

## Diseño de red de monitoreo ambiental del recurso hídrico subterráneo en la cuenca del arroyo Chapaleofú

**B. Dipardo<sup>ab</sup>**, R.S. Barranquero<sup>bc</sup>, S.G. Etcheverría<sup>d</sup>, C. Corengia<sup>e</sup>, B. Nicora<sup>b</sup>, G. del Valle<sup>e</sup>, F. J. Zapelli<sup>e</sup>, A. Ruiz de Galarreta<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Becario doctoral de Comisión de investigaciones científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA)*  
[brunodipardo@gmail.com](mailto:brunodipardo@gmail.com).

<sup>b</sup>*Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA), UNICEN-CICPBA.*

<sup>c</sup>*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).*

<sup>d</sup>*Facultad de Ciencias Económicas (FCE), UNICEN.*

<sup>e</sup>*Facultad de Ciencias Humanas (FCH), UNICEN.*

### Resumen

El presente trabajo se realizó en el partido de Tandil (Buenos Aires), en la cuenca del arroyo Chapaleofú con nacientes en el faldeo Norte del sistema serrano de Tandilia, ubicado en el centro sudeste de la provincia de Buenos Aires. Esta cuenca se desarrolla predominantemente en el espacio rural y cuenta con cuatro asentamientos que poseen las características típicas de concentraciones de población rural, como el desarrollo económico vinculado a actividades agropecuarias. El objetivo del trabajo fue diseñar una red de monitoreo de agua subterránea a partir de la definición de los sitios de muestreo y las variables de los medios físicoquímico y socioeconómico a relevar. Se registraron las perforaciones existentes mediante la recuperación de sitios utilizados en trabajos antecedentes y la búsqueda de nuevos sitios por medio de salidas de campo. El registro constó de 104 perforaciones de las cuáles se seleccionaron 48 aplicando una técnica de ArcMap 10.2 que generó un mallado sobre la cuenca. En cada celda del mallado se compararon las perforaciones presentes, para seleccionar una perforación por celda, con el fin de asegurar una distribución geográficamente homogénea de las mismas y teniendo en cuenta los límites hidrológicos. Las variables que se compararon para la selección fueron: accesibilidad, presencia de encamisado en la perforación, mantenimiento sanitario de la perforación, conductividad eléctrica acorde a datos antecedentes, distancia a la perforación seleccionada más cercana, distancia al baricentro de la celda, posibilidad de toma de muestra directa del acuífero y posibilidad de toma de muestra y profundidad del nivel freático en la misma perforación. La selección de los sitios incluyó perforaciones que se encuentran fuera de los límites de la cuenca con el fin de verificar dichos límites, especialmente aguas abajo de las divisorias serranas. En el sector de serranías se seleccionaron 29 (60%) perforaciones, en el de piedemonte 10 (21%) y en el de llanura 9 (19%). La definición de las variables de los medios físicoquímico y socioeconómico a relevar se realizó recopilando antecedentes en general y dentro de otras cuencas del partido en particular. Las variables del medio físicoquímico definidas fueron: conductividad eléctrica, pH, temperatura, cationes y aniones mayoritarios, y nitratos. Las variables definidas del medio socioeconómico a relevar fueron: uso de suelo en el lote, uso del agua de la perforación, caudal de explotación y estado de la misma. En ciertas zonas resultó dificultoso el registro de perforaciones debido a que no se obtuvo el permiso de los propietarios de los establecimientos o las perforaciones se encontraron selladas por lo que no se pudo medir el nivel freático. El conocimiento de las características de diseño y construcción por parte de los propietarios de las perforaciones es escaso.

**Palabras clave:** monitoreo, agua subterránea, uso del agua, ambiente.

## Introducción

El partido de Tandil cuenta con una superficie de 4.836 km<sup>2</sup> dentro de la cual se identifican 8 cuencas hidrográficas (Tabla 1 y Figura 1) cuyos arroyos tienen sus nacientes en los ambientes serranos del sistema de Tandilia<sup>1</sup>. Estas cuencas presentan una extensión regional, es decir que sus límites están por fuera de los correspondientes al partido.

En cuanto al sistema acuífero vinculado a este estudio, podemos mencionar que se encuentra dentro de la región hidrogeológica serrana, que se corresponde

Tabla 1. Superficie de cuencas del partido de Tandil

| Cuenca           | Superficie (Km <sup>2</sup> ) |
|------------------|-------------------------------|
| A° de Los Huesos | 628                           |
| A° Chapaleofú    | 1484                          |
| A° Langueyú      | 687                           |
| A° El Perdido    | 193                           |
| A° Tandileofú    | 314                           |
| A° Las Chilcas   | 461                           |
| A° Napaleofú     | 723                           |
| A° Quequén Chico | 346                           |

con los dos sistemas serranos de la provincia, Tandilia y Ventania<sup>2</sup>. La secuencia hidrolitológica que aloja al sistema geohidrológico consta de tres unidades geológicas:

- ✓ Pospampeano+Pampeano: cuya litología se corresponde con arenas eólicas, fluviales, limos y limos loessoides.
- ✓ Pampeano: su litología integra limos loessoides y limos arenosos.
- ✓ Basamento Hidrogeológico: formado por cuarcitas, lutitas, arcilitas, dolomitas, granitos, gneises y milonitas.

Los sedimentos Pampeanos mencionados conforman la cubierta sedimentaria Cenozoica sobrepuesta al basamento cristalino, la cual corresponde al medio poroso en el que se emplaza el sistema acuífero estudiado. El límite en profundidad del sistema está determinado por el basamento cristalino que funciona como hidroapoyo regional. El espesor de la capa acuífera varía desde un mínimo en los sectores de afloramiento del basamento, incrementándose en dirección noreste<sup>1</sup>. Los sectores geomorfológicos definidos para el partido de Tandil (serranías, piedemonte y llanura) encuentran su correspondencia en el área de estudio. El sector de serranías se caracteriza por la presencia de sierras, cerros aislados y valles, relacionados con la presencia de bloques elevados por fallas directas. En esta área se encuentran las más altas pendientes y los valles de los cursos de aguas se hallan bien definidos. La segunda unidad se ubica en forma continua a la primera, es reconocida como piedemonte, se caracteriza por tener un ángulo de pendiente más suave que la anterior. Se observa la presencia de bloques de gran tamaño y conos aluviales. El drenaje presenta un diseño distributivo. La última unidad morfológica es la llanura, reconocida hacia el NE por la presencia de pendientes muy suaves. Es una zona de acumulación y transporte de materiales más finos, con fuerte predominio de sedimentos de origen eólicos. El drenaje es poco definido y pobremente integrado, con cauces estrechos y cursos temporarios que en ciertos casos desaparecen en suaves

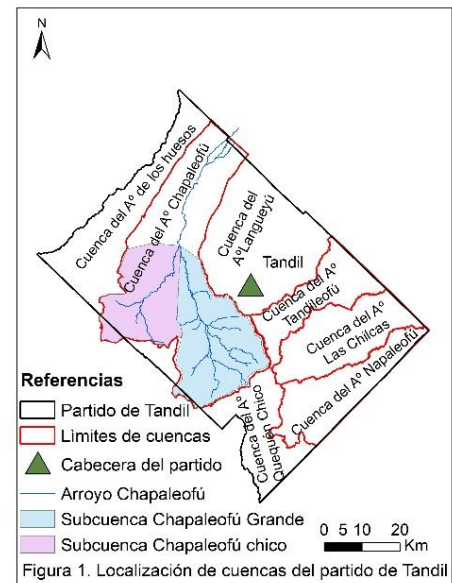


Figura 1. Localización de cuencas del partido de Tandil

depresiones<sup>1</sup>. Siguiendo los criterios utilizados en la delimitación de los sectores geomorfológicos de la cuenca del arroyo Langueyú<sup>3</sup> se ubicó al sector de serranías por encima de los 170 msnm, al sector de piedemonte entre los 170 y 140 msnm y al de llanura por debajo de los 140 msnm.

A pesar de contar con varios cursos superficiales, la mayoría de estos son temporarios y prácticamente no hay en el partido de Tandil cuerpos de agua lénticos. En términos de aprovechamiento, el agua subterránea cobra una gran relevancia ya que tanto el suministro para actividades rurales como urbanas provienen de esta fuente. Es por esta razón que es necesario establecer una rica base de datos acerca del recurso hídrico subterráneo en las diferentes cuencas del partido.

La elaboración de un diagnóstico de la situación ambiental del recurso hídrico realizado a través de la información recolectada por redes de monitoreo es la base para la elaboración de planes, programas y proyectos para realizar una gestión ambientalmente sustentable. En este marco el objetivo del presente trabajo fue diseñar una red ambiental de monitoreo del recurso hídrico subterráneo en la cuenca del arroyo Chapaleofú, mediante la selección de los sitios de muestreo y la definición de las variables de los medios físicoquímico y socioeconómico a relevar.

En el presente trabajo el área de estudio se restringió a la cuenca del arroyo Chapaleofú. Esta cuenca es la de mayor extensión del partido, se desarrolla predominantemente en el espacio rural y cuenta con los asentamientos de Azucena, María Ignacia (Estación Vela), Gardey y La Pastora que poseen las características típicas de concentraciones de población rural, como el desarrollo económico vinculado a actividades agropecuarias. La cuenca del arroyo Chapaleofú presenta dos subcuencas en sus cabeceras, la del arroyo Chapaleofú Chico y la del arroyo Chapaleofú Grande (Figura 1). Diversas investigaciones incluyen el recurso hídrico subterráneo de la cuenca del arroyo Chapaleofú en su estudio. Se ha evaluado a nivel de partido la línea de base para nitratos en agua subterránea<sup>1</sup>, la concentración de agroquímicos en dicho recurso<sup>4</sup>, y su calidad en relación a las prácticas agropecuarias determinando conductividad eléctrica, cloruros y nitratos<sup>5</sup>. Dentro de la subcuenca del arroyo Chapaleofú Chico se analizaron las características geohidrológicas de la misma y el impacto que generan las actividades agropecuarias principales del área, realizando análisis de nitratos, cloruros y conductividad eléctrica<sup>6</sup>.

Considerando los antecedentes expuestos se advierte que no se han efectuado trabajos que analicen el recurso hídrico subterráneo en la totalidad de la cuenca y al nivel de detalle que se propone en el presente estudio.

Este trabajo se enmarca en una tesis doctoral que tiene como objetivo general "Diseñar, elaborar y evaluar una red ambiental de monitoreo del recurso hídrico en la cuenca del arroyo Chapaleofú".

## **Materiales y métodos**

En primer lugar se delimitó la cuenca en cuestión mediante la unificación de 11 cartas topográficas de escala 1:50.000. Los límites de la cuenca fueron definidos siguiendo el diseño de las curvas de nivel, excepto en el límite noreste que fue determinado mediante un cierre arbitrario en el límite del partido de Tandil con el de Rauch. El resultado de la delimitación de la cuenca fue digitalizado en el software ArcMap 10.2 mediante la previa digitalización de las cartas topográficas. Una vez definida el área de estudio se procedió a realizar un registro de las perforaciones existentes en la misma. Para esto se tuvieron en cuenta aquellos pozos utilizados en trabajos antecedentes y la búsqueda de nuevos sitios por medio de salidas de campo.

El registro constó de 104 perforaciones de las cuáles se seleccionaron 48. Esta selección se realizó llevando a cabo un muestreo por juicio o subjetivo. En este tipo de muestreo se emplea el conocimiento del experto y la opinión personal para identificar a los elementos de la población que deben incluirse en la muestra<sup>7</sup>. Se aplicó una técnica de ArcMap 10.2 que generó un mallado sobre la cuenca. En cada celda del mallado (que presenta una superficie de 36 km<sup>2</sup>) se compararon las perforaciones presentes, para seleccionar una perforación por celda, con el fin de asegurar una distribución geográficamente homogénea de las mismas, teniendo en cuenta los límites hidrológicos. La selección fue realizada mediante la sumatoria de valores de las variables analizadas que compusieron un índice, con valores entre 12 y 18, siendo aquellos más altos los óptimos y por ende los seleccionados. Las variables que se compararon y se consideraron en forma conjunta para la selección fueron: accesibilidad, presencia de encamisado en la perforación, mantenimiento sanitario de la misma, valores de conductividad eléctrica acordes a datos antecedentes, distancia a otras perforaciones seleccionadas, distancia al baricentro de la celda, posibilidad de toma de muestra directa del acuífero y posibilidad de toma de muestra de agua y medición de nivel en la misma perforación. Cada una de las variables presentó dos valores posibles (0 y 2), excepto accesibilidad que constó de tres valores probables (0, 2 y 4), con el fin de ponderar esta variable sobre el resto. Cada una de las perforaciones correspondientes a la misma celda sumó un valor total mediante la aplicación del índice. La perforación que mayor cantidad de puntos obtuvo en cada celda fue la que resultó elegida. La selección comenzó realizándose por la celda inferior derecha del mallado hacia la izquierda

completando toda la fila. Se continuó por la fila superior a esta desde la izquierda hacia la derecha nuevamente, y de esta forma hasta completar todas las filas.

En la Tabla 2 podemos ver la condición que se priorizó para cada variable. En la accesibilidad se prefirieron aquellas perforaciones cuyo acceso se encontró cercano a rutas y a caminos en buen estado, como así también aquellas en que los propietarios mostraron una mejor predisposición a colaborar en el trabajo. En la variable encamisado se valoró de mejor manera aquellas perforaciones que presentaron encamisado, ya que éste brinda protección a la perforación de posibles contaminantes. En cuanto al mantenimiento sanitario de la perforación se priorizaron aquellas que se encontraron en mejor estado, se valoró que posean cubierta superior y que no tengan residuos a su alrededor. En la variable conductividad eléctrica acorde a la zona se prefirieron aquellas perforaciones que presentaron valores de conductividad coherentes con los datos antecedentes para la zona, con el fin de evitar muestrear en sitios que presenten una contaminación puntual del recurso. Respecto a la distancia al pozo seleccionado más cercano, se priorizó la perforación que presentó menor cercanía a algún punto seleccionado con el fin de obtener una distribución geográfica lo más homogénea posible. Siguiendo esta meta en la variable distancia al baricentro de la celda se valoró de mejor manera aquella perforación que más cercana se encontró al centro de la

**Tabla 2.** Variables tenidas en cuenta en selección de las perforaciones.

| <i>Variable</i>   | <i>Condición</i>      | <i>Valor</i> |
|---|-----------------------|--------------|
| <i>Accesibilidad (camino, contacto)</i>                     | <i>Buena</i>          | 4            |
|   | <i>Regular</i>        | 2            |
|   | <i>Mala</i>           | 0            |
| <i>Presencia de encamisado</i>                              | <i>Si</i>             | 2            |
|   | <i>No</i>             | 0            |
| <i>Mantenimiento sanitario de la perforación</i>            | <i>Bueno</i>          | 2            |
|   | <i>Malo</i>           | 0            |
| <i>Conductividad eléctrica acorde a la zona</i>             | <i>Si</i>             | 2            |
|   | <i>No</i>             | 0            |
| <i>Distancia a perforación seleccionada más cercana</i>     | <i>Menor cercanía</i> | 2            |
|   | <i>Mayor cercanía</i> | 0            |
| <i>Distancia al baricentro de la celda</i>                  | <i>Mayor cercanía</i> | 2            |
|   | <i>Menor cercanía</i> | 0            |
| <i>Muestra directa de acuífero</i>                          | <i>Si</i>             | 2            |
|   | <i>No</i>             | 0            |
| <i>Toma de muestra y medición de nivel en el mismo pozo</i> | <i>Si</i>             | 2            |
|   | <i>No</i>             | 0            |

celda. En cuanto a la muestra directa del acuífero se priorizaron aquellas perforaciones donde el agua no pasa por un tanque previo al muestreo. En la variable toma de muestra y medición de nivel en el mismo pozo se valoraron los puntos en los cuales se pudieron realizar las dos acciones en la misma perforación.

La selección de los sitios incluyó perforaciones que se encuentran fuera de los límites de la cuenca con el fin de verificar los mismos, especialmente aguas abajo de las divisorias serranas. Los puntos que se encuentran fuera de la cuenca fueron comparados únicamente con otros de la misma condición utilizando las mismas variables explicadas previamente. Quedaron distribuidas tres perforaciones por fuera de cada una de las subcuencas, tres por fuera del margen noroeste, dos del margen sudeste y dos pertenecientes al partido de Rauch en la continuación de la cuenca hacia ese sector. La definición de las variables de los medios físicoquímico y socioeconómico a relevar se realizó recopilando antecedentes en general y dentro de otras cuencas del partido de Tandil en particular.

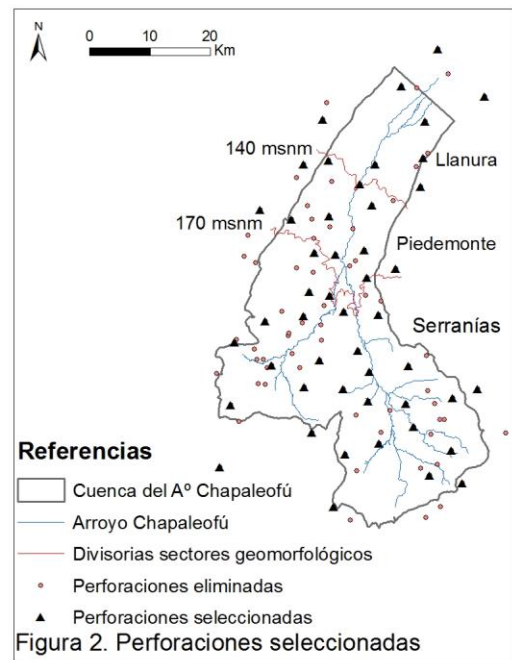
## Resultados y discusión

De las 48 perforaciones seleccionadas 13 (27%) se encuentran dentro de la subcuenca del arroyo Chapaleofú Grande, 9 (19%) dentro de la subcuenca del Chapaleofú Chico, 13 (27%) dentro de la cuenca del arroyo Chapaleofú propiamente dicha, y las 13 (27%) restantes se ubican por fuera del límite definido a priori para la cuenca con el fin de verificarlo, especialmente en el sector de llanuras.

Los 48 puntos se dividen en los diferentes sectores geomorfológicos de la siguiente manera: 29 (60%) en el sector de serranías, 10 (21%) en la zona de piedemonte y 9 (19%) en el sector de llanura.

Los usos de suelo en los establecimientos donde resultaron seleccionadas las perforaciones se distribuyen de la siguiente manera: 41 (86%) corresponden a establecimientos agrícola-ganaderos, 2 (4%) corresponden a cría de caballos y siembra, 2 (4%) presentan un uso semiurbano y los 3 (6%) restantes tienen otros usos.

En cuanto al uso que presentan las perforaciones, 25 (52%) tienen un uso doméstico y para consumo de animales, 11 (23%) únicamente para consumo de los animales, 10 (21%) solamente para uso doméstico y las 2 (4%) restantes presentan otros usos. Al no haber perforaciones con un uso intensivo del agua será posible que la red monitorea sea representativa de las condiciones del recurso a nivel regional, y no de situaciones de impacto o perturbación puntual. Las variables definidas del medio físicoquímico a ser relevadas fueron las siguientes: conductividad eléctrica, pH, temperatura, cationes y aniones mayoritarios y nitratos. Las variables definidas del medio socioeconómico a relevar fueron: uso de suelo en el lote donde se ubica la perforación, uso del agua de la perforación, caudal de explotación de la perforación y estado de la misma. La frecuencia de muestreo será estacional.



B. Dipardo, R.S. Barranquero, S.G. Etcheverría, C. Corengia, B. Nicora, G. del Valle, F. J. Zapelli, A. Ruiz de Galarreta

## Conclusiones

La metodología expuesta en el presente trabajo fue de utilidad para realizar una reducción del total de perforaciones consideradas para el monitoreo en la cuenca, seleccionando aquellas que fueron valoradas de una forma más positiva, con el fin de reducir costos y tiempos de muestreo. La evaluación del diseño de la red monitorea planteada en este trabajo es uno de los objetivos específicos de la tesis doctoral de la que este trabajo se desprende. La metodología aplicada en este estudio es transferible a estudios geohidrológicos de otras cuencas del faldeo norte del sistema serrano de Tandilia como así también a regiones con diferentes características geohidrológicas, teniendo la precaución de definir las variables de análisis y sus condiciones a priorizar de acuerdo al conocimiento del investigador de dichas características geohidrológicas.

En ciertas zonas resultó dificultoso el registro de perforaciones debido a que no se obtuvo el permiso de los propietarios de los establecimientos o los pozos se encontraron sellados por lo que no se pudo medir el nivel freático. El conocimiento de las características de diseño y construcción por parte de los propietarios de las perforaciones es escaso.

## Referencias

- 1-Ruiz de Galarreta V. A. y Banda Noriega R. *Geohidrología y evaluación de nitratos del partido de Tandil, Buenos Aires, Argentina*. En: IV Congreso Argentino de Hidrogeología. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. UNCR. Córdoba, octubre de 2005; pp.: 99-108.
- 2-González N. *Los ambientes hidrogeológicos de la provincia de Buenos Aires*. Cap. XXII, pp. 359-374; *En: Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*. La Plata, 2005.
- 3-Ruiz de Galarreta V. A., Barranquero, R., Varni, M., Rodríguez, C.I. *Geología e hidrología de la cuenca del Arroyo Langueyú, Provincia de Buenos Aires (Argentina)*. UNICEN. CINEA. IHLLA. 2011.
- 4-Banda Noriega, R., Ruiz de Galarreta, A. V., Barranquero, R. S., Saraceno, D., Irastorza, M.T, Cifuentes, M., Cisneros Basualdo, N.E., Díaz, A., Donalicio R., Galecio, M.F., Landa, R., Quiroga, M., Rodríguez, C.I., Sosa, B. y Tabera, Anahí. *Evaluación de agroquímicos en arroyos y agua subterránea del partido de Tandil considerando características hidrogeológicas y uso del suelo*. UNICEN. CINEA. FCH, FCV. 2018
- 5-Barranquero R. S., Saraceno D., Galecio M.F., Cisneros Basualdo N.E., Quiroga M.A., Landa R., Ruiz de Galarreta A., Banda Noriega, R. *Prácticas agropecuarias y efectos ambientales en el recurso hídrico subterráneo en el partido de Tandil*. CINEA. UNICEN. 2019.
- 6-Pessolano B., Ruiz de Galarreta A., Varni M., Barranquero R. S., Larsen A. *Análisis geohidrológico de la cuenca del arroyo chapaleofú chico (Tandil) y su relación con las prácticas agropecuarias*. CINEA. UNICEN. 2009.
- 7- David R. Anderson, Dennis J. Sweeney, Thomas A. Willians. *Estadística para administración y economía*.Capitulo 7. 10ª. Edición. 2008