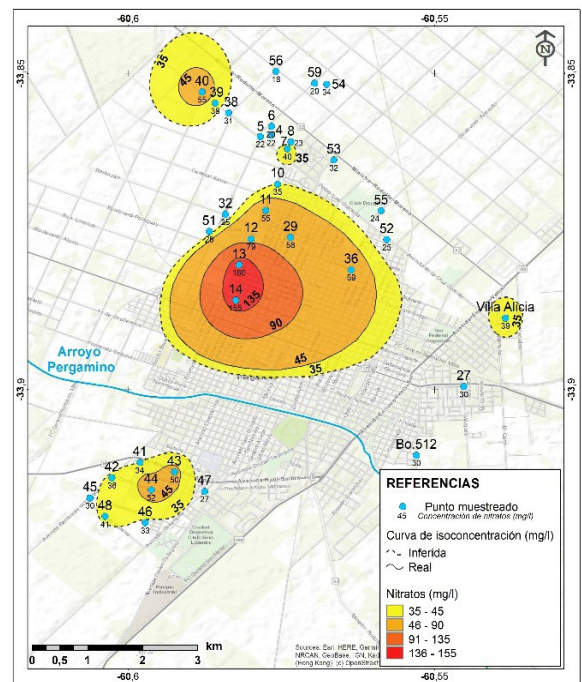


Figura 5. Concentración de nitratos, año 2018.

A partir del tratamiento estadístico de los datos (tabla 1), se registra una manifiesta diferenciación espacial de las concentraciones de nitratos, cuya distribución se visualiza en la figura 6. En el punto sector norte la media es generalmente inferior a 45 mg/l, a excepción del pozo 7, donde se registran concentraciones puntuales que superan dicho límite. Hacia el centro, los valores se incrementan significativamente, al igual que

la desviación estándar, alcanzando máximos de 155 mg/l en el pozo 14, actualmente en explotación. En el sector sur del arroyo, el comportamiento es más variable y oscila en valores próximos al límite definido por la normativa. El valor medio es superior en dos de los cinco pozos, mientras que en los demás se encuentra por encima de los 30 mg/l.

Tabla 1. Análisis estadístico

Pozo	Valor		Desviación estándar
	Medio	Mediana	
SECTOR NORTE	4	22	4.2
	7	47	10.4
	38	36	6.1
	53	33	6.9
SECTOR CENTRAL	55	22	5.0
	12	60	13.4
	14	122	14.2
	16	98	30.3
	24	103	25.4
SECTOR SUR	31	96	10.3
	42	36	3.4
	44	50	16.7
	46	36	4.3
	47	30	3.6
	48	49	6.9

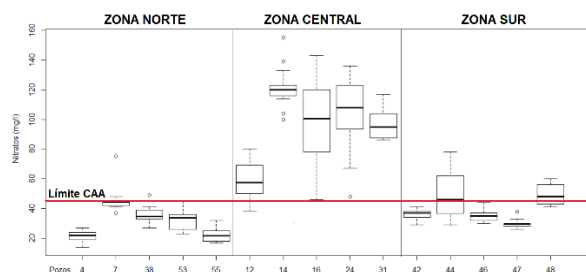


Figura 6. Diagramas bloxplot.

En relación con el análisis temporal de los pozos operativos, actualmente en explotación, ubicados en el sector central, los contenidos indican una tendencia creciente desde 2006 al 2018 (figura 7). Este comportamiento también se observa en algunos pozos aledaños, actualmente fuera de servicio (figura 8).

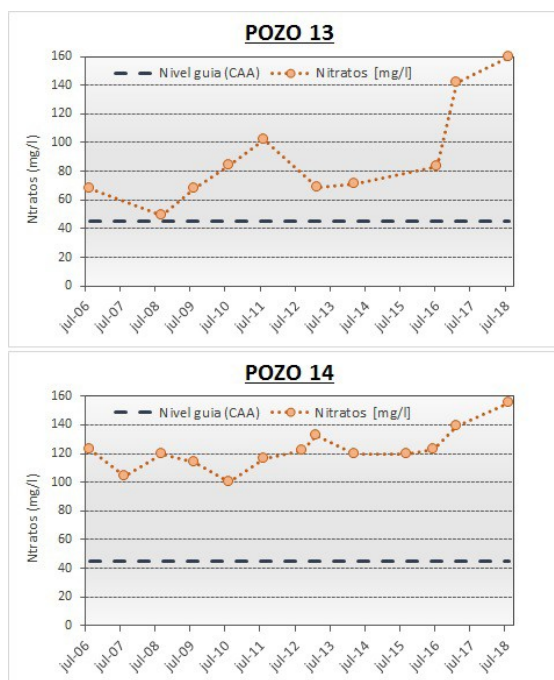


Figura 7. Análisis de pozos operativos.

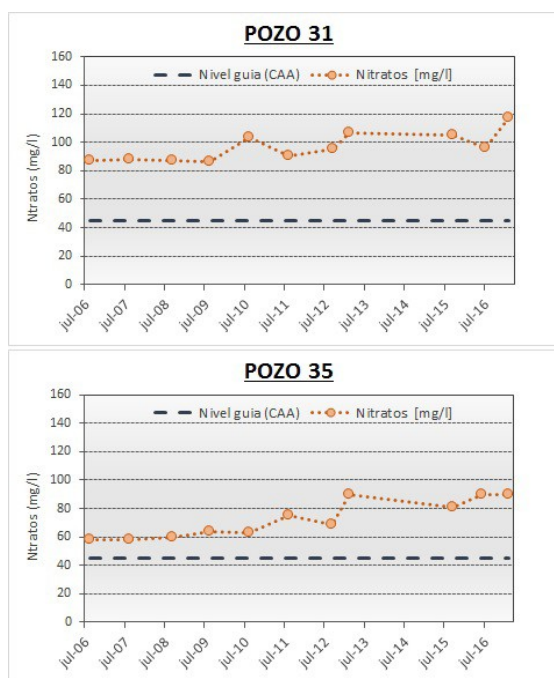


Figura 8. Análisis de pozos fuera de servicio.



## CONCLUSIONES

De acuerdo con los relevamientos realizados, el mapa de flujo subterráneo indica un sentido de escurrimiento hacia el arroyo (efluente), que es la superficie potenciométrica de morfología radial convergente. Esta dinámica natural es alterada en la zona urbanizada por los efectos del bombeo para el abastecimiento de la ciudad.

La profundidad del nivel de agua subterránea varía entre 3 m.b.n.t. hacia el este y 27 m.b.n.t. en coincidencia con el cono de explotación. Si bien un factor influyente en la vulnerabilidad intrínseca de un acuífero es la profundidad de la capa freática (a mayor profundidad menor vulnerabilidad), en el caso estudiado existe una concordancia entre los mayores espesores de la ZNS y las elevadas concentraciones de nitratos. Esta situación se atribuye a la ubicación de las fuentes de emisión (zona urbanizada) y las características de movilidad del contaminante.

Los mapas de concentración de nitratos para 2009 y 2018, muestran un aumento de la superficie que incluye valores superiores a 45 mg/l; además, se presenta un incremento en los registros puntuales de cada pozo. A partir del análisis temporal se evidencia una tendencia creciente en el contenido de nitratos para el período 2006-2018. Este resultado indica el deterioro con el transcurso del tiempo de la calidad de agua en el acuífero pampeano.

En los últimos años se dejaron de utilizar los pozos más afectados y se empezaron a incorporar nuevos, ubicados en la zona periurbana, a fin de garantizar la provisión de agua según los límites definidos por el CAA.

Se concluye que la fuente de afectación por nitratos se asocia a un sistema de saneamiento inadecuado y/o pérdidas en la actual red de cloacas en el área urbana.

El crecimiento demográfico reconocido en Pergamino pone de manifiesto la necesidad de un monitoreo y evaluación continua de los recursos

hídricos subterráneos. El conocimiento de la evolución y el estado actual de la calidad del agua subterránea resultan necesarios para plantear estrategias de uso sostenible del recurso hídrico subterráneo con la finalidad de satisfacer las demandas presentes y futuras.

Un enfoque integrado debería considerar, a su vez, la planificación del uso del suelo, el desarrollo de infraestructura y el ordenamiento territorial.

## REFERENCIAS

- Auge, M. (2006). Agua subterránea, deterioro de calidad y reserva. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas, Cátedra de Hidrogeología, Buenos Aires.
- Bertol de Santos, M. (1987). Informe comisión de estudio. Primera etapa. Pergamino. Obras Sanitarias de la Nación. Gerencia de asistencia y desarrollo. División del recurso hídrico. Informe inédito.
- CAA-Código Alimentario Argentino. (2010, 1969 actualizado en 2010). Capítulo XII. Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. Ley ,18, 284. CoFAPyS. (1993). Consejo Federal de Agua Potable y Saneamiento. Normas de estudio, criterios de diseño y presentación de proyectos de desagües cloacales para localidades de hasta 30,000 habitantes. Fundamentación de normas, Volumen II, p. 7.
- Custodio, E., & Llamas, M. (1983). Hidrología Subterránea (Tomos I y II). Barcelona: Ed. Omega. Organización Mundial de la Salud (OMS). (1995). Guías para la calidad del agua potable (Vol. 1). Ginebra, Suiza. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. Recuperado de <http://www.censo2010.indec.gov.ar>



Ruiz, M. S., Perdomo, S., Calahorra-Fuertes, P., Ainchil, J. E., & Villarreal, J. (2016). Análisis de la relación agua superficial-subterránea en el arroyo Pergamino, provincia de Buenos Aires. IX Congreso Argentino de Hidrogeología y VII Seminario Hispano-Latinoamericano de Temas Actuales de la Hidrología Subterránea, San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca, Argentina.

Thornthwaite, C. W., & Mather, J. R. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Centertown, N. J.: Laboratory of Climatology, Publication 10.

Santa Cruz, J. N. (1988). Caracterización del recurso hídrico subterráneo con miras al riego complementario en la Región NNE –típica maicera– de la provincia de Buenos Aires. Documento de trabajo N°15. Convenio SAGyP-IICA.