



# Propuesta para el estudio comparativo del recurso hídrico subterráneo. Ejemplo de caso: cuencas de los arroyos Langueyú y Del Azul

## Proposal for the comparative study of groundwater resources. Case example: basins of the Langueyú and Del Azul streams

Barranquero, Rosario Soledad <sup>1,4</sup> ✉ - Varni, Marcelo Raúl <sup>2</sup> - Pardo, Rafael <sup>3</sup> - Vega, Marisol <sup>3</sup>  
Zabala, María Emilia <sup>2,4</sup> - Ruiz de Galarreta, Víctor Alejandro <sup>1</sup>

Recibido: 12 de diciembre de 2016 • Aceptado: 20 de diciembre de 2016

### Resumen

*Dada la complejidad de la evaluación integral de los recursos hídricos es necesario que los estudios hidrogeológicos a nivel de cuenca se enriquezcan con el análisis regional, por ejemplo a través de la comparación entre cuencas de una región. Se planteó como objetivo del trabajo elaborar una propuesta para el estudio comparativo del recurso hídrico subterráneo y analizarla a través del ejemplo de caso de las cuencas de los arroyos Langueyú y Del Azul. Los aspectos definidos para la comparación fueron: litología, hidrodinámica, hidroquímica e influencia antrópica. Se consideraron mediciones de niveles freáticos y análisis fisicoquímicos en redes de monitoreo del agua subterránea; se analizaron los impactos potenciales al sistema según las características del medio físico y las actividades antrópicas. De acuerdo a los resultados, en ambas cuencas la disponibilidad de agua subterránea está dada por dos ambientes hidrogeológicos (fisurado y poroso); el modelo conceptual hidrodinámico e hidroquímico es similar. En tanto, existen diferencias respecto a las dimensiones de los servicios sanitarios en los centros urbanos (suministro de agua y gestión de efluentes domiciliarios) y las principales cargas contaminantes potenciales. Se concluyó que a nivel regional es importante profundizar el estudio en el uso y la gestión del recurso, ya que las*

*diferencias relevantes se presentaron en este aspecto, no en sus características naturales. El trabajo permitió tanto sistematizar la información con que cuenta el grupo de trabajo, como probar que la comparación es un camino metodológico posible para trabajar posteriormente con otras cuencas del faldeo Norte de las Sierras de Tandilia en la elaboración de propuestas de gestión conjuntas.*

**Palabras clave:** *cuenca, Llanura Pampeana, análisis regional, estudio comparativo, gestión de los recursos hídricos.*

1. Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales, UNCPBA. Gral. Pinto 399, 7000 Tandil, Argentina. Tel. 0249 4385772.

✉ rosariobarranquero@yahoo.com.ar

2. Instituto de Hidrología de Llanuras 'Dr. Eduardo J. Usunoff', UNCPBA. República de Italia 780, B7300 Azul, Argentina.

3. Departamento de Química Analítica, UVA. Campus Miguel Delibes, E- 47011 Valladolid, España.

4. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina.

## Abstract

The integral water resources evaluation requires that the hydrogeological studies at the basin level will join regional analysis, for example through comparison analysis between basins of a region. The objective of this work was to elaborate a proposal for the comparative study of the groundwater resources and to analyze it through the case example in the basins of the Langueyú and Del Azul streams. The aspects defined for comparison were: lithology, hydrodynamic, hydrochemistry and anthropogenic influence. Groundwater levels and physicochemical analysis at monitoring networks was considered; the potential impacts to the system were analyzed according to the physical characteristics and human activities. According to the results, in both basins groundwater availability is given by two hydrogeological environments (fissured and porous); the hydrodynamic and hydrochemical conceptual model is similar. Meanwhile, there are differences in the dimensions of urban sanitation services (sewer and potable water network) and the main potential pollutant loads. It was concluded that at the regional level it is important to deepen the study on the resource use and management, since the differences were relevant in this respect, not their natural characteristics. The work allowed both to systematize the information available to the working group, and to prove that the comparison is a possible methodological way to work later with other basins of the Tandilia hills in the elaboration of joint management proposals.

**Keywords:** basin, Pampean plain, regional analysis, comparative study, water resources management.

## INTRODUCCIÓN

La cuenca como la delimitación territorial más adecuada para el estudio de los recursos hídricos es un principio reconocido por numerosos autores (CEPAL, 2002; Dourojeanni et al., 2002; Jouravlev, 2003; Kosten y Guerrero, 2005; Guerrero et al., 2006; Custodio et al., 2008; Sabuquillo et al., 2009; Ministerio de Jefatura de Gabinete de Ministros de la Provincia de Buenos Aires y Universidad Nacional de La Plata, 2012; Peña, 2016). Entre ellos, Dourojeanni et al. (2002) explican que hay tres razones fundamentales por las cuales la gestión ambiental de los recursos hídricos debe plantearse a este nivel:

- Las cuencas, como unidades que captan y concentran la oferta de agua, son representativas de la interdependencia y las interrelaciones que se establecen entre los usos y usuarios de agua, que necesitan distintas condiciones del recurso, en cuanto a cantidad y calidad, para cada caso.
- Constituyen además un área de interdependencia e interacción, en un proceso permanente y dinámico, del agua con el sistema físico (recursos naturales) y el biótico (flora y fauna).
- En sus territorios también se manifiestan las interrelaciones con el sistema socioeconómico, formado por los usuarios de las cuencas, sean habitantes o interventores externos de la misma. En este sentido, es imprescindible considerar que en una cuenca se comparte la dependencia de un sistema hídrico, de los caminos y las vías de acceso, y de las oportunidades de desarrollo en ese territorio, con lo cual las características culturales también tienen rasgos comunes.

Muchos autores reconocen además que la gestión a nivel de cuenca representa un gran desafío porque su delimitación no coincide con las formas tradicionales de gobierno que se basa en límites político-administrativos, como estados, provincias, regiones y municipios. Sumado a esto, las entidades públicas y privadas que deben llevarla adelante tienen usualmente una visión sectorial de la gestión del agua. De hecho, en el año 2005 (*Millennium Ecosystem Assessment, 2005*) se reconoció que los avan-

ces de las últimas décadas en el conocimiento de los recursos hídricos, así como en la comprensión de su importancia, no se han correspondido con avances notables en el uso y gestión sustentable, entendiéndose como uno de los factores causantes de ello la falta de líneas de gestión regionales. En este sentido, se considera que el abordaje del recurso hídrico subterráneo debe basarse en el conocimiento integral a nivel de cuenca, pero con una proyección regional, es decir que involucre varias cuencas de una región a partir de la identificación de rasgos comunes para lo cual es necesario aplicar un estudio comparativo.

Aunque la comparación como enfoque metodológico tuvo un importante desarrollo en las ciencias sociales (Merino Escobar, 1993; Sartori y Morlino, 1994; Duverger, 1996; entre otros), los estudios comparativos utilizando enfoques hidrogeológicos y ambientales son muy escasos. En trabajos antecedentes la comparación se centra en uno o algunos aspectos específicos como: variables geohidrológicas (Kruse, 1986), niveles de nitrato y herbicidas (Panno y Kelly, 2004), o evolución hidroquímica (Galego Fernandes et al., 2005). Se han hallado además estudios más amplios por considerar tanto variables referidas al medio físico como a aspectos socio-económicos, o tener como propósito la generación de pautas de gestión (Salomón y Soria, 2003; Bazán et al., 2011 y Prat, 2014). Considerando los antecedentes limitados en el campo de la comparación en términos del estudio integral de recursos hídricos, se planteó como objetivo del trabajo elaborar una propuesta para el estudio comparativo del recurso hídrico subterráneo y analizarla a través del ejemplo de caso de las cuencas de los arroyos Langueyú y Del Azul. La proyección regional va más allá del objetivo específico de este trabajo, ya que pretende ser un aporte metodológico para incorporar posteriormente otras cuencas de la región y proponer estrategias de gestión conjuntas.

La consideración de estas cuencas como caso ejemplo obedece, en primer lugar, a su pertenencia a la Llanura Pampeana, la principal área de producción agrícola de secano y una de las regiones de Argentina con mayores fortalezas desde el punto de vista económico (Figura 1). Sumado a esto, ambas se ubican en el sistema de Tandilia y tienen sus nacientes en el faldeo Norte; varios estudios, con diferentes escalas espaciales,

han identificado características comunes entre las cuencas con cabecera en dicho faldeo (Hernández et al., 2002; Ruiz de Galarreta, 2006; Barranquero, 2009; Varni, 2013). En tercer lugar, se posee un grado de conocimiento similar sobre el comportamiento de las aguas subterráneas de las cuencas del arroyo Languayú y Del Azul, dado que se estudian a nivel de cuenca en el Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA) en el primer caso, y en el Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA) en el segundo. Las cuencas se encuentran separadas entre ellas por aproximadamente 80 km, en los cuales se desarrollan otras cuencas de similar tamaño que no han sido estudiadas de manera sistemática, razón por la cual se tiene menor grado de conocimiento.

El sistema de Tandilia se ubica en la parte central de la provincia de Buenos Aires. Tiene una longitud mayor a 300 km, un ancho máximo de 60 km y se extiende en dirección NO-SE. Se caracteriza por serranías de entre 50 y 250 m que emergen en el relieve plano de la Llanura Pampeana (Cingolani, 2010). El sistema se ha dividido en grupos designados con el nombre de la ciudad o distrito más cercano, sin correspondencia con las características hidrogeológicas.

Las cuencas de los arroyos Languayú y Del Azul están situadas en los distritos de Tandil y Azul, con 123.871 y 65.280 habitantes, respectivamente (INDEC, 2010). Las ciudades cabecera de dichos partidos se asientan dentro del área de cada cuenca y generan una fuerte demanda de aguas subterráneas para abastecimiento humano y para diferentes actividades socioeconómicas, principalmente la agricultura.

Languayú y Del Azul se extienden sobre un área de aproximadamente 600 km<sup>2</sup> y 6000 km<sup>2</sup>, respectivamente, excluyendo el área de descarga regional de agua subterránea que ocurre en el río Salado, es decir al NE de las cuencas estudiadas. La diferencia en la extensión no está dada por elementos geomórficos o fisiográficos, sino por límites arbitrarios que se han impuesto en el extremo aguas abajo de cada una por cuestiones operativas del muestreo de campo. Esto hace que las trayectorias de flujo en la cuenca Del Azul sean más largas, es decir que el agua subterránea tenga mayor tiempo de recorrido. Otra

diferencia importante es que la ciudad de Tandil se encuentra en el sector de piedemonte, mientras que la ciudad de Azul se asienta en el sector de transición entre el piedemonte y la llanura. Incluso teniendo en cuenta estas diferencias, ambas áreas tienen muchas características comunes que las hacen comparables, como la ubicación de sus cabeceras en el faldeo N del sistema de Tandilia, y la dirección de la escorrentía superficial y el flujo de agua subterránea hacia el NE con descarga en el río Salado.

Desde el punto de vista geomorfológico las cuencas tienen tres sectores (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005; Zárate et al., 2010; Varni, 2013):

- Serranías: con un fuerte control estructural de la dinámica hidrológica que determina una red de drenaje integrada y con diseño dendrítico. Las pendientes tienen valores promedio de 6% en la cuenca del arroyo Languayú y de 5% en la cuenca del arroyo Del Azul.
- Piedemonte: con una red de drenaje de diseño bien definido y distributivo. El flujo es divergente en concordancia con la morfología. Las pendientes son más suaves que en el sector anterior con valores de 0,2% para ambas cuencas.
- Llanuras: el drenaje es poco definido y pobremente integrado, muestra cauces estrechos y cursos temporarios, los cuales a menudo se pierden en suaves depresiones. Las pendientes tienen valores promedio de 0,1% en la cuenca del arroyo Languayú y entre 0,05 y 0,1% en la cuenca del arroyo Del Azul. El movimiento del agua tiene un predominio de la componente vertical frente a la horizontal debido a estas escasas pendientes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El marco conceptual del método comparativo define dos formas de realizar la comparación. Una posibilidad es el enfoque centrado en los casos, que se apoya en el reconocimiento de la diversidad y complejidad y por lo tanto recurre al análisis cualitativo. La alternativa es centrarse en las variables, bajo la

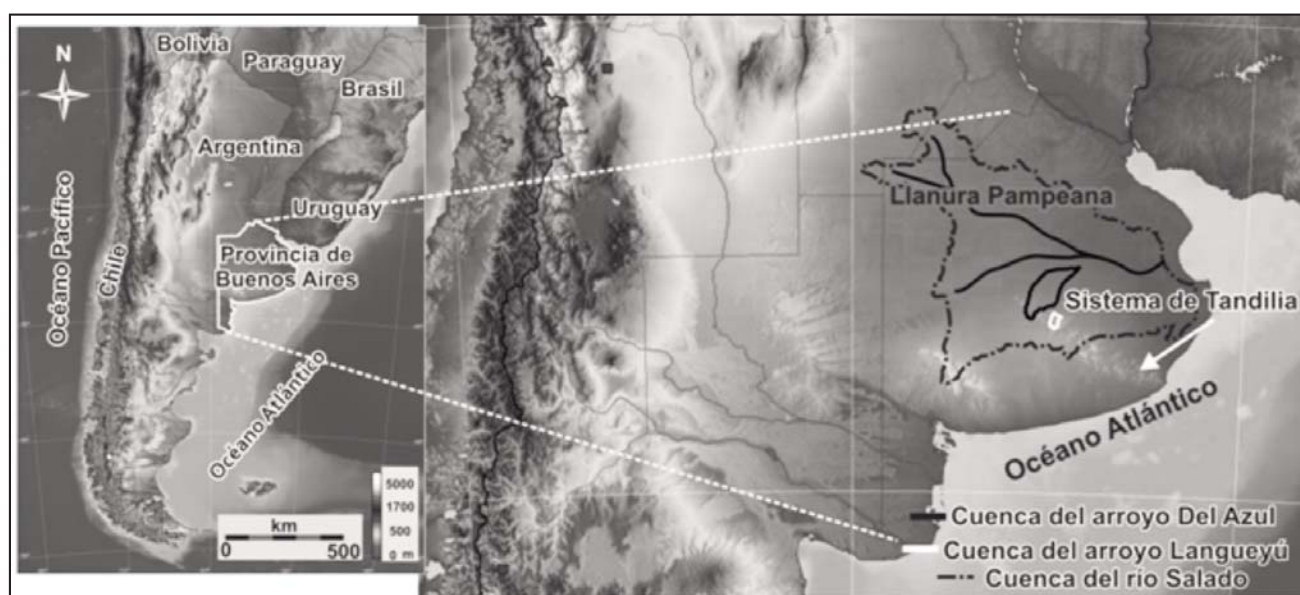


Figura 1. Localización de la Pampa Húmeda, el Sistema de Tandilia y representación de las cuencas Languayú y Del Azul en Argentina (modificada a partir de Barranquero et al., 2016, pp. 2).

conceptualización de la búsqueda de generalidades, haciendo uso en este caso del análisis cuantitativo (*Ragin, 1987*). El estudio comparativo que se plantea en esta propuesta se podría definir como un enfoque centrado en los casos ya que se estudian sólo dos cuencas. Sin embargo, es necesario aplicar el análisis cuantitativo para algunas variables y el cualitativo para otras, siendo esto parte de la complejidad que involucra el estudio integral de los recursos hídricos. *Duverger (1996)* indica que la comparación se trata de evaluar la analogía estructural y la complejidad de los elementos a cotejar. En este marco se consideró que el funcionamiento del sistema hídrico subterráneo puede compararse analizando la interacción de las variables que definen a nivel de cuenca: los aspectos generales del medio físico, los aspectos hidrogeológicos, la relación de la población con el recurso hídrico, y las políticas públicas vinculadas a su gestión. Para concretar el análisis es necesario:

- Definir y aplicar las técnicas de comparación de las variables referidas a los aspectos *generales del medio físico* (climáticos, geomorfológicos y edáficos), que a priori serían: régimen climático, montos y momentos de ocurrencia de excesos y déficits en el balance hídrico, morfología, diseño y características del drenaje superficial, pendientes, tipos de suelos y/o presencia o ausencia de horizontes limitantes para la infiltración, composición mineralógica y contenido de materia orgánica de los suelos, y régimen de humedad de los mismos.
- Definir y aplicar las técnicas de comparación de las variables referidas al aspecto *hidrogeológico-hidrolitológico*, que a priori serían: ambientes hidrolitológicos, tipo de acuífero, y profundidad del basamento cristalino.
- Definir y aplicar las técnicas de cotejo de las variables referidas al aspecto *hidrogeológico-hidrodinámico*, que a priori serían: recarga, profundidad y variaciones del agua subterránea, sitios de descarga, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento, y relación agua superficial-agua subterránea (considerando especialmente el coeficiente de escurrimiento que se encuentra "regulado" sólo en la cuenca del arroyo Langueyú).
- Definir y aplicar las técnicas de comparación de las variables referidas al aspecto *hidrogeológico-hidroquímico*, que a priori serían: tipificación de aguas, procesos hidrogeoquímicos fundamentales, y calidad del agua subterránea para distintos usos (doméstico, industrial y agropecuario).
- Definir y aplicar las técnicas de comparación de las variables referidas a la *relación de la población con el recurso hídrico*, que a priori serían: racionalidad de ocupación del territorio, usos del suelo, cantidad de agua subterránea requerida para distintos usos (doméstico, industrial y agropecuario), calidad de agua requerida para esos usos, y afectación hidrodinámica e hidroquímica por distintas actividades.
- Definir y aplicar de las técnicas de comparación de las variables referidas a las *políticas públicas* vinculadas al recurso hídrico, su uso y gestión, que a priori serían: contenidos, instrumentos, aspectos institucionales y previsión de resultados. Se considerarán tanto las políticas públicas a nivel local, como regional, provincial y nacional.

En esta publicación se muestran los resultados de un primer análisis general realizado con los propósitos de sistematizar la información con que cuenta el grupo de trabajo hasta el momento y probar la metodología. Para ello se consideraron algunos de los aspectos de comparación explicados anteriormente con menor nivel de detalle: litología, hidrodinámica, hidroquímica e influencia antrópica. El período de estudio se definió entre los años 2010 y 2013 porque la profundización de las investigaciones ocurrió en estos años.

Para comparar la litología se utilizaron estudios antecedentes a distintas escalas, tanto realizados en la totalidad del sistema de Tandilia como específicamente en las Sierras de Tandil y de Azul. Se consideraron además descripciones de perfiles litológicos de perforaciones efectuadas por el ente prestador del servicio de agua de red en la cuenca del Langueyú (Obras Sanitarias Tandil -OST-) y por el Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA) y la Cooperativa Eléctrica de Azul (Servicios Sanitarios) en la cuenca Del Azul. También fueron importantes los estudios geofísicos, realizados por grupos de trabajo que los autores integran en el CINEA y el IHLLA, a través de los cuales ha sido posible conocer la profundidad y configuración del basamento cristalino en ambas cuencas.

Para analizar la hidrodinámica e hidroquímica se utilizaron redes de monitoreo, representativas de la sección superior del acuífero, en las que el CINEA y el IHLLA realizan mediciones de niveles freáticos y análisis fisicoquímicos desde hace muchos años. Si bien estas redes se definieron en momentos y centros de investigación distintos se consideran adecuadas para la comparación porque se planificaron con objetivos similares. En la cuenca del arroyo Langueyú la red consta de 21 perforaciones y en la Del Azul de 24, con una distribución de forma aproximadamente regular en la superficie de cada cuenca. En las perforaciones se determinó en campo conductividad, pH, temperatura y bicarbonatos, y los restantes iones mayoritarios y nitratos en laboratorios de la UNCPBA con métodos normalizados (*APHA, 2005*).

Para conocer la situación hidrológico-climática en el período de estudio se calculó el balance hídrico según *Thornthwaite y Mather (1957)*, utilizando los datos proporcionados por la estación Tandil Aero (175 msnm, 37° 23' S y 59° 25' W) y la estación meteorológica Azul (145 msnm, 36° 50' 5.08" S y 59° 53' 18.86" W) -Servicio Meteorológico Nacional-. Los balances de agua se compararon mediante el análisis de la magnitud y el tiempo ocurrencia de los excesos y déficits.

Respecto a la influencia antrópica se analizaron los impactos potenciales según las características del medio físico y las actividades antrópicas, considerando tanto estudios antecedentes sobre cargas contaminantes potenciales al recurso hídrico, como observación directa de campo y análisis puntuales de cargas realizados en el CINEA y el IHLLA.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Litología

El sistema de Tandilia presenta un núcleo constituido por el basamento cristalino de edad precámbrica denominado Complejo Buenos Aires (*Marchese y Di Paola, 1975*) sobre el cual se asientan en determinados sectores sedimentitas con cierto grado de metamorfismo del Grupo La Tinta: pelitas, calizas, ortocuarcitas, etc., del precámbrico superior-paleozoico inferior (*Dalla Salda, 1999*) y la cubierta areal de sedimentos cenozoicos Pampeanos y Postpampeanos (*Teruggi y Kilmurray, 1975*).

En la cuenca del arroyo Langueyú la composición del basamento cristalino metamórfico es tonalítica a granodiorítica (Teruggi y Kilmurray, 1975). Este basamento se encuentra en superficie en la cabecera de la cuenca y se profundiza de manera irregular, escalonada, alcanzando una profundidad de 200 m en el límite impuesto al Noreste.

La cubierta sedimentaria tiene edad Plio-Pleistoceno y es mayormente limosa. En las proximidades del frente serrano (cuenca superior) se compone principalmente por conglomerados de 30 a 50 cm, disminuyendo su tamaño hacia el Noreste donde se hallan diámetros de 3 o 4 cm. La matriz es generalmente limosa con fracciones subordinadas de arena y arcilla, pero también puede hallarse arenisca limo-arcillosa con proporciones variables de carbonato de calcio sobre todo cerca del frente serrano (Fidalgo et al., 1975).

En tanto, el basamento cristalino en la cuenca Del Azul presenta composición granítica a tonalítica con presencia de gneis, migmatitas, anfibolitas y plutones graníticos, con escasos esquistos y rocas ultramáficas (Dalla Salda et al., 2006). Las rocas cristalinas emergen en la cabecera y adquieren luego distintas profundidades: 30 a 50 m en la cuenca alta, hasta 120 m en la cuenca media, y alrededor de 800 metros en la cuenca baja (Zabala, 2013); por lo tanto el espesor saturado es mayor en esta cuenca que en la del Langueyú, pero simplemente porque el límite Noreste impuesto en esta cuenca está más cercano al río Salado que en la del Langueyú.

La cubierta sedimentaria está compuesta por sedimentos Pampeanos de edad Pleistoceno-Holoceno y Postpampeanos del Pleistoceno tardío y Plioceno-temprano. Estas unidades consisten en limos, limos arenosos y arcillosos con lentes de carbonato de calcio a poca profundidad (Fidalgo et al., 1975). Por debajo de la Formación Pampeano, a partir de aproximadamente los 90 m, se desarrolla la Formación Paraná, compuesta por calizas y materiales arenosos a arcillosos con abundantes fósiles (Aceñolaza, 2000).

Resumiendo, si bien las cuencas en estudio muestran algunas diferencias en el tipo y la profundidad de los materiales geológicos, tienen en común los dos principales ambientes hidrogeológicos que definen la disponibilidad de agua subterránea:

- En el sector de serranías y parte del piedemonte, el basamento cristalino se encuentra en superficie o a muy poca profundidad de ella y el material presenta una permeabilidad secundaria dada por la fisuración en las rocas. Aquí la cubierta sedimentaria es delgada y por lo tanto el acuífero tiene bajo rendimiento de la explotación.
- Hacia el Noreste el basamento cristalino se profundiza haciéndose impermeable a los fines prácticos, por la disminución y/o desaparición de fisuras, y constituyendo el límite inferior del acuífero en piedemonte y llanuras. El espesor de la cubierta sedimentaria, medio poroso, aumenta constituyendo un acuífero freático multiunitario, ya que tiene discontinuidades en profundidad, aunque éstas son sólo de carácter local (Sala et al., 1981; Sala et al., 1987). A pesar de las diferencias en los distintos sectores geomorfológicos, toda la cubierta sedimentaria superficial, hasta aproximadamente 200 m, está formada por sedimentos Pampeanos y Postpampeanos.

### Hidrodinámica

Ambas cuencas tienen un régimen climático subhúmedo-húmedo mesotermal, con poca o nula deficiencia de agua, C2B'2r (clasificación Thornthwaite y Mather, 1957).

En Tandil (cuenca del arroyo Langueyú) Ruiz de Galarreta y Banda Noriega (2005) realizaron un balance de agua en el período 1900-2000, obteniendo que: la precipitación media anual fue de 838 mm y la evapotranspiración real media de 712 mm, con un déficit de 18 mm correspondiente a enero, febrero y marzo. Los excesos fueron de 144 mm y se distribuyeron en los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre.

A partir del balance hídrico en los años de muestreo hidrodinámico e hidroquímico (2010, 2011 y 2012) se visualiza una alternancia del año 2010, que se puede considerar húmedo, porque los excesos fueron mayores a los del balance modular (Figura 2 a), el 2011 seco, con excesos menores y mayores déficits, y 2012 que vuelve a ser húmedo con excesos 300% más altos que los ocurridos en el balance modular. En cuanto

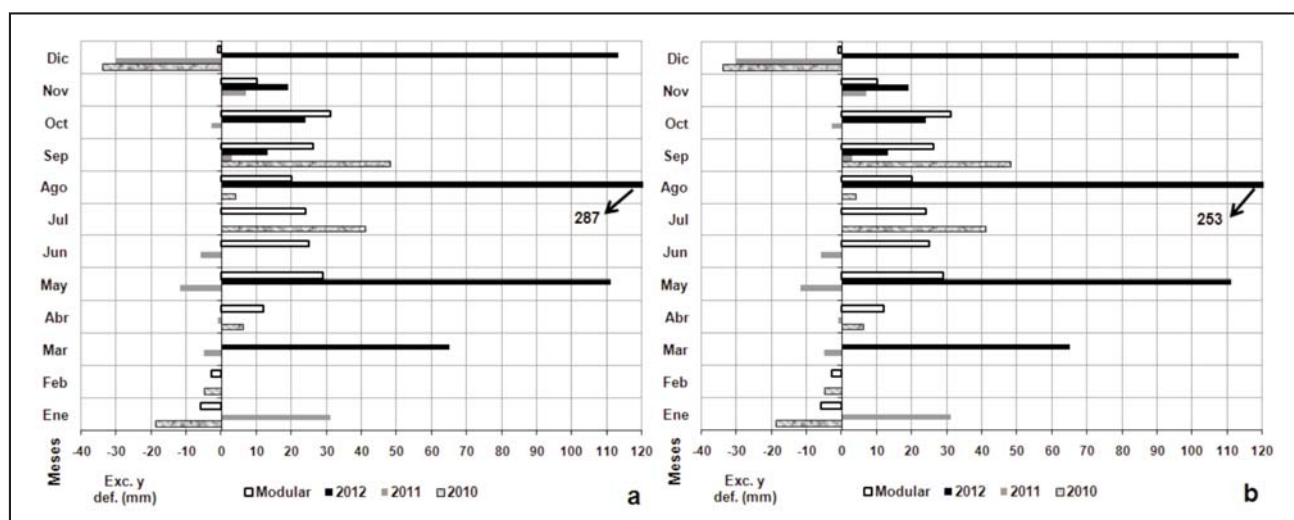


Figura 2. Comparación de excesos y déficits en el balance hídrico modular y de los años 2010, 2011 y 2012. Izquierda (a): Tandil. Derecha (b): Azul.

a los momentos de ocurrencia de excesos y déficits en el año, en los tres años de muestreo se producen de manera mucho más irregular que en el balance modular.

La recarga de aguas subterráneas calculada con el balance de masas de cloruro mostró valores entre el 18 y el 14% de la precipitación en el sector serranías, de 13% en el piedemonte, e inferior a 12% en llanuras (Barranquero, 2009).

En Azul, del balance modular realizado para el período 1901-2013, se obtuvo que la precipitación media anual fue de 912 mm y la evapotranspiración real media de 735 mm. Los excesos se produjeron en la mayor parte del año con un total de 177 mm, lo que restringe los déficits a los meses de diciembre, enero y febrero, con un total de 10 mm.

La Figura 2 b muestra que en 2012 los excesos fueron mayores que en el balance modular y que no hubo déficit. Los años 2010 y 2011 mostraron excesos menores que los del balance modular y los déficits fueron mayores. Al igual que en Tandil, la ocurrencia de excesos y déficits en 2010, 2011 y 2012 fue mucho más irregular que en el balance modular.

En la cuenca del arroyo Del Azul el balance de masas de cloruro da como resultado una recarga mayor al 20% en el sector serranías, entre 20 y 10% en piedemonte, y por debajo de 10% en el sector llanuras (Varni, 2013).

El sentido de flujo subterráneo es de Suroeste a Noreste en ambas cuencas y los niveles freáticos se encuentran cercanos a la superficie (entre 2 y 5 m) excepto en el sector de serranías. La variación temporal del nivel freático está fundamentalmente asociada al balance entre precipitación y evapotranspiración por ser el flujo superficial de menor orden de magnitud.

Varni (2013) analizó los diferentes componentes superficiales y subterráneos del balance de agua en los distintos sectores geomorfológicos de la cuenca del arroyo Del Azul; a partir de ello mostró un modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico que es muy similar al observado en la cuenca del arroyo Langueyú.

La recarga ocurre fundamentalmente en el sector de serranías por precipitación. Los cursos superficiales son generalmente temporales en las cabeceras, y proporcionan agua al acuífero en períodos de lluvia; en tanto hacia posiciones topográficas más bajas los arroyos pasan a tener régimen permanente. En la cuenca del arroyo Langueyú se observó una modificación de esta dinámica en una parte del sector de serranías debido a la explotación antrópica del acuífero.

Aunque en el piedemonte la recarga disminuye respecto a las serranías, este sector también recibe flujo de agua subterránea de éste último y contribuye al flujo de agua subterránea regional a través de su salida a la zona de llanura. Además, se produce un aporte del acuífero a los cursos de agua superficial pero limitado a pocos metros de sus márgenes. También se detecta efecto antrópico (inversión de la relación acuífero-curso de agua superficial), ya que se produce un aporte importante del arroyo al acuífero en el sector de mayor concentración de perforaciones para suministro de agua de red a la población de la ciudad de Tandil (aguas abajo de la ciudad) y en Azul en perforaciones que están en la misma planta urbana.

En el sector de llanuras, el movimiento vertical del agua (precipitación-evapotranspiración) es más importante que el movimiento horizontal (flujo de escorrentía de aguas subterráneas) por la suavidad de las pendientes que presenta el área. La descarga se produce en el arroyo principal y sus afluentes aunque

representa un volumen pequeño. En ambas cuencas la descarga regional está situada hacia el Noreste del área de estudio, en la cuenca del río Salado. Sólo en la cuenca del arroyo Del Azul se identifican algunos sitios puntuales de descarga del agua subterránea, que se reflejan en muestras con alto contenido salino.

## Hidroquímica

Si bien se analizaron los resultados de la totalidad de las campañas para evaluar las variaciones de nitratos y otros indicadores vinculados a la actividad antrópica, para la caracterización hidroquímica se tuvieron en cuenta los resultados de octubre de 2010 en la cuenca del arroyo Langueyú (Tabla 1) y agosto de 2010 (Tabla 2) en la cuenca del arroyo Del Azul por ser el balance hídrico de ese momento más parecido al modular.

**Tabla 1. Estadística descriptiva de las variables hidroquímicas en la cuenca del arroyo Langueyú. Parámetros expresados en mg/l excepto la conductividad (en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y el pH (adimensional).**

Parámetro	Mediana	Media	DE	Mínimo	Máximo
Conductividad	801	828	147	530	1035
pH	7,6	7,5	0,2	7,0	8,3
Bicarbonatos	476	489	107	268	830
Cloruros	34	34	15	3	106
Sulfatos	13	17	15	3	106
Nitratos	26	29	17	4	84
Calcio	41	44	21	12	116
Magnesio	21	23	8	8	43
Sodio	118	116	57	17	253
Potasio	11	15	14	1	67

**Tabla 2. Estadística descriptiva de las variables hidroquímicas en la cuenca del arroyo Del Azul. Parámetros expresados en mg/l excepto la conductividad (en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y el pH (adimensional).**

Parámetro	Mediana	Media	DE	Mínimo	Máximo
Conductividad	740	1017	813	586	4650
pH	7,5	7,5	0,2	7,1	8,2
Bicarbonatos	459	503	150	361	1211
Cloruros	15	53	130	4	620
Sulfatos	16	78	174	4	876
Nitratos	10	16	17	1	82
Calcio	49	53	24	9	111
Magnesio	24	28	17	4	114
Sodio	93	153	182	4	947
Potasio	16	17	7	5	51

En la cuenca del arroyo Langueyú las aguas presentan un bajo contenido de sales totales disueltas (entre 370 y 720 mg/l) y son mayormente bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas en serranías y piedemonte, y bicarbonatadas sódicas hacia el NE. El contenido de sales totales disueltas aumenta, como es lógico, en el sentido del flujo, en tanto la concentración de calcio y magnesio disminuye por el intercambio con el sodio. Si bien

el contenido de cloruros y sulfatos aumenta hacia el límite N de la cuenca, los bicarbonatos siguen estando en mayor proporción por no abarcar el área de estudio el sector de descarga regional, sino solo descargas locales y sectorizadas.

En la cuenca del arroyo Del Azul las aguas tienen mayor contenido salino (entre 410 y 3.250 mg/l), lo cual resulta coherente con el aumento de recorrido dado que su estudio abarcó una extensión mayor del sector de llanura respecto a la del Langueyú. También en este caso los bicarbonatos son predominantes en todas las muestras, aunque hacia el NE el contenido de sulfatos y cloruros también es importante. En cuanto a los cationes, el sodio es predominante en el 71% de las muestras, y el calcio en el 19% restante, correspondiéndose el último porcentaje a muestras del sector de cabecera de la cuenca. Esto es coherente con la tipificación de las aguas que son bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas en ese sector, y bicarbonatadas sódicas en el centro y N, producto del intercambio iónico.

Dado que en ambas cuencas se ha probado el origen antrópico de las concentraciones más elevadas de nitratos, este aspecto se explica en el apartado siguiente.

#### Influencia antrópica

La ciudad de Tandil ocupa aproximadamente 50 km<sup>2</sup> y, como se mencionó antes, se encuentra principalmente en el sector de piedemonte, aunque en los últimos 10 años ha tenido un crecimiento significativo hacia las laderas de las sierras. En tanto, la ciudad de Azul, situada en la parte central de la cuenca, en el área de transición entre el piedemonte y la llanura, tiene una superficie de aproximadamente 34 km<sup>2</sup>.

En ambas cuencas el agua que se utiliza para diferentes usos, entre ellos el consumo humano, provienen de la fuente de agua subterránea que constituye el acuífero Pampeano. Las perforaciones se encuentran principalmente en el medio poroso clástico que posee mucho mayor rendimiento y homogeneidad que el medio fisurado.

En Tandil la cobertura de la red de suministro de agua implica el 95,6% de la población. La cantidad de extracción anual es de 18 hm<sup>3</sup> que representa el 25% de toda el agua que se recarga al acuífero en la cuenca del arroyo Langueyú (Barranquero, 2015). La explotación se realiza a través de 49 pozos que se encuentran en su mayoría dentro de la zona urbana. En el período 2010-2012, se comprobó que esta explotación generó afectaciones puntuales a la hidrodinámica con descenso de niveles freáticos cerca de la mayor concentración de perforaciones para suministro de agua de red y una inversión de la relación acuífero-arroyo en por lo menos la cuarta parte de sector de piedemonte, pasando el arroyo a ser influente respecto al acuífero (Barranquero et al., 2015).

Hasta el año 2013 el servicio de red cloacal abastecía al 53% de la población, según los datos facilitados por la entidad encargada del servicio (OST). Los efluentes de esta red son procesados en plantas de tratamiento que presentan algunos problemas puntuales de funcionamiento y eficiencia, por los cuales se ve afectada la calidad del arroyo Langueyú en los sitios de descarga final; en dichos sitios se ha comprobado que el arroyo es influente respecto al acuífero lo que representa un riesgo de contaminación a este último (Barranquero et al., 2015).

En los sectores donde no se cuenta con este servicio la eliminación de excretas se realiza in situ sin tratamiento previo (pozos negros). Estos pozos absorbentes por lo general no tienen un adecuado diseño y construcción, constituyendo una

fente de contaminación multi puntual. Su potencial de contaminación de las aguas subterráneas ha sido clasificada como moderada (Barranquero, 2015). Esta situación es especialmente preocupante en el sector de las serranías, donde el espesor de la zona no saturada es escaso debido a que el basamento cristalino es poco profundo, y por tanto la disposición de efluentes en pozos ciegos no sería una alternativa adecuada y/o eficiente; sumado a ello, la carga puede moverse rápidamente por el medio fracturado y afectar en forma directa al acuífero.

La alteración de la hidrodinámica como resultado del bombeo para suministro de agua de red también ha facilitado la contaminación del acuífero en el área en el que se concentran las perforaciones más antiguas de OST. La combinación de una cobertura de red cloacal mínima y la distorsión del flujo subterráneo dada por la superposición de los conos de depresión de esas perforaciones, ocasionó el aumento de nitratos en ellas muy por encima de los 45 mg/l recomendados por el Código Alimentario Argentino (Barranquero et al., 2006). En Rodríguez (2014) pueden verse los resultados de un estudio que realizó en 2011 extrayendo muestras en domicilios particulares; con dicho trabajo comprobó que el contenido de nitratos es superior al establecido en el Código Alimentario Argentino en cinco de los seis subsistemas que posee el sistema de distribución de agua de red en la ciudad de Tandil.

Además del abastecimiento de agua y el tratamiento de efluentes domiciliarios son relevantes en cuanto a fuentes potenciales de contaminación del acuífero las restantes actividades que se desarrollan en la cuenca del arroyo Langueyú. En ella las actividades primarias son preponderantes, con un 79,3% de su superficie (55.079 ha) destinada a la producción agrícola; mientras que la ganadería cubre un total de 9985 hectáreas (14,4%). El 6,3% restante se dedica a otras actividades por la presencia del basamento cristalino aflorante o a escasa profundidad (INDEC, 2002). Los rubros industriales más importantes son alimentos y bebidas (38%) y las industrias metálicas básicas/fabricación de productos metálicos (35%).

Utilizando la metodología de Zaporozec (2002) y algunos criterios de Foster e Hirata (1995) se han clasificado las actividades de acuerdo a su potencial de contaminación al acuífero, siendo las de potencial de moderado a alto: a) el tratamiento y/o la disposición final de aguas residuales domésticas, con conexiones causales con la alteración hidrodinámica ocasionada por la explotación para suministro de agua de red; b) la disposición en suelo de efluentes industriales, principalmente agroindustrias y tambos con fábrica; y, c) la agricultura y ganadería intensiva (Barranquero, 2009; Ruiz de Galarreta et al., 2010). Uno de los indicadores fundamentales de casos de contaminación por este tipo de fuentes son los nitratos que se hallan en concentraciones elevadas en algunas perforaciones particulares con pozos ciegos o importantes cantidades de animales sueltos en sus inmediaciones e inadecuadas condiciones de construcción, protección y mantenimiento.

En tanto, la ciudad de Azul posee un abastecimiento de agua de red del 98,7% de su población, alimentada por el agua subterránea obtenida de 21 pozos, con una extracción anual de alrededor de 9 hm<sup>3</sup> (Oficina de Desarrollo Económico de Azul, comunicación personal del 10 Junio de 2014). Usunoff y Varni (1995) realizaron un estudio hidroquímico, incluyendo perforaciones localizadas en la planta urbana de la localidad y aguas arriba y abajo de ella, en el cual detectaron contaminación con nitratos en la zona urbana como consecuencia de la cobertura parcial de la red cloacal en ese momento. Estudiaron además

las alternativas para el abastecimiento de agua de red con concentraciones de nitratos inferiores a 45 mg/l, obteniendo que la mejor solución en términos económicos, de demanda de infraestructura y de capacitación del personal era el manejo adecuado de los tiempos de bombeo e inactividad de las distintas perforaciones que aportan a la red.

La red cloacal tiene actualmente una cobertura de 90,2% de la población, de acuerdo a la información proporcionada también por la Oficina de Desarrollo Económico. Los efluentes son procesados en una planta de tratamiento y volcados luego al arroyo Del Azul, en el sector de llanuras, en el cual el arroyo es efluente respecto al acuífero. Al igual que en Tandil, en sectores sin abastecimiento de red cloacal se realiza la eliminación de efluentes domiciliarios en pozos absorbentes. Esta situación ocurre en el sector de llanura donde el acuífero es vulnerable por la poca profundidad del nivel freático.

Ambas redes, agua y cloacas, son gestionadas por CEAL, una empresa mixta con participación gubernamental significativa, a diferencia de Tandil donde la entidad es solo de responsabilidad gubernamental.

Los límites de la cuenca del arroyo Del Azul y del partido de Azul son prácticamente coincidentes con lo cual se puede

considerar la clasificación de usos de suelo del partido para describir las principales actividades de la cuenca. A la ganadería se aboca el 57% de la superficie, a la agricultura el 38% y a minería el 5%. En cuanto a producción industrial los dos rubros principales son agroindustrias, con un total de 31% de los establecimientos, y la minería para construcción (17%); la fabricación de productos metálicos también es importante ya que el 12% de los establecimientos industriales corresponden a este rubro. A partir de los trabajos de *Peluso et al. (2004)*, *Zabala (2013)* y *Peluso et al. (2014)* se puede concluir que en la cuenca del arroyo Del Azul las actividades con potencial de contaminación moderado a alto son: a) la disposición en suelo de efluentes industriales, principalmente agroindustrias y tambos con fábrica; y b) la agricultura y ganadería intensiva. Al igual que en la cuenca del Languetú se han encontrado casos puntuales de contaminación con nitratos pero, teniendo en cuenta los estudios antecedentes y la observación en campo de los casos, se infiere que están asociados al uso de fertilizantes nitrogenados en parcelas con agricultura intensiva.

En la Tabla 3 se presentan, a modo de resumen, los resultados más relevantes en cuanto al aspecto "Influencia antrópica" teniendo en cuenta que en él se centran las principales diferencias entre las cuencas:

**Tabla 3. Cuadro comparativo de los principales aspectos que definen la influencia antrópica sobre el recurso hídrico subterráneo en las cuencas de los arroyos Languetú y Del Azul.**

	LANGUEYÚ	DEL AZUL
<b>Agua de red</b>	Cobertura del 95,6% de la población, extracción anual de 18 hm <sup>3</sup> (Barranquero, 2015). Afectación hidrodinámica y contaminación.	Cobertura del 98,7% de la población, extracción anual de alrededor de 9 hm <sup>3</sup> (Oficina de Desarrollo Económico de Azul, 2014). Contaminación comprobada en un estudio del año 1995, hace falta actualización (2014).
<b>Red cloacal</b>	Cobertura del 53% de la población (2013), tratamiento con problemas puntuales de funcionamiento y eficiencia, vuelco al arroyo (influyente).	Cobertura del 90,2% de la población, vuelco al arroyo (efluente). No se han realizado estudios del funcionamiento de las redes de agua y cloacas.
<b>Actividades con mayor potencial de contaminación</b>	· Tratamiento y/o la disposición final de aguas residuales domésticas · Disposición en suelo de efluentes industriales (agroindustrias y tambos con fábrica) · Agricultura y ganadería intensiva.	· Disposición en suelo de efluentes industriales (agroindustrias y tambos con fábrica). · Agricultura y ganadería intensiva.
<b>Casos de contaminación</b>	Por la combinación de pozos ciegos o animales sueltos e inadecuadas condiciones de construcción, protección y mantenimiento (nitratos).	Por uso de fertilizantes nitrogenados en parcelas con agricultura intensiva (nitratos).

## CONCLUSIONES

Como se mostró en los resultados, las cuencas presentan más similitudes que diferencias en los cuatro aspectos definidos para su comparación (litología, hidrodinámica, hidroquímica e influencia antrópica). Entre las similitudes más importantes se destacan: a) los ambientes hidrogeológicos que definen la disponibilidad de agua subterránea (fisurado y poroso), a pesar de las diferencias en el límite inferior del acuífero (basamento cristalino) y los materiales que forman el acuífero en profundidad en el límite NE de la cuenca Del Azul; y, b) el régimen climático, en líneas generales, así como el total de los excesos y déficits y sus meses de ocurrencia en el balance hídrico. En tanto

difieren, por el emplazamiento de cada ciudad principal en la cuenca y el aprovechamiento de los recursos hídricos, en la dimensión y particularidades del potencial de contaminación a los recursos hídricos producto del manejo antrópico.

Las cuencas poseen en líneas generales el mismo comportamiento hidroquímico, siendo comunes los procesos fundamentales que explican sus variaciones temporales: a) el aumento de la salinidad hacia el NE, es decir en la dirección del flujo del agua subterránea; b) el intercambio iónico calcio-magnesio por sodio también en la dirección de flujo; y, c) la contaminación con nitratos de tipo puntual y multipuntual, como se explicó a partir de distintas fuentes en cada cuenca.



Como principal conclusión de la comparación se extrae que una parte importante de las estrategias para la gestión integral de los recursos hídricos debería centrarse en su manejo antrópico. Esto se debe que el trabajo permitió comprender que la cantidad y calidad de agua estaría más fuertemente condicionada por las decisiones de manejo que por las características naturales intrínsecas de los recursos.

La aplicación de la comparación combinando el enfoque cualitativo, a través del estudio en profundidad de dos casos, con el cuantitativo, para la búsqueda de generalidades acerca de algunas variables como la hidroquímica, ha resultado una buena herramienta para corroborar el modelo conceptual del sistema de aguas subterráneas en ambas cuencas.

Este estudio mostró que dos o más cuencas hidrogeológicas pueden ser evaluadas con el método comparativo, propio de las ciencias sociales, utilizando herramientas complementarias propias de las ciencias exactas como el análisis estadístico. Se logró por tanto el propósito de un camino metodológico a través del cual trabajar posteriormente con otras cuencas del faldeo N de las Sierras de Tandilia para proponer estrategias de gestión conjuntas.

Podemos señalar, por último, que se ha cumplido con los objetivos específicos planteados al inicio: sistematizar la infor-

mación con que cuenta el grupo de trabajo hasta el momento y probar la metodología. Se evidenció la necesidad de profundización y actualización de estudios acerca de la afectación antrópica al recurso hídrico subterráneo, especialmente respecto al saneamiento básico (agua y cloacas) en la cuenca del arroyo Del Azul dado que la información con la que se cuenta es escueta y desactualizada en este aspecto. Si consideramos el muestreo hidroquímico del año 2010, analizado para este trabajo, podemos decir que se comprobó la eficiencia de la metodología para la comparación considerando la coherencia entre la influencia antrópica en dichos resultados, principalmente en el indicador nitratos (en la cuenca del Langueyú más vinculados a las actividades en el espacio urbano y en la cuenca Del Azul a las propias del espacio rural), y la diferencia de emplazamiento de las ciudades identificada previamente a la comparación (en piedemonte en la cuenca del Langueyú y en la zona de transición entre piedemonte y llanura en la cuenca Del Azul); este emplazamiento tiene una clara influencia en el desarrollo de las actividades, por los condicionamientos que imponen las características naturales de los distintos sectores geomorfológicos, y, a priori, también en su afectación al recurso hídrico subterráneo, aunque es necesario profundizar los estudios en este aspecto.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ACEÑOLAZA, F.G., 2000.

La Formación Paraná (Mioceno Medio): estratigrafía, distribución regional y unidades equivalentes. *En F.G. Aceñolaza y R. Herbst (eds.), El Neógeno de Argentina, Serie correlación geológica, 14: 9-27, Tucumán.*

APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION), 2005.

Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. *APHA, 21st Edition. Washington, D.C.*

BARRANQUERO, R., 2009.

Análisis hidrogeológico y evaluación de cargas contaminantes en la cuenca del arroyo Langueyú. *Tesis Master, 148 pp. y anexos. Universidad Nacional de La Pampa.*

BARRANQUERO, R., 2015.

Análisis y evaluación del sistema hidrogeológico ambiental en la cuenca del arroyo Langueyú, Tandil, Buenos Aires. *Tesis Doctorado, 258 pp. y anexos. Universidad Nacional de Córdoba.*

BARRANQUERO, R., RUIZ DE GALARRETA, A. Y BANDA NORIEGA, R., 2006.

Análisis integral de la gestión del recurso hídrico en la ciudad de Tandil, Buenos Aires, Argentina. *Cuadernos del CURIHAM - FCEIA (UNR), Vol. 12: 65-75.*

BARRANQUERO, R. S., VARNI, M. Y RUIZ DE GALARRETA, A., 2015.

Relación arroyo-acuífero en un sistema hídrico afectado por explotación antrópica. *Revista digital Estudios Ambientales. Vol. 3 Nro. 2: 30-51.*

BARRANQUERO, R. S., VARNI, M. R., PARDO, R., VEGA, M., ZABALA, M. A. Y RUIZ DE GALARRETA, V. A., 2016.

Joint interpretation of the hydrochemistry of two neighbouring basins by N-way multivariate methods. *Environmental Earth Sciences, Vol. 75 Nro. 4: 335 1-14.*

BAZÁN, J. M., J. C. ALBERINO, N. VARRIANO, J. CARIELLO, E. KRUSE, A. ROJO, M. DELUCHI Y P. LAURENCENA, 2011.

Cuencas del arroyo El Pescado y el Gato en los partidos de La Plata, Berisso y Ensenada. *En Tercera Reunión Anual PROIMCA Primera Reunión Anual PRODECA.*

CINGOLANI, C., 2010.

The Tandilia System of Argentina as a southern extension of the Río de la Plata craton: an overview. *International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch), Vol. 100 Nro. 2: 221-242.*

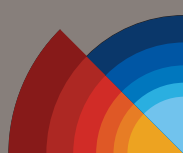
COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA (CEPAL), 2002.

Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica, Recursos naturales e infraestructura. *Naciones Unidas, 9 pp. Santiago de Chile.*

- CUSTODIO, E., MANZANO, M. Y MONTES, C. 2008.  
Perspectiva general del papel y gestión de las aguas subterráneas en el Área de Doñana, Sudoeste de España.  
*Boletín Geológico y Minero, Vol. 119 Nro. 1: 81-92*
- DALLA SALDA, L., 1999.  
Cratón del río de La Plata. 1. Basamento granítico-metamórfico de Tandilia y Martín García.  
*Anales, Vol. 29 Nro. 4: 91-100.*
- DALLA SALDA, L., L. SPALLETTI, D. POIREDE, R. BARRIO, H. ECHEVESTE Y A. BENIALGO, 2006.  
Tandilia.  
*En H. Echeveste & A. Benialgo (eds.), Serie correlación geológica [online], INSUGEO, Vol. 21: 17-46.*
- DUVERGER, M., 1996.  
Métodos de las ciencias sociales.  
*Ariel Sociología, 592 pp. Barcelona.*
- FABER, N., BRO, R. Y HOPKE, P.K., 2003.  
Recent developments in candecomp/parafac algorithms: a critical review.  
*Chemometric Intelligent Laboratory Systems, Vol. 65: 119-137.*
- FIDALGO, F., F. DE FRANCESCO Y PASCUAL, R., 1975.  
Geología superficial de la Llanura Bonaerense.  
*En Relatorio Geología Provincia de Buenos Aires del VI Congreso Geológico Argentino, 104-106, Bahía Blanca.*
- FOSTER, S. E HIRATA, R., 1995.  
Groundwater pollution risk assessment. A methodology using available data.  
*CEPIS (OPS-OMS), 2nd Edition. Lima.*
- GALEGO FERNANDES, P., BAHIR, M., MENDONCA, J., CARREIRA, P., FAKIR, Y. Y SILVA, M.O., 2005.  
Anthropogenic features in the Sines (Portugal) and Essaquira (Morocco) coastal aquifers: a comparative study of their hydrochemical evolution by a principal component analysis.  
*Estudios Geológicos, Vol. 61: 207-219.*
- GUERRERO, E., DE KEIZER, O. Y Y CÓRDOBA, R. 2006.  
La Aplicación del Enfoque Ecosistémico en la Gestión de los Recursos Hídricos.  
*UICN, 78 pp. Quito.*
- HERNÁNDEZ, M., L.M. GIACONI Y N. GONZÁLEZ, 2002.  
Línea de base ambiental para las aguas subterráneas y superficiales en el área minera de Tandilia, Buenos Aires, Argentina.  
*En E. Bocanegra, D. Martínez & H. Massone (eds.), Groundwater and human development, 336-343, Mar del Plata.*
- INDEC, 2002. CENSO NACIONAL AGROPECUARIO 2002.  
Total del país y provincias por departamento: resultados provisionales.  
*INDEC, Serie 1 resultados generales N° 1.1. Buenos Aires.*
- INDEC 2010.  
Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.  
*Disponible en <http://www.censo2010.indec.gov.ar/resultadosdefinitivos.asp>, ultimo acceso 5 de diciembre de 2016.*
- JOURAVLEV, A. 2003.  
Los municipios y la gestión de los recursos hídricos, CEPAL, División de Recursos Naturales e Infraestructura.  
*Naciones Unidas, 72 pp. Santiago de Chile.*
- KOSTEN, S. Y E. GUERRERO, 2005.  
Fundamentos para la Aplicación del Enfoque Ecosistémico en el Manejo de Cuencas Hidrográficas y Humedales Fluviales.  
*En Humedales Fluviales de América del Sur: Hacia un Manejo Sustentable, 169-192, Santa Fe.*
- KRUSE, E., 1986.  
Aspectos geohidrológicos de la región sudoriental de Tandilia- Cuencas de los Aos.  
*Vivorata, Las Brusquitas y El Durazno. Asociación Geológica Argentina, Tomo XLI (3-4): 367-374.*
- MARCHESE, H.G. Y DI PAOLA, E., 1975.  
Reinterpretación estratigráfica de la Perforación Punta Mogotes I, Provincia de Buenos Aires.  
*Revista de la Asociación Geológica Argentina, Vol. 30 Nro. 1: 44-52.*
- MERINO ESCOBAR, J.M., 1993.  
El debate cualitativo/cuantitativo en la investigación social comparativa.  
*PAIDEIA 18, 13 pp. Concepción.*
- MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESMENT, 2005.  
Ecosistemas y Bienestar Humano: Informe de Síntesis.  
*World Resources Institute. Washington.*

- MINISTERIO DE JEFATURA DE GABINETE DE MINISTROS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES Y UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA, 2012.  
Evaluación de la Infraestructura social básica de la Provincia de Buenos Aires.  
*Convenio de Asistencia Técnica. Proyecto de Regionalización de la Provincia de Buenos Aires. Informe final. Abril de 2012, La Plata.*
- PEÑA, H. 2016.  
Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe, Recursos Naturales e Infraestructura. Naciones Unidas, 57 pp. Santiago de Chile.
- PANNO, S.V. Y KELLY, W.R., 2004.  
Nitrate and herbicide loading in two groundwater basins of Illinois' sinkhole plain.  
*Journal of Hydrology, Vol. 290: 229-242.*
- PRAT, N. 2014.  
La sostenibilidad en el ciclo del agua. Comparación de dos planes de cuenca españoles.  
*Disponibile en [http://www.aproma.org/mmm/file/LA%20SOSTENIBILIDAD%20EN%20EL%20CICLO%20DEL%20AGUA\\_%20Moif.pdf](http://www.aproma.org/mmm/file/LA%20SOSTENIBILIDAD%20EN%20EL%20CICLO%20DEL%20AGUA_%20Moif.pdf), ultimo acceso 5 de diciembre de 2016.*
- PELUSO, F., CAZENAVE, G., VIVES, L. Y USUNOFF, E., 2004.  
Análisis areal y prospectivo de riesgo sanitario incorporando modelos de transporte de solutos en aguas subterráneas.  
*Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica, Vol. 4: 166-178.*
- PELUSO, F., DUBNY, S., OTHAX, N. Y GONZALEZ CASTELAIN, J., 2014.  
Environmental Risk of Pesticides: Applying Del Azul pestrisk to Freshwaters of an Agricultural Area of Argentina.  
*Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, Vol. 20 Nro. 5: 1177-1199.*
- RAGIN, C.C., 1987.  
The Comparative Method: Moving Beyond Qualitative and Quantitative Strategies.  
*University of California Press, 185 pp. California.*
- RODRÍGUEZ, C.I., 2014.  
Evaluación ambiental del uso y gestión del agua subterránea en el partido de Tandil.  
*Pautas para su gestión sustentable. Tesis Doctorado, 207 pp. y anexos. Universidad Nacional de La Plata.*
- RUIZ DE GALARRETA, A., 2006.  
Geohidrología y balance hidrológico de la zona no saturada en la cuenca superior del arroyo Tandileofú, provincia de Buenos Aires.  
*Tesis Doctorado, 192 pp. y anexos. Universidad Nacional de La Plata.*
- RUIZ DE GALARRETA, A Y R. BANDA NORIEGA, 2005.  
Geohidrología y evaluación de nitratos del Partido de Tandil, Buenos Aires, Argentina.  
*En Actas del IV Congreso Argentino de Hidrogeología y II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea, 99-108, Río Cuarto.*
- RUIZ DE GALARRETA, V.A., BANDA NORIEGA, R.B., BARRANQUERO, R.S., DÍAZ, A.A., RODRÍGUEZ, C.I. Y MIGUEL, E.R., 2010.  
Análisis integral del sistema hídrico, uso y gestión. Cuenca del arroyo Languyú, Tandil, Argentina.  
*Boletín Geológico y Minero de España, Vol. 121 Nro. 4: 343-356.*
- SALA, J.M., KRUSE, E. Y AGUGLINO, R., 1987.  
Investigación hidrológica de la Cuenca del Arroyo Azul, Provincia de Buenos Aires,  
*Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires Informe 37, 235 pp. La Plata.*
- SALA, J. M., ROJO, A., MARTIN, E. Y ULIBARRENA, J., 1981.  
Investigaciones geohidrológicas de la cuenca de Tandil y su zona de influencia.  
*Informe Anual para la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. La Plata.*
- SALOMON, M. Y SORIA, D. 2003.  
Métodos de trabajo para el análisis de cuencas andinas áridas y semiáridas de tamaño medio.  
*Estudio de cuencas precordilleranas y pedemontanas de Mendoza. (Argentina). En III Curso Latinoamericano de Cuencas Hidrográficas. FAO. REDLACH. INARENA, 11 pp., Arequipa.*
- SARTORI, G. Y MORLINO, L. (COMPS.), 1994.  
La comparación en las ciencias sociales.  
Alianza, 49 pp. Madrid.
- SAHUQUILLO, A., CUSTODIO, E., Y LLAMAS, M. R., 2009.  
La gestión de las aguas subterráneas.  
Tecnología del agua, Vol. 305: 60-67.
- TERUGGI, M. Y J. KILMURRAY, 1975.  
Tandilia.  
*En Relatorio Geología Provincia de Buenos Aires del VI Congreso Geológico Argentino, 55-77, Buenos Aires.*

- THORNTHWAITE, C.W. Y MATHER, J.R., 1957.  
Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance,  
*Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, Publications in Climatology, Vol. 10 Nro. 3: 185-311, Centertown.*
- USUNOFF, E.J. Y VARNI, M.R., 1995.  
Nitrate-polluted groundwater at Azul, Argentina: characterization and management issues.  
*Journal of Environmental Hydrology, Vol. 3 Nro. 2: 7 pp.*
- VARNI, M., 2013.  
Application of several methodologies to estimate groundwater recharge in the Pampeano aquifer, Argentina.  
*Water Technologies and Sciences, Vol. 4 Nro. 3: 63-85.*
- ZABALA, M.E., 2013.  
El origen de la composición química del acuífero freático en la cuenca del arroyo del Azul.  
*Tesis Doctorado, 466 pp. con anexos. Universidad Nacional de Córdoba.*
- ZAPOROZEC, A., 2002.  
Groundwater Contamination Inventory.  
*A methodological Guide. IHP-VI, SERIES ON GROUNDWATER Number 2.*
- COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA (CEPAL), 2002.  
Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica, Recursos naturales e infraestructura.  
*Naciones Unidas, 9 pp. Santiago de Chile.*
- ZÁRATE, M., MEHL, A. Y CASTRO, M., 2010.  
Geomorfología de la cuenca del arroyo del Azul.  
*Instituto de Hidrología de Llanuras, Azul, Buenos Aires. Informe inédito. 66 pp.*



**ASAGAI**

ASOCIACIÓN ARGENTINA  
DE GEOLOGÍA APLICADA  
A LA INGENIERÍA

Relleno de playa en Honu Beach (Mar del Plata, Argentina)

*Bértola, Germán R. - del Río, J. Luis - Farenga, Marcelo*

Ensayo de un sistema de indicadores sincrónico y diacrónico para la determinación de calidad ambiental en playas turísticas de la costa atlántica bonaerense

*del Río, J. L. - Patat, L. - Lucero, M. - Zamora, A. - Moschione, E. - Bó, M.J. - Camino, M. - López de Armentia, A. - Farenga, M.*

Características morfométricas y morfodinámicas de una cuenca hidrográfica de llanura

*Calvi, Carolina - Dapeña, Cristina - Massone, Héctor - Martínez, Daniel*

Identificación y cuantificación de la carga contaminante al acuífero freático en la localidad de Monte Hermoso

*Lexow, Claudio - Di Martino, Claudina - Lafont, Daniela - Albouy, René - Marcos, Angel*

Propuesta para el estudio comparativo del recurso hídrico subterráneo. Ejemplo de caso: cuencas de los arroyos Langueyú y Del Azul

*Barranquero, Rosario Soledad - Varni, Marcelo Raúl - Pardo, Rafael - Vega, Marisol - Zabala, María Emilia  
Ruiz de Galarreta, Víctor Alejandro*

Riesgo hídrico poblacional a la contaminación por efluentes urbanos en Misiones

*Páez Campos, Hugo Ramiro - Dornes, Pablo Fernando*

Dispersión de hidrocarburos disueltos en el acuífero freático a partir de la fase libre no acuosa

*Lexow, Claudio - Pera Vallejos, Guillermo - Tonelli, Stella - Carrica, Jorge*

Caracterización geoelectrónica, hidrodinámica e hidroquímica del acuífero pampeano y su relación con el arroyo Pergamino, provincia de Buenos Aires

*Ruiz, María Soledad - Perdomo, Santiago - Patricia Calahorra, Fuertes - Jerónimo Ainchil - Villarreal, Julio*

Portada: Desarrollo de playas en la Reserva Ecológica Costanera Sur. Fotografía Rubén A. López y Silvia C. Marcomini.

**Revista de Geología  
Aplicada a la Ingeniería  
y al Ambiente**

