

Evaluación de las características del agua subterránea en la cuenca del arroyo Langueyú, Tandil, Buenos Aires, Argentina.

Barranquero, Rosario Soledad¹; Varni, Marcelo²; Ruiz de Galarreta, Alejandro¹ y Banda Noriega, Roxana¹

¹Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA)-Universidad Nacional del Centro (UNICEN);

²Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA)-(UNICEN-CIC- Mun. Azul)

E-mail: rosariobarranquero@yahoo.com.ar

RESUMEN: La cuenca del arroyo Langueyú se ubica en el centro - sudeste de la provincia de Buenos Aires, con cabeceras en las Sierras de Tandilia. Posee una extensión aproximada de 600 Km². La importancia de su estudio radica en la dependencia del agua subterránea para las múltiples actividades que se desarrollan, tanto en el ámbito rural como en los sectores urbano y periurbano de la ciudad de Tandil, y el conocimiento aún primario del funcionamiento del sistema hidrológico. El objetivo del trabajo fue la caracterización del agua subterránea como una primera instancia en el propósito de elaborar un modelo de funcionamiento del sistema hidrogeológico ambiental. Se caracterizó el medio físico a partir de estudios antecedentes a nivel regional. Se midieron niveles freáticos y se tomaron muestras de agua en una red monitorea de 26 perforaciones existentes en los meses de junio y octubre del 2010 y febrero y junio del 2011. Se determinaron: conductividad, pH, temperatura, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, calcio, magnesio, sodio y potasio. Se evaluaron las variaciones hidroquímicas estacionales naturales y las posibles fluctuaciones de conductividad y nitratos como consecuencia de las actividades antrópicas. Las muestras del área de estudio fueron tipificadas como bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas y bicarbonatadas sódicas. Se identificaron dos procesos determinantes de las características hidroquímicas: a) la adquisición de sales durante el recorrido, que se inicia con la disolución de carbonatos, gracias a la acidez que adquiere por la reacción con CO₂ durante su infiltración a través de la zona no saturada, y b) el intercambio calcio-sodio combinado con la retención del potasio en las arcillas. Se observaron casos puntuales de contaminación por nitratos en el área urbana y periurbana, por disposición de efluentes domiciliarios en pozos ciegos, y en el sector rural vinculados a condiciones inadecuadas de mantenimiento y protección de la perforación.

INTRODUCCIÓN

El trabajo tuvo como objetivo la caracterización del agua subterránea en la cuenca del arroyo Langueyú como un primer paso hacia el propósito de elaborar un modelo de funcionamiento del sistema hidrogeológico ambiental. Se planteó teniendo en cuenta la dependencia del recurso hídrico subterráneo para las distintas actividades que se desarrollan en la cuenca y el conocimiento aún primario del funcionamiento del sistema hidrológico.

La cuenca está situada en la región pampeana de Argentina, que se caracteriza por una gran productividad agropecuaria. Del total de su superficie 79,3% se utiliza mayormente para la agricultura. Los cultivos de trigo, soja, maíz y girasol son los que ocupan el mayor porcentaje de tierras dedicadas a la agricultura. La actividad ganadera cubre un total de 14,4% y 6,3% se destina a otros usos (cultivo de papa, horticultura y frutales), principalmente por la presencia de basamento cristalino aflorante o a escasa profundidad que determina un desarrollo muy pobre de los suelos. En el área de estudio también se llevan a cabo actividades industriales, principalmente relacionadas con los rubros metalúrgico y agroalimenticio.

El área de estudio tiene sus cabeceras en el sistema serrano de Tandilia y consta de una superficie aproximada de 600 km² (Figura 1). En dicha área se asienta la ciudad de Tandil que posee 123.343 habitantes (INDEC, 2010) y ha tenido en los últimos años un rápido crecimiento demográfico que no se acompañó de una provisión adecuada de servicios básicos, ni de una planificación y gestión territorial indispensable para el manejo sustentable de los recursos.

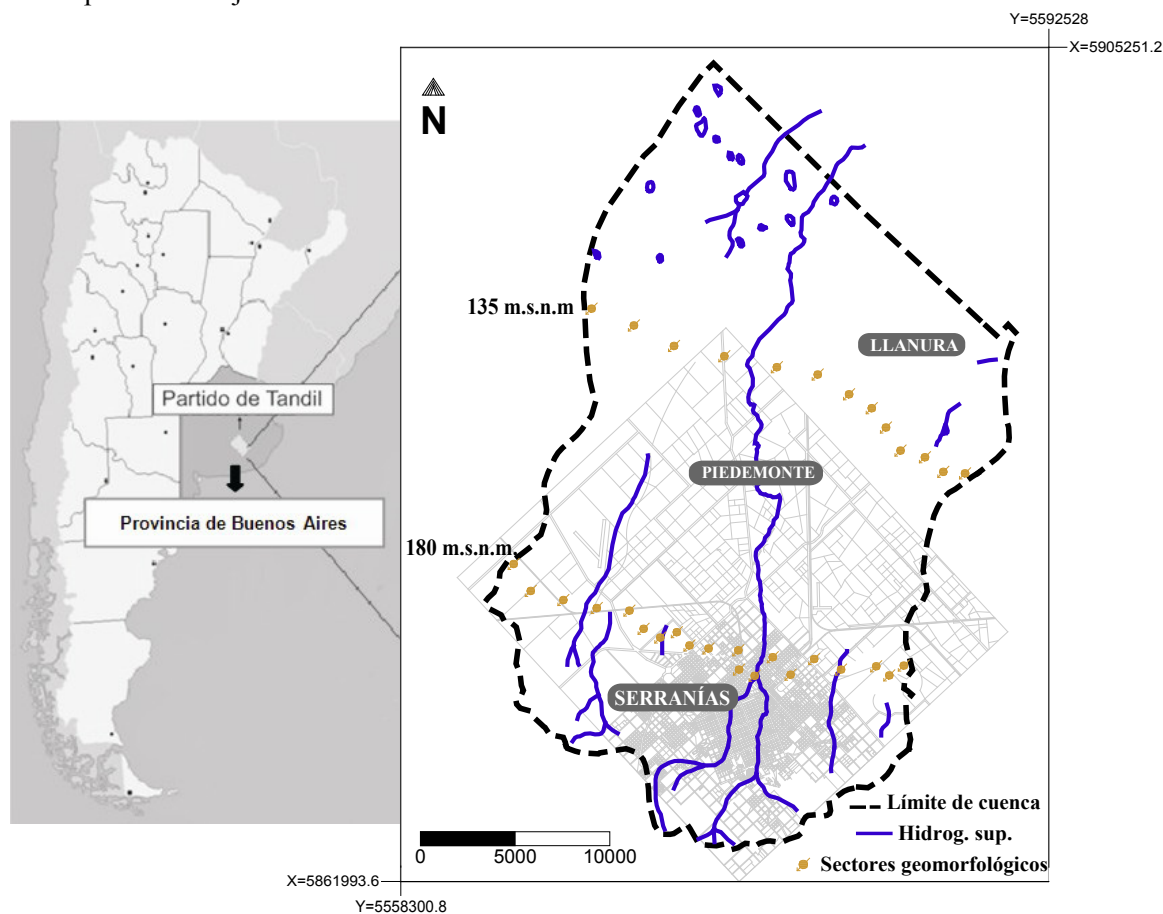


Figura 1. Ubicación, sectores geomorfológicos e hidrografía superficial de la cuenca arroyo Langueyú.

El clima, según la clasificación climática de Thornthwaite y Mather (1957), es subhúmedo-húmedo, mesotermal, con un déficit poco significativo de agua en los meses de verano. La aplicación de este balance de agua para el período 1900-2000 (Tabla 1) da como resultante una precipitación media anual de 838 mm, una evapotranspiración real y potencial de 694 y 712 mm respectivamente, y un déficit poco significativo (18 mm) en los meses de enero, febrero y marzo. El exceso de agua es de 144 mm distribuidos en los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre.

Desde el punto de vista geomorfológico, como se mostró en la Figura 1, la cuenca del arroyo Langueyú tiene tres grandes sectores (Ruiz de Galarreta y Noriega Banda, 2005):

- El sector de serranías que se caracteriza por la presencia de sierras, cerros aislados y valles. En este sector los valles de los cursos de agua se hallan bien definidos.
- El sector de piedemonte que se localiza en forma continua al primero, tiene pendientes más suaves y depresiones aisladas. Presenta una red de drenaje bien definida y de diseño distributivo.
- Por último, el sector de llanura, se caracteriza por la presencia de pendientes muy suaves. El drenaje poco definido y pobremente integrado muestra cauces estrechos y cursos temporarios, los cuales a menudo se pierden en suaves depresiones (Fidalgo et al., 1975).

Tabla 1. Balance de agua para el período 1900-2000 (Ruiz de Galarreta y Noriega Banda, 2005).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
P (mm)	86	78	99	68	67	49	41	44	61	83	83	79	838
ETP	124	95	83	51	29	17	18	22	33	55	78	107	712
P-ETP	-38	-17	16	17	38	32	23	22	28	28	5	-28	
P aa	-66	-83										-28	
Alm.	96	85	101	118	150	150	150	150	150	150	150	124	
Dif. Alm.	-28	-11										-26	
Déficit	10	6										2	18
Excesos	-	-	-	-	6	32	23	22	28	28	5	-	144
ETR	114	89	83	51	29	17	18	22	33	55	78	105	694

Para contextualizar la caracterización del agua subterránea, es muy importante considerar que en la cuenca se distinguen dos unidades hidrogeológicas con un comportamiento diferente respecto a su admisión y circulación (Ruiz de Galarreta y Noriega Banda, 2005):

- El basamento cristalino que está compuesto por rocas precámbricas ígneas plutónicas con diferentes grados de metamorfismo. Estas rocas, primariamente acuífugas, presentan distintos grados de fracturación que le confieren un carácter de acuífero pobre. Este material se corresponde con un ambiente fisurado, con porosidad y permeabilidad secundarias respecto al agua subterránea.
- La cubierta sedimentaria cenozoica que se compone principalmente de sedimentos pampeanos y postpampeanos. Estos sedimentos se corresponden con un medio poroso clástico que es el mayormente

explotado por los pozos particulares y en el que se ubica la batería de perforaciones para el suministro de agua de red a la ciudad de Tandil.

El cuerpo aflorante en las sierras, constituye el basamento en profundidad del sistema acuífero poroso clástico suprayacente al alejarnos de la zona serrana.

MATERIALES Y MÉTODOS

El medio físico, principalmente en sus aspectos climáticos, geomorfológicos e hidrogeológicos, se caracterizó a nivel regional, y en algunas cuestiones específicas a nivel de cuenca, en base a estudios antecedentes tanto del ámbito científico-académico como así también de instituciones como el Municipio de Tandil y el ente Obras Sanitarias Tandil (OST), prestador del servicio de agua de red.

Para el análisis hidrodinámico e hidroquímico, entre diciembre de 2006 y mayo de 2007, se llevó a cabo una campaña preliminar mediante el registro de la profundidad del agua y la toma de muestras para la determinación de parámetros físico-químicos en 60 pozos existentes. La ubicación de cada sitio de muestreo se determinó mediante un sistema GPS. Luego, se definió una red monitorea de 26 perforaciones que fue censada en los meses de junio y octubre del 2010 y febrero y junio del 2011. En la Figura 2 se muestra la ubicación geográfica de los pozos que integran dicha red monitorea.

Las muestras se mantuvieron a 4 ° C y se llevaron al laboratorio para su análisis dentro de las 24 horas. Los parámetros físico-químicos determinados fueron los siguientes: conductividad, pH, temperatura, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, calcio, magnesio, sodio y potasio. La conductividad, el pH y el bicarbonato se determinaron en el campo. Las restantes determinaciones se llevaron a cabo en el Laboratorio de Análisis Bioquímicos y Minerales (Facultad de Ciencias Veterinarias-UNICEN), utilizando métodos analíticos estándar (APHA, 2005).

Para el análisis de las fluctuaciones de nitratos, se partió de la caracterización del comportamiento de este elemento en la naturaleza, las posibles fuentes de generación y los procesos por los cuales puede ser afectado en su transporte y acceso al agua subterránea. Durante el trabajo de campo en los distintos momentos, se observaron y registraron las condiciones de contorno de cada perforación que pudieran relacionarse luego con los resultados de concentración de nitratos en las muestras (Sanchis Moll, 1992). También se consideraron las características regionales climáticas, hidrogeológicas, hidrodinámicas y de explotación del recurso hídrico subterráneo. A partir de estas relaciones, se analizó la variación espacial de la concentración de nitratos evaluando la fuente más probable de su generación en cada perforación (Keeney, 1989).

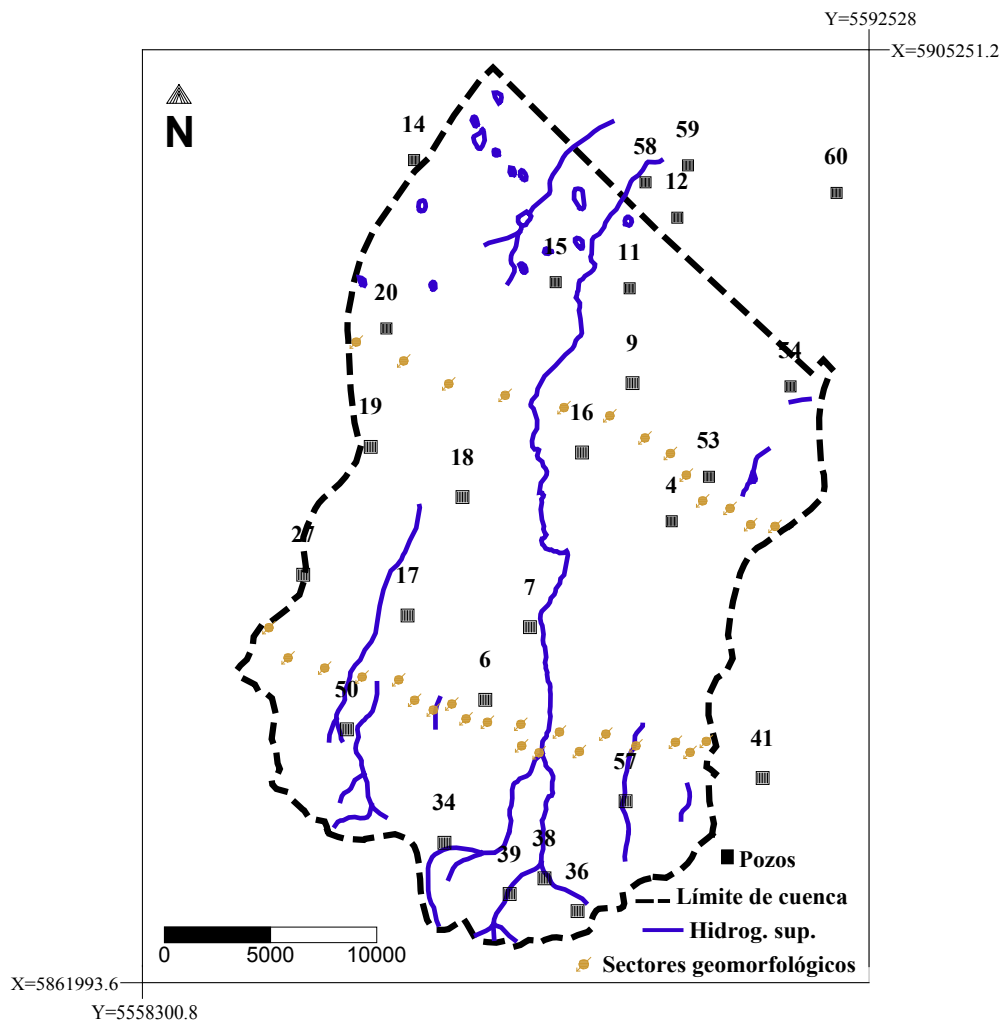


Figura 2. Ubicación geográfica de los pozos que integran la red monitora.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hidrodinámica

A partir de los antecedentes hidrogeológicos regionales y las campañas hidrométricas realizadas puede decirse que el acuífero en estudio es freático con recarga autóctona por precipitación, principalmente localizada en el sector de serranías (Figura 3: divergencia de los filetes de flujo). La profundidad del nivel freático tiene valores entre 15 m en algunos pozos en el Sur del área de estudio y 2 m hacia el Noreste. La superficie freática representada en la Figura 2 muestra que el sentido del flujo del agua subterránea es hacia el Noreste, consistente con las características morfológicas superficiales aunque con un gradiente inferior. Los gradientes máximos, de 0,015, se encuentran en la cuenca alta y disminuyen hacia el Norte, donde se han calculado valores puntuales de 0,0015.

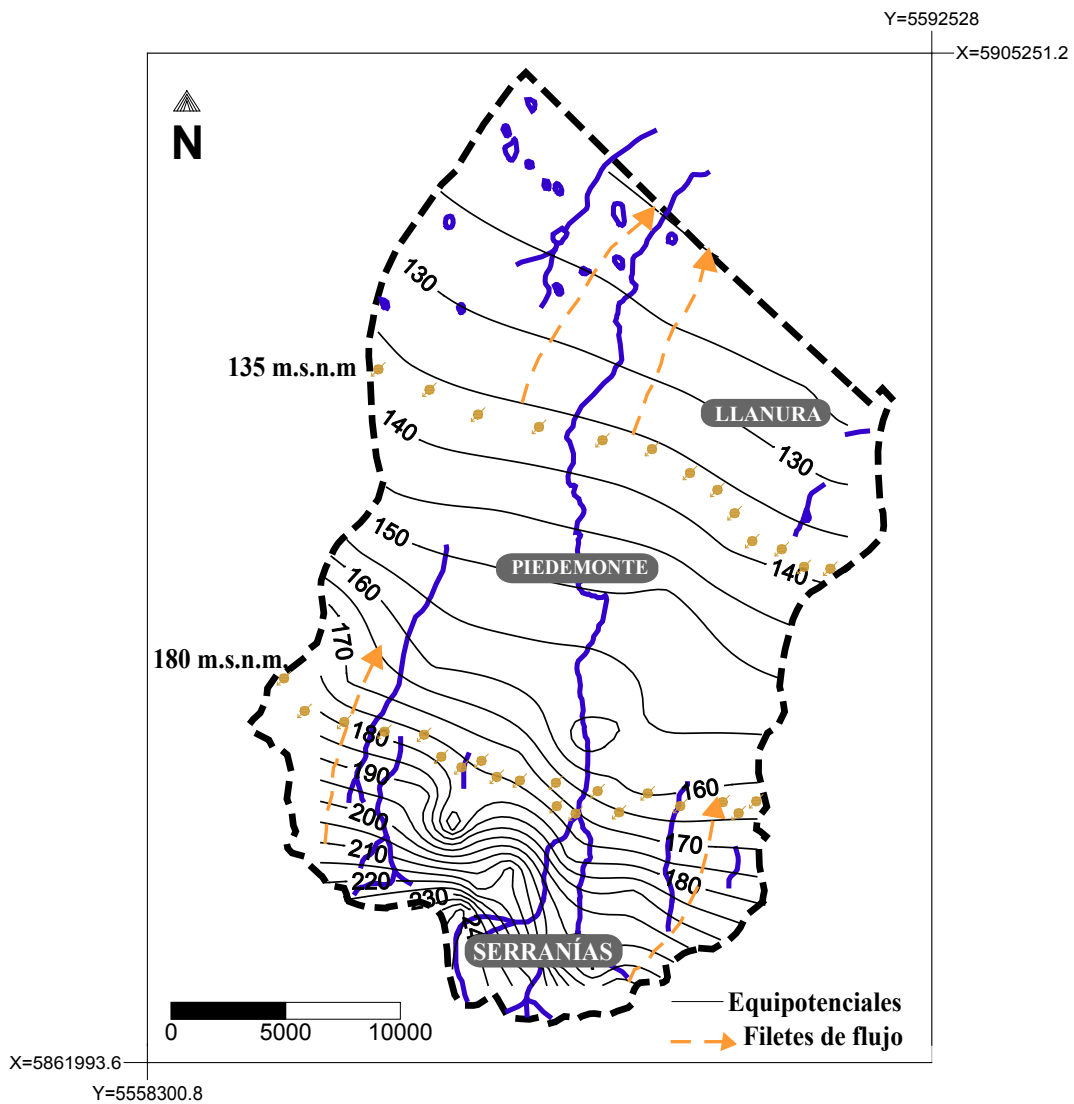


Figura 3. Mapa equipotencial correspondiente a mayo 2007.

El límite Norte de la cuenca ha sido impuesto arbitrariamente haciéndolo coincidir con la divisoria política entre las localidades de Tandil y Rauch. La descarga regional estaría situada más allá de este límite, hacia la zona deprimida del río Salado. Localmente la descarga se produce en los cursos y afluentes principales del arroyo Langueyú de carácter perenne.

En general, el acuífero es influente respecto al arroyo Langueyú, aunque en algunas zonas, debido a cambios de condiciones hidráulicas, geológico-estructurales, y/o sectores de intensa explotación del acuífero, la relación influente/efluente cambia, aportando incluso las aguas del arroyo al acuífero en sectores puntuales. Esta inversión es importante considerarla al momento de evaluar las posibilidades de contaminación del recurso subterráneo como consecuencia de descargas industriales y urbanas al arroyo.

Hidroquímica

En primer lugar, se llevó a cabo un análisis estadístico descriptivo del conjunto de datos correspondientes a la campaña junio 2010. Los resultados se muestran en la Tabla 2. El total de la muestra (n) es 26 para todas las variables estudiadas. Considerando todas las campañas efectuadas se describió la composición fisicoquímica en los distintos sectores de la cuenca, se analizó el comportamiento espacial de dichas variables y, particularmente, la variación temporal de la conductividad y los nitratos.

Tabla 2. Estadísticos del conjunto de datos junio 2010.

	Mínimo	Máximo	Media	Error estándar	Desviación estándar
Conductividad	480	1177	792	31,9	162,8
pH	6,9	8,2	7,6	0,06	0,31
Bicarbonatos	298,9	713,7	511,9	19,1	97,4
Cloruros	14,5	62	33,2	2,7	13,9
Sulfatos	2,4	53,2	12,2	2,5	13
Nitratos	3,2	79,5	23,1	3,3	17
Calcio	16,4	97,2	38,4	3,6	18,5
Magnesio	8,2	41	19,1	1,6	8,2
Sodio	21,4	212,7	106,6	10,6	54,1
Potasio	2,9	24,6	11,3	0,97	4,9

En primer lugar, se analizó la conductividad que tiene una media de 792,9 uS cm⁻¹. Su mínimo es de 480 uS cm⁻¹ en el pozo 34 ubicado en el sector Sur de la cuenca y el máximo de 1177 uS cm⁻¹ corresponde a la muestra 14, que está al Noroeste. Las aguas, según la clasificación de Custodio y Llamas (1983) son dulces.

El pH oscila entre un mínimo de 6,9 en el pozo 39, ubicado en el sector de serranías, y un máximo de 8,2 en el pozo 15 que se encuentra al Norte. La variable tiene una media de 7,6 y una varianza, es decir, una desviación de los datos alrededor de la media, de sólo 0,1.

La dureza varía entre 83 y 320 mg l⁻¹ de CaCO₃. De acuerdo a la clasificación de Custodio y Llamas (1983) el agua es "moderadamente dura" en la mayoría de los sitios de muestreo, con la excepción de las muestras 7 y 15 que son "ligeramente duras" (hasta 100 mg l⁻¹ de CaCO₃). En todos los casos la dureza se encuentra dentro del rango permitido por el Código Alimentario Argentino (CAA) para agua potable (400 mg l⁻¹).

Los bicarbonatos representan el mayor porcentaje de aniones, con valores entre 298,9 mg l⁻¹ en el pozo 39, ubicado en la zona de recarga, y un máximo de 713, 7 mg l⁻¹ en el pozo 14, ubicado en el extremo Noroeste. El promedio es de 511,9 con un error estándar de 19,1.

Los sulfatos constituyen el menor porcentaje respecto al contenido total en iones en todos los sitios de muestreo, considerados en miliequivalentes por litro representan entre el 0,7 y el 4,1%. Su promedio es de 12,2 mg l⁻¹. Tienen un claro aumento gradual en dirección Norte. En tanto, los cloruros tienen una media de 33,2 mg l⁻¹ con la distribución espacial que se muestra en la Figura 4.

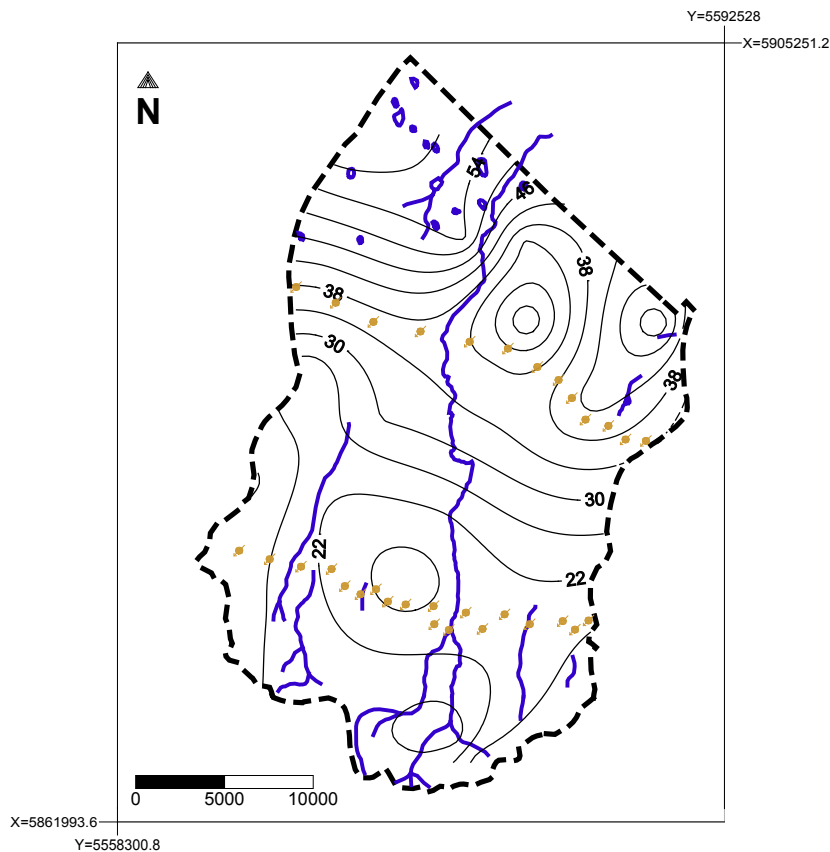


Figura 4. Distribución espacial de las concentraciones de cloruros para junio 2010.

Para comprender el comportamiento de los cationes se evaluó la relación sodio-potasio (rNa^+ / rK^+). La misma presenta una media de 16,9, siendo que en las rocas ígneas de las cuales proceden ambos iones es 1,09 (Catalán Lafuente, 1969). Según la literatura (Teruggi et al., 1958) en la zona de Azul, Tandil, esto se explica porque las rocas del basamento han incorporado materiales alcalinos, principalmente potasio. No obstante, el sistema analizado se ubica mayormente en el medio poroso formado por los sedimentos pampeanos y postpampeanos. El potasio en este medio y, especialmente, donde hay un mayor contenido de arcilla es retenido y por lo tanto provoca un aumento de la relación Na^+ / K^+ con respecto al valor obtenido normalmente en rocas ígneas.

Los nitratos, con un mínimo de 3,2 y una media de 23,1 $mg\ l^{-1}$, presentaron valores dentro del límite recomendado por el Código Alimentario Argentino (CAA), 50 $mg\ l^{-1}$, a excepción de los sitios de muestreo 41 y 50. En el diagrama de caja se puede ver claramente que, en el sentido estadístico, estos valores representan casos anómalos (Figura 5).

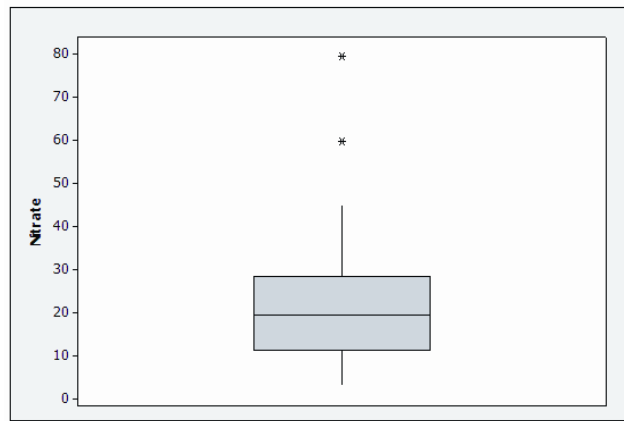


Figura 5. Diagrama de caja de nitratos.

Las muestras fueron clasificadas de acuerdo a su composición química utilizando diagramas de Piper. En los sitios 34, 39, 50, 38, 57, 6, 36 y 17 las aguas son bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas, mientras que en los sitios 4, 5, 7, 9, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 27, 53 y 54 las aguas son bicarbonatadas sódicas. Las Figuras 6, 7 y 8 muestran los diagramas de Piper, incluyendo los sitios de muestreo para los sectores geomorfológicos serranías, piedemonte y llanura, respectivamente.

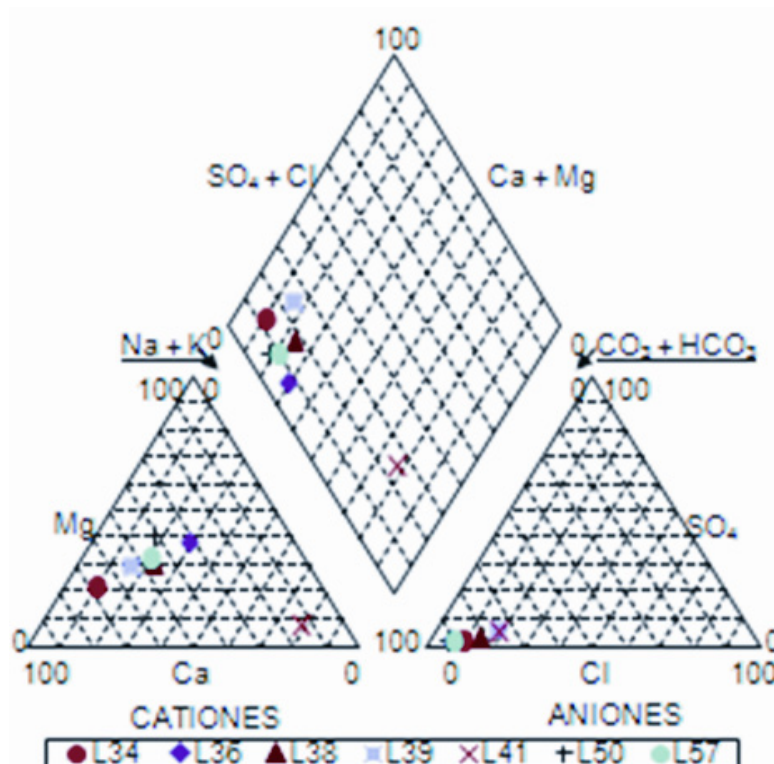


Figura 6. Diagrama de Piper para sector de serranías.

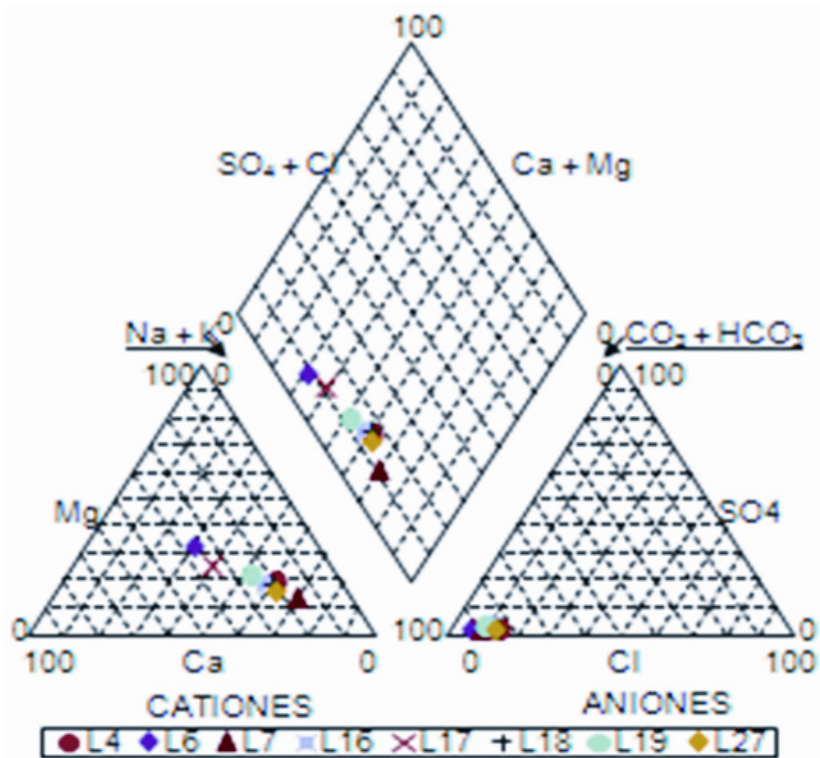


Figura 7. Diagrama de Piper para sector de piedemonte.

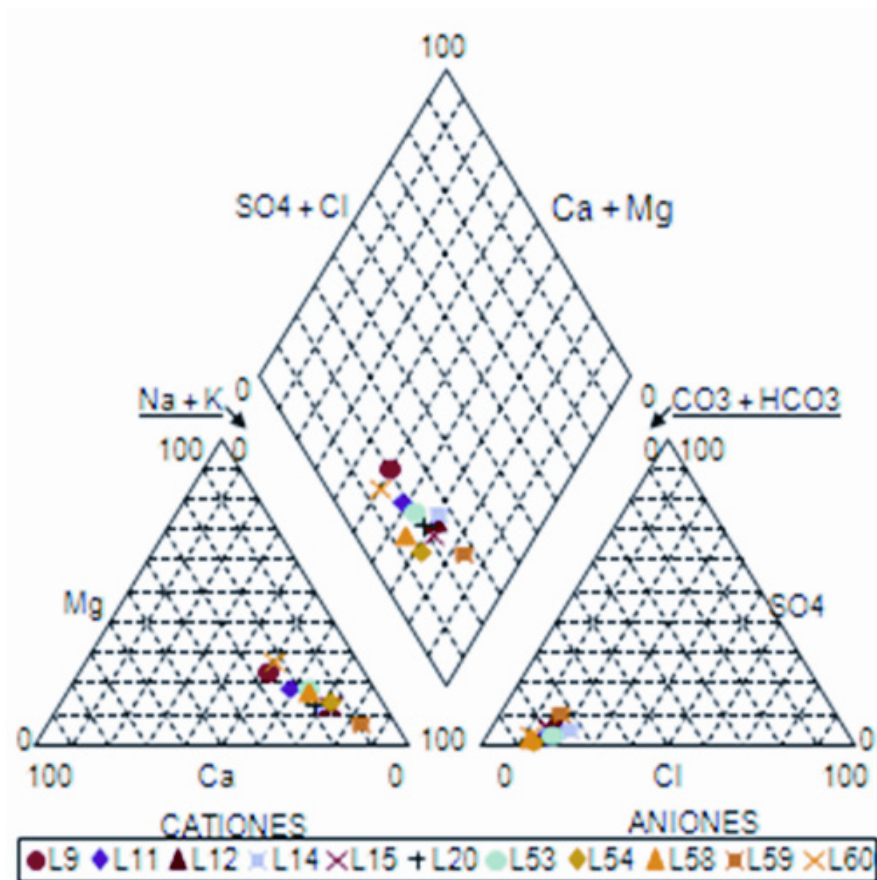


Figura 8. Diagrama de Piper para sector de llanura.

Cabe destacar que los diferentes contenidos de cationes y aniones mayoritarios son consistentes con la hidrolitología que se caracteriza en líneas generales por: a) un basamento cristalino formado principalmente por rocas de aspecto granítico, con composición tonalítica a granodiorítica, que aflora en el sector de serranías y aumenta su profundidad hacia el Norte y b) una cubierta sedimentaria cenozoica formada principalmente por materiales de origen loésico, con alto contenido de carbonato de calcio, y otros de origen fluvial.

Variación temporal de la conductividad y los nitratos

En la Tabla 3 se muestran los valores de conductividad y nitratos para aquellas perforaciones en las cuales, en al menos una campaña, la concentración de nitratos ha superado el límite establecido por el CAA.

En las perforaciones 6, 50 y 41 se ha comprobado la presencia de al menos un pozo ciego a pocos metros del pozo de agua. En el punto 6 se constata además un diseño y mantenimiento inadecuado de la perforación. En el pozo 9 se observaron condiciones inadecuadas de protección de la perforación y la presencia de chiqueros de animales en las cercanías de la perforación, algunos en uso y otros utilizados actualmente para otras actividades.

Como se observa en la tabla, los valores fluctúan entre una campaña y otra lo que puede asociarse, principalmente, a procesos de dilución en momentos de mayor recarga al acuífero y/o influencia de actividades estacionales con su respectivo retardo por degradación y transporte. Esta variación temporal da cuenta además del carácter puntual de la contaminación por nitratos.

La conductividad no muestra una correspondencia directa con las fluctuaciones de nitratos, aunque en algunos casos aumentan de una campaña a otra ambas variables.

Tabla 3. Valores de conductividad y nitratos en 4 perforaciones de la red de monitoreo.

Pozos	Junio 2010		Octubre 2010		Febrero 2011		Junio 2011	
	Conduc.	Nitratos	Conduc.	Nitratos	Conduc.	Nitratos	Conduc.	Nitratos
6	725	22,7	737	111,4	726	53,7	750	50,8
9	747	7,6	728	5,3	865	52,7	899	50,1
41	769	59,8	776	66,6	781	62,4	769	59,8
50	873	79,5	792	84,3	847	81,4	866	74,4

CONCLUSIONES

Los procesos identificados como determinantes de las características hidroquímicas del área de estudio son:

a) la adquisición de sales durante el recorrido a través del medio poroso, que se inicia con la disolución de carbonatos, gracias a la acidez que adquiere por la reacción con CO₂ durante su infiltración a través de la zona no saturada, y b) el intercambio calcio-sodio combinado con la retención del potasio en las arcillas.

En concordancia con estos procesos, los valores de conductividad, como medida indirecta del contenido total de sales disueltas, y las proporciones de distintos cationes, muestran una diferenciación en los distintos sectores geomorfológicos de la cuenca.

La lectura minuciosa de los mapas equipotenciales, así como los valores de cloruros y sulfatos, permiten comprobar que el área de descarga regional se ubica hacia el Norte del límite impuesto para el estudio.

Se corroboran casos puntuales de contaminación por nitratos en el área urbana y periurbana, principalmente por disposición de efluentes domiciliarios en pozos ciegos, y en el sector rural vinculados a condiciones inadecuadas de mantenimiento y protección de la perforación.

REFERENCIAS

- APHA. Eaton A. D., Clesceri L. S., Rice E. W., Greenberg A. E., Franson M. A. H. (eds), 2005. *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater (21st Edition)*. APHA: Washington, D.C.; 1368.
- Catalán Lafuente J., 1969. *Química del agua*. Ed. Blume: Barcelona; 351.
- Custodio E. y Llamas M., 1983. *Hidrología Subterránea*. Tomos I y II Ed. Omega: Barcelona; 2359.
- Fidalgo, F., De Francesco, F. y Pascual, R., 1975. Geología superficial de la Llanura Bonaerense. In *Relatorio Geología Provincia de Buenos Aires. VI Congreso Geológico Argentino*. Imprenta CONI S.A.C.I.F.I: Bahía Blanca, Pcia. de Bs. As.; 104-106.
- INDEC, 2010. http://www.censo2010.indec.gov.ar/preliminares/cuadro_resto.asp Date of access: 21/12/2011.
- Keeney, D. R., 1989. Sources of Nitrate in Ground Water. *Nitrogen Management and Ground Water Protection*, Follett, R. F., Ed., Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, The Netherlands, Cáp. 2, pp. 23-34.
- Ruiz de Galarreta A. y Banda Noriega R., 2005. Geohidrología y evaluación de nitratos del Partido de Tandil, Buenos Aires, Argentina. In *Actas del IV Congreso Argentino de Hidrogeología y II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea*, Blarasin M, Cabrera A, Matteoda (eds). UNCR: Río Cuarto, Córdoba; 99-108.
- Sanchis Moll, E., 1992. *Estudio de la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas de la Provincia de Valencia. Origen, balance y evolución temporal*. Diputación Provincial de Valencia. Capítulo IV.
- Teruggi M. E., Mauriño V. E., Limousin T. A., Schauer O., 1958. Geología de las Sierras de Tandil. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* Vol. XIII (3): 185-204.
- Thornthwaite C. W. and Mather J. R., 1957. *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*. Laboratory of Climatology, Publication núm. 10: Centertown, N. J.; 185-311.