



FACTORES QUE AFECTAN LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE NITRATO EN UN ACUÍFERO LIBRE DE UNA CUENCA DE LLANURA

FACTORS THAT AFFECT THE SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF NITRATE IN A FREE AQUIFER OF A PLAIN BASIN

Calvi, Carolina; Dapeña, Cristina; Martinez, Daniel

¹ INGEIS (CONICET-UBA), Pab. INGEIS, Ciudad Universitaria, 1428- Buenos Aires, Argentina,

² CONICET e Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario (CGCyC)-UNMDP, 7600-Mar del Plata, Argentina

calvi@ingeis.uba.ar

Resumen

El comportamiento del nitrato en acuíferos poco profundos depende de varios factores como la geomorfología, la profundidad de muestreo, el tipo de suelo, el espesor de la zona no saturada y su litología, la época de muestreo, entre otros. En el acuífero libre de la cuenca del Arroyo La Ballenera en el sudeste bonaerense, el nitrato varía en un rango entre 4 y 250 mg/L en los 75 molinos y pozos de riego muestreados en primavera e invierno. Mediante un análisis estadístico de los datos se concluye que el principal factor que afecta a este acuífero es la litología y el espesor de la zona no saturada relacionado a los diferentes tiempos de tránsito del flujo. Los resultados obtenidos permiten extrapolarse a cuencas análogas si consideramos que en el análisis espacial de nitratos se deben tener en cuenta las heterogeneidades del sistema. Así, en este caso, es fundamental establecer rangos de análisis homogéneos de zona no saturada. Finalmente se destaca la importancia de no caracterizar un sistema con un solo muestreo o muestreos muy próximos debido a que pueden no mostrar la realidad.

Palabras clave: 1er. Nitratos, 2da. Acuífero freático, 3er. Contaminación, 4ta. Vulnerabilidad.

Introducción

La concentración y distribución del nitrato en acuíferos de áreas agrícolas pueden verse afectados por distintas variables, algunas de las cuales impactan más que otras. Así, el comportamiento del nitrato en acuíferos poco profundos depende de varios factores como la geomorfología, la profundidad de muestreo, el tipo de suelo, el espesor de la zona no saturada y su litología, la estación de muestreo, entre otros (Rimiski et al., 2004; Andrade et al., 2009; Brenes et al., 2011; Menció et al., 2011; Woli et al., 2016). Las concentraciones de nitrato que exceden los límites admisibles para consumo humano (WHO, 2011) son bastante frecuentes en zonas con intensa actividad agrícola, vinculado al vertido de fertilizantes. La cuenca del arroyo La Ballenera se ubica en la llanura interserrana bonaerense, tiene un área de 160 km² y cuenta con una intensa actividad agrícola (Fig. 1). El acuífero freático multicapa está compuesto por sedimentos loésicos con cantidades variables de carbonato de calcio. Las altas concentraciones de nitratos en las aguas superan un 90% los valores de fondo actual calculados para el área (Calvi et al., 2018). La cuenca se clasifica geomorfológicamente en ambiente de lomadas y llanura, con una cota máxima de 170 m.s.n.m. en zonas próximas a los frentes serranos del sistema de Tandilia y una cota mínima de 5 m.s.n.m. en la zona colindante al ambiente de dunas costeras y playa (Calvi et al., 2016). La unidad con lomadas tiene pendientes del orden del 1,71% a 15,8%. El sistema de llanura corresponde al ambiente más bajo y con mayor extensión de la cuenca, con pendientes inferiores al 1,7%. Comprende la unidad de planicie baja mal drenada con drenajes subparalelos y zonas anegables y la unidad de planicie baja con drenaje encauzado con una disminución de los bajos inundables y un reordenamiento de las dos ramas que conforman el arroyo La Ballenera (Calvi et al., 2016). En el sistema de lomadas, predominan suelos del gran grupo de los argiudoles (A) con varios subgrupos de los cuales los más importantes son los argiudoles típicos y los argiudoles pretrocálcicos (Fig. 1). Los suelos argiacuoles (Al) dominan en la parte media de la cuenca con pendientes menores a 5,2%. Mientras que los suelos predominantes hacia la zona de la desembocadura con pendientes menores a 1,7% son los argiudoles y argiucules (A y Al) (Fig. 1). El espesor de la ZNS varía desde 0,5 m a 17,0 m, presentando una media de 4,1 m y un desvío estándar de 3,8 (Fig. 1b). Los valores más altos (desde 16 m hasta 10 m) se encuentran

próximos al sector serrano, mientras que la mayor parte del área de estudio (95 %) presenta un espesor de la ZNS entre 10 m y 1,5 m (Calvi et al., 2016). Los objetivos de este trabajo son analizar cómo afectan los diferentes factores a la distribución de los nitratos y que dicho análisis pueda ser extrapolado a cuencas análogas.

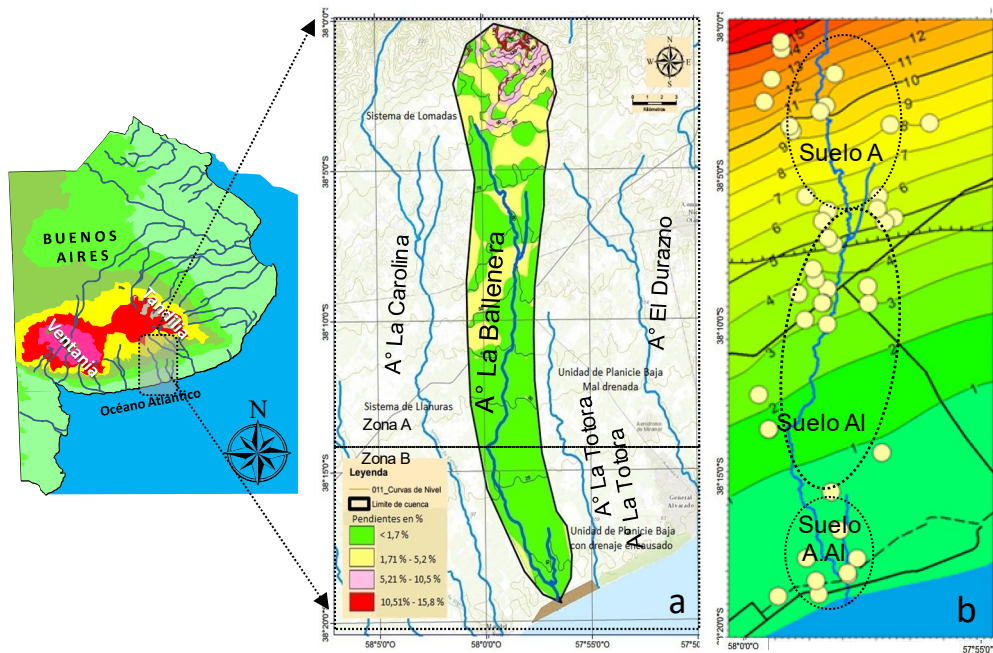


Fig. 1. Ubicación de la cuenca. a. zonas geomorfológica, b. clasificación de suelos y zona no saturada (m)

Materiales y Métodos

Se tomaron un total de 75 muestras en molinos de aprox. 25 m de profundidad y pozos de riego de 50 metros durante octubre- noviembre 2013 y julio 2014. Los análisis de nitratos se realizaron mediante espectrometría UV en el Laboratorio de Hidroquímica de la Universidad de Mar del Plata. El límite de detección fue de 0,1 mg/L y el error medio fue del 1%. La distribución de nitratos se analizó de acuerdo con varios factores como la geomorfología, la profundidad de muestreo (25 o 50 m), el tipo de suelo, el espesor de la zona no saturada y el momento de los muestreos (primavera e invierno). Se calculó: concentración media de nitrato, error estándar; desviación estándar, número de análisis, concentraciones de nitrato superiores a 50 mg/L con respecto al número total de muestras y su porcentaje.

Resultados

Alarmantes concentraciones de nitratos fueron medidas en las aguas subterráneas en primavera y en invierno arrojando valores máximos de 250 mg/L. Sin embargo, su distribución espacial difiere en ambos muestreos como se observa en los diagramas 3D (Fig. 2). Durante la fertilización, en primavera (octubre) existe un incremento de noreste a suroeste, es decir, la concentración más alta de nitrato se encuentra junto a la descarga (Fig.2a). Por el contrario, durante el invierno sin fertilización (julio), los valores más altos se encuentran en el centro de la cuenca (Fig. 2b). En la Tabla 1 se analizan las distintas variables que afectan al sistema y su grado de impacto. El agua subterránea se considera no apta para consumo cuando tiene más de 50 mg/L de nitrato (WHO, 2011). La concentración de nitrato que excede el umbral de 50 mg/L corresponde a la zona geomorfológica de Llanura (sistema mal drenado) (zona B; 54,5%) con valores promedio de $83,4 \pm 7,6$ mg/L. Mientras que el porcentaje restante menor lo tiene la zona A caracterizada por la combinación de lomada más Llanura (sistema con drenaje encausado) (Tabla 1; Fig. 1). Por otro lado, algunas muestras de agua fueron tomadas de molinos, con profundidades máximas de 25 metros y otras de pozos de riego con profundidades máximas de 50 metros. Los primeros 25 metros tienen una media de $64,5 \pm 9,5$ mg/L y exceden el 57,5% del umbral establecido por la WHO (Tabla 1).

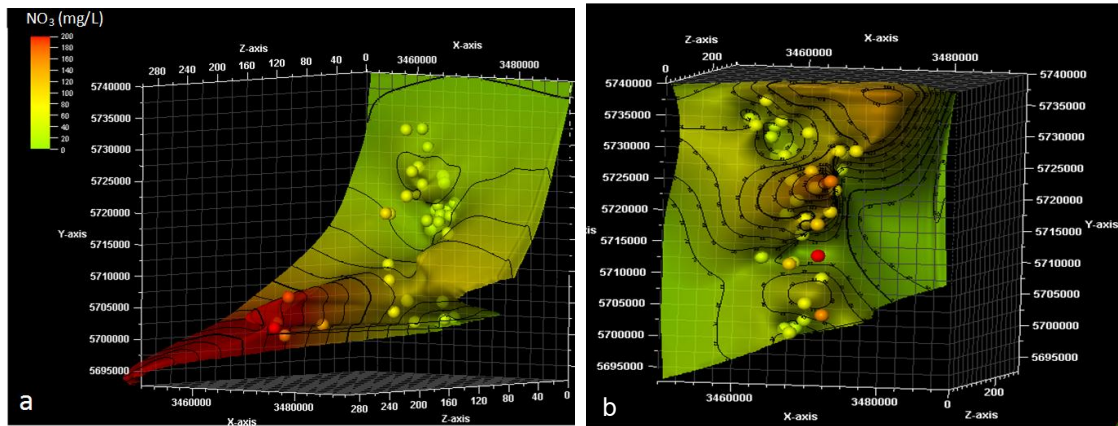


Fig. 2. Representación 3D de la concentración de nitratos en agua subterránea: a octubre y b julio.

Las concentraciones obtenidas en las muestras más profundas tienen una media de $54,5 \pm 7,8$ mg/L y superan un 44,4 % el límite. También se analizan los resultados de las variaciones en las concentraciones de nitrato en función de los distintos tipos de suelos en la cuenca. Las concentraciones más altas se detectaron en los tipos de suelo A/AI y AI que tienen $83,2 \pm 7,0$ mg/L y $63,4 \pm 8,8$ mg/L de nitrato respectivamente, con 50,0 y 52,9% de muestras que exceden 50 mg/L. La menor concentración se midió en el tipo de suelo A con $39,9 \pm 9,1$ mg/L y con 22,5% de muestras que superan el límite. Las muestras ubicadas en la zona no saturada con un espesor < 2 m tienen una media de $90 \pm 7,2$ mg/L, con el 60% de las muestras que superan el límite establecido.

Tabla 1. Nitrato medio (mg/L); Error estándar (SE); Desviación Estándar (SD); Número de análisis en resortes con $\text{NO}_3 > 50$ mg/L respecto del total de muestras (Num); % de muestras $\text{NO}_3 > 50$ mg / L.

Variable	Subcategoría	Media	ES	DS	Num.	%
Geomorfología	Zona A (n=53)	51,6	10,0	2,7	23/53	43,4
	Zona B (n=22)	83,4	7,6	2,9	12/22	54,5
Profundidad	~25 m (n=48)	64,5	9,5	2,7	22/48	57,5
	~50 m (n=27)	54,5	7,8	2,6	12/27	44,4
Tipo de suelo	A (n=22)	39,9	9,1	2,8	7/22	22,5
	AI (n=36)	63,4	8,8	2,8	16/36	50,0
	A/AI (n=17)	83,2	7,0	2,8	9/17	52,9
ZNS	< 2 (n=20)	89,6	7,2	2,7	12/20	60,0
	2 - 6 (n=31)	55,2	8,4	2,8	12/31	38,7
	> 6 (n=24)	44,6	7,5	2,7	9/24	47,8
Muestreo	primavera (n=34)	60,4	8,6	2,7	12/34	35,3
	verano (n=41)	61,4	9,2	2,8	19/41	46,3

Respecto a los mayores espesores de zonas no saturada correspondiente a los rangos 2-6 m y > 6 metros, tienen una media de $55,2 \pm 8,4$ mg/L y $44,6 \pm 7,5$ mg/L respectivamente. Finalmente, las campañas se realizaron durante la primavera, momento en el que se fertiliza y durante el invierno en el que se dan las mayores tasas de infiltración del sistema. En ambas campañas tienen una concentración de nitrato similar entorno a los 60 mg/L. Sin embargo, en invierno el 35,3 % supera el límite de la WHO, mientras que el 46,6% lo hace en la primavera (Tabla 1). Los datos anteriores muestran que la zona no saturada es la variable más sensible responsable del contenido de nitrato (60% de las muestras > 50 mg/L; Tabla 1). Cuando el espesor de la ZNS es menor a 2 m, la litología es principalmente limo y se agrupan altas concentraciones de nitrato en primavera y bajas en invierno. Sin embargo, en el rango de 2-12 m la existencia de toscas en forma dispersa, en venilla y en bancos le otorga una mayor resistencia a la capa limosa que coincide con un comportamiento diferente y con valores mayores en el invierno respecto a la primavera. Finalmente, la litología limosa con frecuentes intercalaciones de tosca en los espesores de ZNS mayores a 12 m en la primavera y el invierno, muestran una baja concentración de nitratos.



Conclusiones

La concentración de nitrato tiene un comportamiento opuesto durante la estación fertilizada (primavera) y la no fertilizada (invierno). El espesor de la zona no saturada y la litología resultaron ser los factores que más inciden en la vulnerabilidad del acuífero. Este resultado está vinculado a los diferentes tiempos de tránsito en la ZNS, que es menor en la zona B que en A, vinculado al menor espesor y al tipo de litología. Como consecuencia, el valor de nitrato medido en la Zona B es el resultado de la fertilización de primavera, en el que opera un transporte dispersivo e integra la carga resultante de aplicaciones sucesivas, mientras que en la zona A, el nitrato aplicado en primavera se mide en el próximo invierno, teniendo un comportamiento similar a un flujo de pistón. Los resultados muestran que la realización de mapas de concentración de nitrato con un solo muestreo o dos muestreos separados por poco tiempo podría no ser adecuados para mostrar una realidad, ya que la llegada de nitrato al nivel freático puede ser impulsada por diferentes mecanismos dependiendo del espesor de la ZNS y de la litología. En el caso del arroyo La Ballenera, se ha observado que para una fecha de muestreo es posible notar diferencias en las concentraciones en el área con menor espesor de la ZNS donde se observa un impacto directo y reciente, en comparación con un mayor espesor de ZNS, donde una concentración continua y homogeneizada está llegando.

Bibliografía

- Andrade, A.I.A.S.S , Stigter, T.Y.,** 2009. Multi-method assessment of nitrate and pesticide pollution in shallow alluvial groundwater as a function of hydrogeological setting and land use. *Agricultural Water Management* 96, 1751-1765.
- Brenes, R., Cadena, A., Ruiz-Guerrero, R.,** 2011. Monitoreo de la concentración de nitrato en el acuífero del Valle de Puebla. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 27, 313-321.
- Calvi, C., Dapeña, C., Massone, H. y Martinez, D.,** 2016. Características morfométricas y morfodinámicas de una cuenca hidrográfica de llanura. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*. V 37: 38-45, ISSN 1851-7838
- Calvi, C., Dapeña, C. y Martinez, D.,** 2018. Present day background of nitrate as a methodology in the surface water - groundwater interaction applied in southeastern Buenos Aires province, Argentina. *DYNA Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*. 85(207):288-296. DOI: 10.15446/dyna.v85n207.72543.
- Menció, A., Mas-Pla, J., Otero, N. & Soler, A.** 2011. Nitrate as a tracer of groundwater flow in a fractured multilayered aquifer. *Hydrol. Sci. J.* 56(1), 108–122
- Rimski-Korsakov, H., Rubio, G., Lavado, R.S.,** 2004. Potential nitrate losses under different agricultural practices in the pampas region, Argentina. *Agricultural Water Management* 65, 83–94.
- Woli, P., Hoogenboom, G., Alva, A.,** 2016. Simulation of potato yield, nitrate leaching, and profit margins as influenced by irrigation and nitrogen management in different soils and production regions. *Agricultural Water Management* 171, 120–1
- World Health Organization (WHO),** 2011. *Guidelines for Drinking-water Quality*. 4th Edition 564 pp ISBN 978 92 4 154815 1