

Análisis integral del sistema hídrico, uso y gestión. Cuenca del arroyo Langueyú, Tandil, Argentina

V. A. Ruiz de Galarreta⁽¹⁾, R. B. Banda Noriega⁽¹⁾, R. S. Barranquero⁽²⁾, A. A. Díaz⁽³⁾, C. I. Rodríguez⁽²⁾ y R. E. Miguel⁽²⁾

Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA).
Campus Univ. 7000, Tandil. Buenos Aires, Argentina.

(1) UNCPBA / Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA).
agala@fch.unicen.edu.ar, rbanor@fch.unicen.edu.ar

(2) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
rosariobarranquero@yahoo.com.ar, corinairis@yahoo.com, r_e_miguel@yahoo.com.ar

(3) Fundación YPF – José Estenssoro.
ad_diaz@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo del trabajo es la caracterización hidrológica ambiental de la cuenca del arroyo Langueyú, donde se localiza la ciudad de Tandil. Esta cuenca se desarrolla sobre el faldeo Norte de las sierras de Tandilia, provincia de Buenos Aires, drenando sus aguas hacia el NE. Se distinguen dos unidades hidrogeológicas: el basamento cristalino y los sedimentos cenozoicos, que corresponden con los ambientes hidrológicos fisurado y poroso clástico, respectivamente. La población se abastece en su totalidad del recurso subterráneo. Se analizó la explotación y uso del agua, en relación con demandas de sectores industrial, agropecuario y urbano. Se evaluaron los efectos de la explotación intensa y se corroboraron altas concentraciones de nitratos en las perforaciones más antiguas de la ciudad, actualmente en funcionamiento. Se detectó la alteración hidrodinámica en un sector del arroyo, donde pasa a ser perdedor. Esta inversión del régimen natural es una fuente potencial de contaminación al acuífero, debido a las altas cargas de efluentes industriales y aguas residuales urbanas que recibe. Se analizaron los sectores poblacionales sin servicios de agua potable ni cloacas, donde el agua de consumo presentó contaminación microbiológica y de nitratos. Asimismo, otro impacto lo constituyen las numerosas canteras en abandono que son sumideros de diversos residuos, en su mayoría de la industria de fundición. Como conclusión, la gestión del recurso hídrico en la cuenca no se orienta a la sostenibilidad, como consecuencia del manejo fragmentado, demandando el conocimiento e intervención sistémica a fin de evitar su deterioro y garantizar su protección.

Palabras clave: cuenca del arroyo Langueyú, hidrogeología, sostenibilidad ambiental, uso y gestión del agua subterránea

Integrated analysis of hydrological system, use and management. Langueyú stream basin, Tandil, Argentina

ABSTRACT

This work is aim to hydrological and environmental characterization of Langueyú stream basin, where Tandil city is located. This basin is developed on northern hillside of Tandilia system, in Buenos Aires province, and it drains to NE. There are two different hydrogeological units: crystalline rocks and Cenozoic sediments, which correspond with two hydrological characters, fissured and clastic porous, respectively. The population is supplied by groundwater sources. Water exploitation and use were analyzed, according to the growing demands from industrial, agricultural and urban uses. The impacts of intense exploitation were evaluated. High levels of nitrate were corroborated in older wells of the city, which nowadays are in use. The hydrodynamic change in a section of the stream, where it converts to influent, was detected. This disturbance of the natural relation could be a potential source of contamination to the aquifer, due to high charges of industrial and urban effluents which the stream receives. Several population sectors, which have neither a drinking water net nor a sewer system, showed microbiological and chemical water contamination. Other water impact is constituted by several abandoned quarries which have historically received wastes, mainly from foundry industries. In conclusion, water management basin does not aim to sustainable development, due to its lack of integration. It demands the knowledge of hydrological system, according with the goal to avoid water quality degradation and to guarantee its protection.

Key words: environmental sustainability, groundwater use and management, hydrogeology, Langueyú stream basin

Introducción

El objetivo general se centra en el análisis hidrológico ambiental de la cuenca del arroyo Langueyú, en

donde se localiza la ciudad de Tandil. Bajo este marco, se considera la caracterización del sistema geohidrológico de la cuenca del arroyo Langueyú y el análisis de las principales fuentes contaminantes que

lo afectan. Asimismo, se evalúa el uso y gestión del recurso hídrico, desde una mirada regional hasta la especificidad areal correspondiente al ejido urbano.

En todo análisis sistémico del territorio y el ambiente, el recurso hídrico constituye un elemento clave, ya sea como parte de otros elementos físicos del soporte natural o como parte de una gama amplia de recursos naturales presentes en los ecosistemas. Posee además un valor primordial de soporte de la vida, dado que su consumo resulta indispensable para la subsistencia del ser humano y en este sentido también adquiere un valor económico, siendo su disponibilidad en cantidad, calidad y servicio asegurada por medio de inversiones en infraestructura y costos de tratamiento y gestión (Guerrero *et al.*, 2008).

La conciencia social respecto a la importancia y fragilidad del recurso hídrico, surge en general en las áreas geográficas que padecen su escasez, dada su desigual distribución planetaria. En esta situación se planifican y llevan a cabo distintos tipos de obras de infraestructura para la reserva y/o tratamiento del agua como diques, canales, plantas potabilizadoras, etc. En tanto, en aquellas zonas con una gran disponibilidad de agua, la población supone que la misma es ilimitada y por tanto no toma conciencia respecto a la necesidad de su racionalidad de uso y protección a la contaminación. Es por ello, que el principal reto que se presenta actualmente en pos de un manejo sostenible, es la necesidad de equilibrar los requerimientos y la disponibilidad del agua, a fin de asegurar a las generaciones futuras, al menos, los mismos niveles cualitativos y cuantitativos que se disponen en la actualidad.

El enfoque de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) plantea un tratamiento de los temas del agua de una manera sustentable y sistémica, y es definido como "un proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales" (GWP, 2000).

La gestión del recurso hídrico debe estar estrechamente ligada a las políticas de ordenación y desarrollo territorial, ya que permiten establecer prioridades en cuanto a los usos de suelo y el desarrollo de distintas actividades, teniendo en cuenta el funcionamiento del sistema hídrico y su vulnerabilidad a ser adversamente afectado por cargas contaminantes.

Se requiere el conocimiento preciso de las principales características del medio físico que configuran o condicionan el comportamiento hidrológico del territorio así como también, sus interrelaciones, hechos y determinaciones históricas con otros elementos del ambiente, es decir, la producción de infor-

mación ambiental básica que permita planificar la gestión integrada de los recursos y del ambiente bajo análisis. En esta planificación es además imprescindible, considerando el funcionamiento del sistema hídrico, gestionar y ampliar los servicios de agua de red y cloacas en forma conjunta, a fin de evitar el deterioro del recurso a partir de la disposición in situ de los efluentes domiciliarios.

Un proceso de planificación integrada del uso de los recursos hídricos, en el marco de una estrategia de desarrollo territorial, debe tener como objetivos generales el conseguir la mayor satisfacción de las demandas reales de agua, armonizar y equilibrar el desarrollo regional y sectorial, garantizando la disponibilidad de cantidad suficiente, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medio.

Características del área de estudio

La cuenca del arroyo Langueyú se desarrolla sobre el faldeo Norte de Tandilia o Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires. Este sistema está constituido por sierras, cerros, cerrilladas y lomas que se elevan entre 50 y 250 m de la llanura pampeana. Se encuentra alineado en sentido NO-SE por algo más de 300 km desde las inmediaciones de Olavarría hasta Mar del Plata (Figura 1). El arroyo, que drena sus aguas hacia el NE en concordancia con la pendiente regional, nace en las sierras de Tandil producto del aporte de pequeñas cuencas intraserranas de arroyos de régimen torrencial, ubicadas inmediatamente al Sur de la ciudad. En este sector se presentan obras de regulación, la más importante es la del Dique del Fuerte al Sur de la ciudad, construida en el año 1958. A partir del pie de la presa, el curso comienza a ser conocido con el nombre de arroyo del Fuerte, cuyo recorrido atraviesa el ejido urbano por su sector Este hasta las cercanías de la Ruta Nacional 226. Por el Oeste del casco urbano pasa el arroyo Blanco que se une al anterior aguas arriba y a corta distancia de la mencionada ruta. Ambos cursos se hallan entubados en su tránsito por la ciudad. A partir de la confluencia se denomina definitivamente arroyo Langueyú. El área de la cuenca alta, hasta la Ruta Nacional 226, es de 120 km². Esta superficie representa el 20% del total de la cuenca que abarca unos 600 km² hasta el límite con el partido de Ayacucho (Figura 1).

La ciudad de Tandil, fundada en 1823 como un fuerte en el avance de la denominada Campaña al Desierto, presentaba una población de 101.010 habitantes según el último Censo de Población y Vivienda (INDEC, 2001). Asimismo, los habitantes en la zona

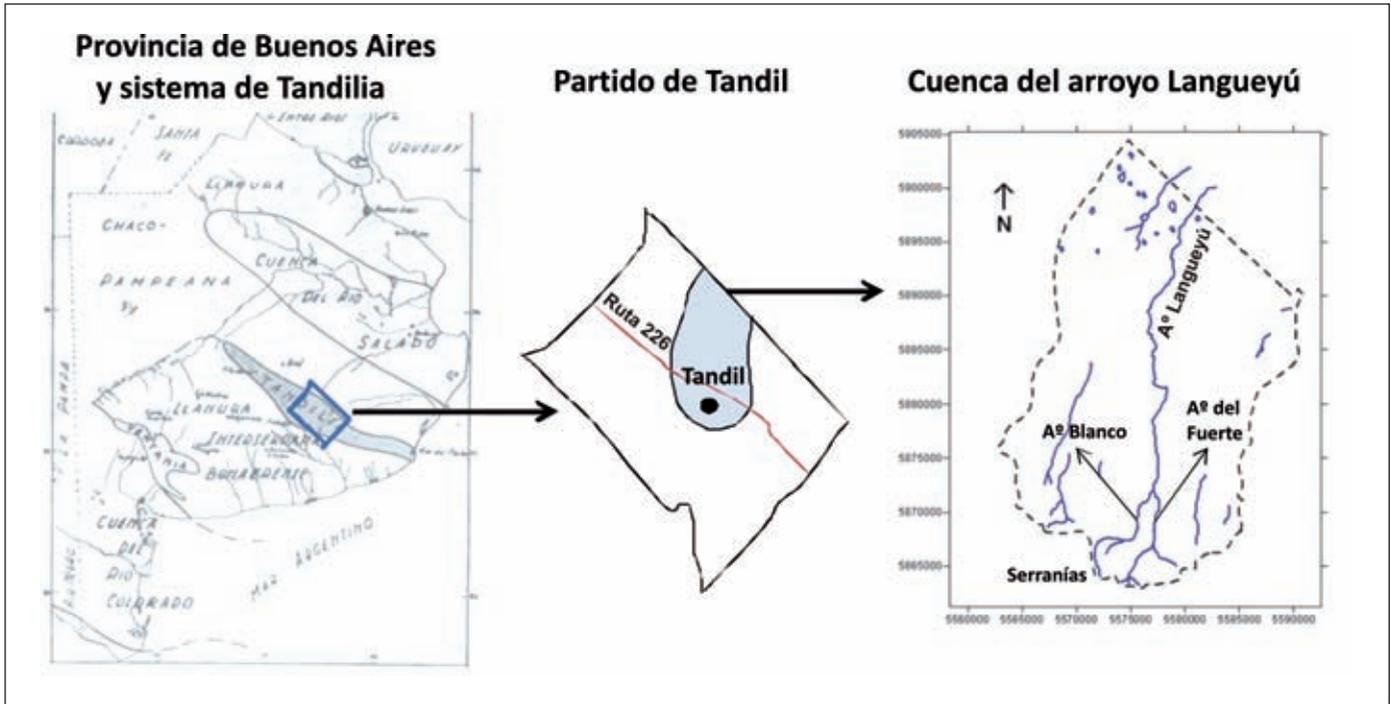


Figura 1. Ubicación de la cuenca del arroyo Langueyú
 Figure 1. Location of Langueyú stream basin

rural dentro de la cuenca no superan los 2.000. Tanto la población urbana como la rural se abastecen en su totalidad del recurso hídrico subterráneo, dado que el superficial no tiene características apropiadas para su explotación tanto por su cantidad (caudales inferiores a 1 m³/seg), como por su calidad al ser receptor de diferentes efluentes contaminantes. Por consiguiente, el recurso subterráneo es el aprovechado para el uso doméstico, industrial, comercial y agropecuario.

La ciudad posee una superficie aproximada de 50 km² y se halla emplazada en el valle y parte del piedemonte del sistema serrano. Por estar rodeada de cerros por el Oeste, Sur y SE, presenta un crecimiento urbano heterogéneo con las limitaciones que le impone el relieve. La morfología es netamente pampeana, presenta un plano ortogonal, con arterias de circulación amplias y rectas que definen manzanas cuadradas.

La localidad ha sufrido en los últimos años un crecimiento demográfico rápido que no ha sido acompañado por una adecuada planificación y ordenamiento del uso del territorio.

Las actividades más importantes en el área de estudio son la agropecuaria y la minera. La actividad industrial centra sus inicios en el tradicional rubro metalúrgico y en menor proporción el agroalimenticio. En los últimos años ha tenido gran impulso la

actividad turística, acompañada por el lógico crecimiento de los comercios y servicios vinculados a ella.

En relación al medio físico, las rocas que conforman el cordón serrano de Tandilia (Figura 2) son las más antiguas del territorio argentino, con edades entre 2.200 y 1.800 m.a. Regionalmente el cordón está constituido por el Basamento Cristalino, de edad Precámbrica compuesto esencialmente por migmatitas graníticas y en menor proporción migmatitas tonalíticas y granodioríticas (Teruggi *et al.*, 1958; Dalla Salda, 1999); una cubierta sedimentaria de edad paleozoica inferior o precámbrica (ausente en el sector de estudio) y sedimentitas cuaternarias, constituidas por los "sedimentos pampeanos" cuya textura está representada por una fracción limosa más abundante que las fracciones arenosas y arcillosas subordinadas.

Tandilia es un elemento estructural positivo que representa un típico sistema de montañas de bloques, separados y alineados por fallas. Estas fallas principales de fracturación: E-O, NE-SO y NO-SE, son consecuencia de la reactivación que se produjo en esta región, como respuesta a los movimientos orogénicos terciarios que dieron como resultado la formación de la cadena montañosa de Los Andes (Teruggi y Kilmurray, 1980). Estas tres direcciones fundamentales, además, aparentemente se mantienen en el subsuelo de la provincia de Buenos Aires

hacia la depresión del río Salado, pues Zambrano (1974) reconoce en él sistemas de fallas directas con esos rumbos.

El cordón serrano, al elevarse en la era Cenozoica ha emergido con dos pendientes regionales que han dado lugar a la implantación de un drenaje consecuente hacia ambas vertientes.

En general, el tamaño de las corrientes actuales es muy reducido en relación con el de los valles y además los álveos están excavados en los depósitos cuaternarios, y casi nunca en las rocas del basamento o la cubierta, como no sea ocasionalmente, en la parte más alta o las laderas más empinadas de algunos cerros (Fidalgo *et al.*, 1975).

En el partido de Tandil, se pueden diferenciar tres unidades morfológicas principales:

- Sector de Serranías: caracterizado por la presencia de sierras, cerros aislados y valles, rela-

cionados éstos con la existencia de bloques elevados por fallas directas. En este sector se hallan las pendientes más altas y los valles de los cursos de agua bien definidos.

- Sector de Piedemonte: se localiza en forma continua al primer sector, como resultado de la coalescencia de abanicos aluviales, con un gradiente más suave que el anterior. Presenta una red de drenaje bien definida y de diseño distributivo.
- Sector de Llanura: se caracteriza por poseer pendientes muy bajas. Los materiales que lo forman fueron en principio eólicos y sufrieron posteriormente un transporte y redepositación. El drenaje poco definido y pobremente integrado muestra cauces estrechos y cursos temporarios, los cuales a menudo se pierden en suaves depresiones.



Figura 2. Mapa geológico de Tandilia. Fuente: Dalla Salda, 1999
 Figure 2. Geologic map of Tandilia. Source: Dalla Salda, 1999

Reseña histórica en relación a la gestión de los recursos hídricos

La fundación de la ciudad de Tandil como Fuerte de la Independencia el 4 de abril de 1823, se erigió en el interfluvio de los arroyos del Fuerte y Blanco (Figura 1) y la expansión urbana avanzó desde entonces ocupando la cuenca alta del arroyo Langueyú, colector del arroyo Del Fuerte (afluente por margen derecha) entubado en 1973, y del arroyo Blanco (afluente por margen izquierda) entubado en 1980-81.

Entre las décadas de 1940 a 1960, la expansión del núcleo urbano inducida por el crecimiento vegetativo y migratorio, profundizó los procesos de ocupación del lecho de inundación de los arroyos y la impermeabilización del sustrato. Tras varios eventos de precipitaciones intensas, estos terrenos bajos fueron ocupados por las aguas de escorrentía provocando la inundación de extensos barrios de la ciudad, principalmente en el sector NE.

La respuesta de mayor envergadura al problema de las inundaciones fue la construcción en 1958 del Dique del Fuerte (Figura 3) finalizado en 1961. Funciona como un dique regulador que embalsa las aguas del arroyo homónimo. Además de actuar como dissipador de energía del agua superficial y retardar la salida natural, actualmente el lago posee una superficie aproximada de 19 hectáreas y una profundidad media de 0.80 metros. Su uso es deportivo - recreativo.

En relación al arroyo Langueyú, éste no ha sido utilizado como fuente de agua potable, sin embargo ha tenido un uso recreativo que en la actualidad está limitado por la degradación que ha sufrido.

El suministro de agua para consumo y otras necesidades de la población urbana y rural, ha sido y es a partir del recurso subterráneo, producto del escaso

caudal del arroyo. Antes del año 1940, los habitantes de la ciudad se abastecían de agua individualmente a través de: jagüeles, construidos cavando hasta alcanzar el nivel freático; aljibes, en los que se colectaba agua de lluvia, o bien perforaciones con bombeadores o bombas de mano. A su vez, el agua utilizada era devuelta al sistema a través de pozos absorbentes o pozos ciegos.

En los primeros años de esa década, con el objeto de abastecer de agua de red a la población, Obras Sanitarias de la Nación construyó 7 pozos que se ubicaron dentro del ejido urbano y a una corta distancia entre ellos (150 metros) (Figura 4). Los mismos, continúan en explotación, brindando caudales muy importantes, incluso superando los 120 m³/h.

Con el correr del tiempo y de acuerdo a las necesidades, se fue incrementando el número de perforaciones municipales de Obras Sanitarias de Tandil (OST), contando con 35 pozos de bombeo en funcionamiento en el año 2006 (Figura 4). Según datos aportados por este ente el sistema cubría el 95.61 % de la población.

Metodología

El trabajo se sustenta en el análisis de fuentes primarias y secundarias para llegar a un diagnóstico de situación relacionado con la evolución histórica de la



Figura 3. Dique del Fuerte
Figure 3. Dam "Del Fuerte"



Figura 4. Pozos de bombeo de la ciudad
Figure 4. Pumping wells of the city

apropiación, uso, y gestión hídrica por parte de la población y el ente público.

Se llevó a cabo la caracterización del medio físico en sus aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos, enfatizando en las propiedades hidroliológicas, con el fin de tener un adecuado conocimiento de la disponibilidad del medio para el aprovechamiento de agua subterránea para consumo humano. La misma se basó en la consideración tanto de antecedentes generales como estudios específicos que el grupo de investigación del CINEA viene efectuando en la región.

Se analizó la hidrodinámica regional, para lo cual se efectuaron censos hidrométricos en la cuenca, estableciendo una red de monitoreo trimestral de niveles estáticos y toma de muestras para su posterior análisis. En determinados sitios de interés, también se evaluó la hidrodinámica a escala de mayor detalle.

Se han realizado 33 sondeos eléctricos verticales (SEV) en diferentes sectores de la cuenca a efectos de precisar los límites y la profundidad del hidroapoyo y por ende conocer los espesores de la cubierta sedimentaria sobrepuesta al basamento cristalino. Se utilizó la configuración de cuatro electrodos de Schlumberger, con aperturas de alas que se extendieron hasta tener la certeza de haber detectado el basamento rocoso, a través de un ascenso fuerte y continuo de la curva de resistividades aparentes.

Asimismo, se han tenido en cuenta las diferentes actividades humanas y las características de las cargas contaminantes por ellas generadas, así como su impacto al recurso hídrico, tanto superficial como subterráneo, en la cuenca.

Se ha analizado la explotación, uso y gestión de los recursos en el medio rural y urbano. En este último ámbito se han tenido en cuenta los sistemas de abastecimiento de agua potable y disposición final de aguas residuales a cargo del ente municipal (OST). Para concretar este objetivo se utilizó tanto información secundaria brindada por archivos pertenecientes al ente como información primaria mediante la realización de entrevistas a informantes claves del mismo y del municipio de Tandil. Este análisis facilitó la selección de sitios para su estudio detallado, en relación a los modos de uso del agua y su calidad para consumo humano.

Específicamente, en la faz hidroquímica, se han considerado las diferentes determinaciones de especies mayoritarias y su evolución regional en la cuenca y en sectores específicos. En este sentido se procedió al muestreo de los pozos de bombeo y a la observación de sus condiciones de funcionamiento. Se tuvo en cuenta la determinación y seguimiento del

ión nitrato como indicador de contaminación antrópica, complementado con los análisis bacteriológicos considerados en la reglamentación vigente para evaluar su potabilidad.

Los análisis de las muestras, según métodos normalizados (APHA, AWWA, WPCF, 1992), fueron realizados por los integrantes del CINEA, con la colaboración del Dr. Miguel Quiroga en el Laboratorio de Análisis Bioquímicos y Minerales, y de la Mag. Anahí Tabera en el Laboratorio de Microbiología de los Alimentos, ambos de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la UNCPBA.

Resultados

Caracterización del medio físico

El clima de la zona, de acuerdo a la clasificación de Thornthwaite y Mather (1957) en base a datos de precipitación y temperaturas de la estación Tandil para el lapso 1900-2000, se tipifica como $C_2 B_2' r$, cuyo significado es sub-húmedo húmedo con una eficiencia térmica de carácter mesotermal. El balance hídrico efectuado por Ruiz de Galarreta *et al.* (2007) determina una precipitación anual media de 838 mm, una evapotranspiración real de 694 mm, un exceso de 144 mm de mayo a noviembre y un déficit de 18 mm en época estival (Tabla 1).

Las variaciones mensuales modulares entre la precipitación y la evapotranspiración real (Figura 5) muestran con claridad los períodos de excesos (marzo a noviembre) y déficit (período estival).

En relación al recurso hídrico superficial, en el sector serrano se presentan pequeñas subcuencas donde se produce la típica concentración de las aguas como las incluidas dentro del ejido urbano y aguas arriba de éste. En este ámbito, los arroyos del Fuerte y Blanco (Figura 1) que atraviesan la ciudad, en gran parte entubados, reciben aportes a partir de los colectores pluviales que contribuyen en cantidades cada vez más cercanas a la precipitación total, debido a la importante impermeabilización del área urbana. Siguiendo en la dirección del flujo, en el sector periserrano ubicado al NE de la ciudad se da una configuración de flujo divergente, en concordancia con la morfología regional pedemontana. En este ambiente se presenta en solitario el curso del arroyo Langueyú naturalmente efluente. El caudal medio de base en el sector de la Ruta Nacional 226, ronda los 0,6 a 0,8 m^3/s de acuerdo a aforos puntuales.

En el aspecto hidrogeológico, se distinguen dos unidades que se comportan de manera diferente, por su constitución, textura y estructura, en cuanto a la

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	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
Almacenaje	96	85	101	118	150	150	150	150	150	150	150	124	
Dif. Almac.	-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

Tabla 1. Balance hídrico (período 1900-2000)
 Table 1. Hydrological balance (period 1900-2000)

admisión y circulación del agua subterránea (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005). Estas unidades son el Basamento Cristalino y los Sedimentos Cenozoicos.

El Basamento Cristalino compuesto por rocas primariamente acuífugas, presenta distintos grados de fracturación que le confieren una porosidad secundaria, dada por una importante fisuración por fallas y diaclasas. Esto determina una alta vulnerabilidad frente a las cargas contaminantes, por la elevada velocidad de circulación fisural.

La Cubierta Sedimentaria Cenozoica está constituida principalmente por sedimentos limo-arenosos con niveles basales gravo-arenosos y una disminución del tamaño hacia la zona distal del frente montañoso. En esta cubierta se incluyen los Sedimentos Pampeanos, materiales de origen loésico, que sobrepuestos al basamento, se corresponden con un medio poroso clástico, donde se ubica la batería de pozos de explotación utilizada por OST para el abastecimiento de agua potable a la ciudad. Su permeabilidad es primaria y el flujo natural es de forma laminar.

En síntesis, hidrogeológicamente se presentan dos medios netamente diferenciados: el basamento cristalino que aflora en el sector serrano, y la cubierta sedimentaria que solapa al anterior y cuyo espesor se va incrementando hacia el NE en coincidencia con la profundización del basamento y del sentido de flujo del sistema hídrico.

El basamento cristalino, es explotado ocasionalmente por la población que posee sus viviendas en el sector serrano donde el mismo aflora o presenta un pequeño tapiz de sedimentos sobrepuestos. Los caudales erogados en pozos particulares ubicados en este tipo de rocas no superan en general 1 m³/h. Las rocas de este complejo ígneo metamórfico en pro-

fundidad hacia la zona deprimida del río Salado, son las que constituyen la base o el hidroapoyo cuasi impermeable del material poroso clástico suprayacente, donde se ubica el sistema acuífero principal explotado para la población urbana y rural.

El sistema acuífero en medio poroso clástico, en base al análisis de más de 20 perforaciones antecedentes de los pozos de abastecimiento municipal es multiunitario, constituido por el acuífero freático. En el área donde se ubican dichos pozos el espesor del paquete sedimentario oscila entre 55 y 78 metros, conformado por dos unidades de diferente permeabilidad: una basal por encima del basamento cristalino que con

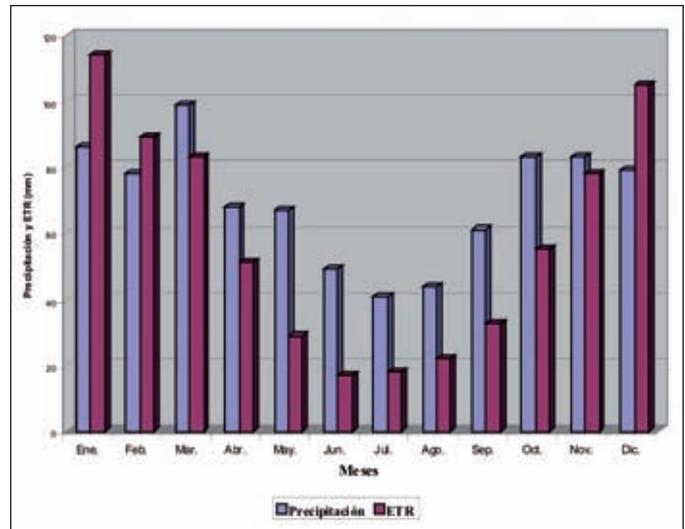


Figura 5. Precipitación y ETR medias mensuales (período 1900-2000)
 Figure 5. Precipitation and ETR monthly averages (period 1900-2000)

espesores variables se ubica a una profundidad mayor a los 45 metros, constituido por sedimentos arenosos con niveles de gravilla; y una unidad superior compuesta esencialmente por limos con diferentes niveles interdigitados de limos arenosos, limos arcillosos, y limos con variadas concentraciones de tosca diseminada. En general los rendimientos de los pozos situados en este medio son variables, y de acuerdo a la transmisividad, pueden superar los 100 m³/h.

El incremento del espesor del acuífero, luego de efectuar 33 SEV (Figura 6), se presenta hacia la parte distal de la cuenca, donde los espesores sedimentarios superan los 200 metros (límite del partido, impuesto al estudio).

El flujo subterráneo regional (Figura 7), muestra un sentido de escurrimiento hacia el NE, en concordancia con las características morfológicas superficiales, aunque con un menor gradiente (Ruiz de Galarreta *et al.*, 2007). En el sector Sur de la cuenca, dentro del ámbito serrano, se visualiza la concentración del escurrimiento siendo influente el agua sub-

terránea en relación a los arroyos Blanco y del Fuerte. En la zona extraserrana se observa una leve dispersión del flujo freático siguiendo la morfología en abanico con tendencia a plana. El curso del arroyo Langueyú no recibe aportes laterales y su relación con el acuífero es de escasa magnitud.

La velocidad media de flujo subterráneo en base al material y ensayos puntuales (permeabilidad 5 m/d, porosidad 10 %) y de un gradiente medio (0,01), determina una velocidad efectiva de 0,5 m/d. Este último valor es coherente con los aspectos hidroquímicos generales, ya que se tratan de aguas de baja salinidad y contenidos iónicos que denotan un flujo veloz, con una progresiva reducción de este vector hacia las zonas de descarga tanto local como regional. La transmisividad es variable, fluctuando entre 100 y 700 m²/d.

El agua subterránea posee distintas concentraciones de iones que se corresponden, en general, con la característica de aguas jóvenes, principalmente porque presentan bajo contenido salino y predominio

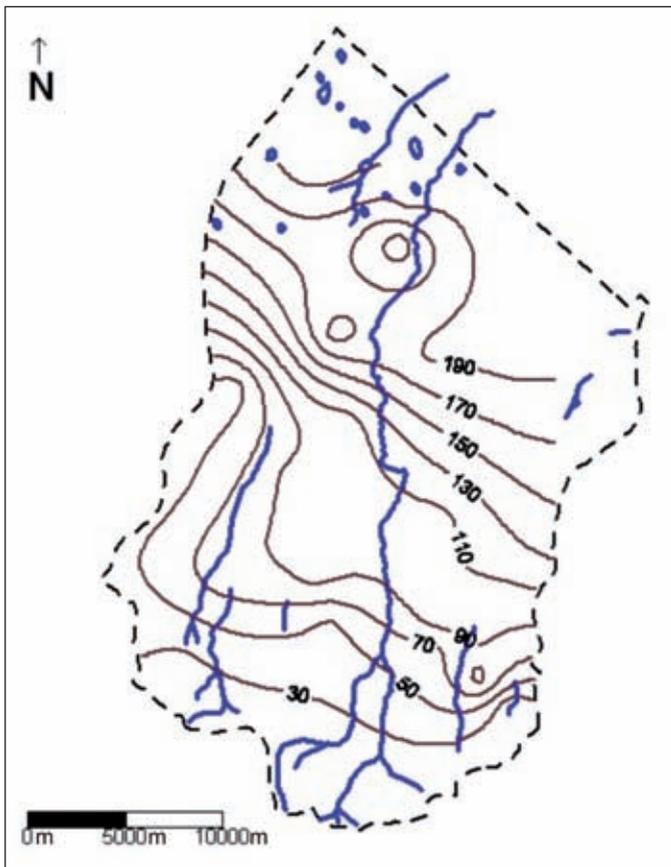


Figura 6. Mapa de isopropundidad del hidroapoyo
Figure 6. Basement depth map

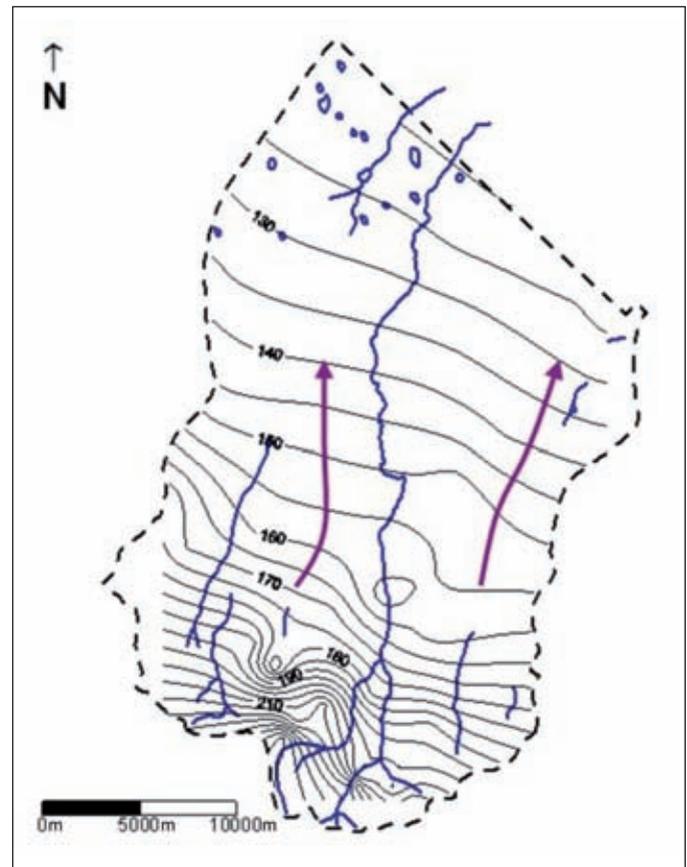


Figura 7. Mapa equipotencial (Junio 2008)
Figure 7. Deep aquifer water levels (June 2008)

del ión bicarbonato. En el sector de llanura, si bien se observa un crecimiento en el contenido de sales debido a la distancia recorrida, los tenores de sulfatos y cloruros (Figura 8) muestran que la descarga regional se produce aguas abajo del límite impuesto para el estudio. En este sector, se ha visualizado además que en la parte superior del acuífero los solutos pueden concentrarse por evaporación directa, por hallarse el nivel freático a escasa profundidad.

La recarga del agua subterránea es regionalmente autóctona por precipitaciones, ubicándose las zonas preferenciales en los sectores más altos. La descarga se produce en los cursos y afluentes principales del arroyo Languyú de carácter perenne. Las variaciones de recarga del acuífero de acuerdo al balance de cloruros en 30 sondeos, manifiesta un rango entre el 19 % y 8 % desde cabeceras en sentido NE (Figura 9).

Explotación, uso, y gestión del agua

El arroyo Languyú inicia su recorrido en la confluencia de los arroyos del Fuerte y Blanco en superficie y en dirección Norte. En forma inmediata recibe una importante carga contaminante a través de las des-

cargas de aguas residuales de diferente naturaleza. El aporte de mayor importancia lo constituye el agua residual proveniente de la planta de tratamiento (EDAR) de OST, que en la actualidad se encuentra rebasada en su capacidad operativa y vuelca parte del caudal de aguas residuales crudas sin tratar a través de un by-pass. Dicha planta comenzó a funcionar en el año 1958 y preveía, en aquel entonces, abastecer a una población de 40.000 habitantes y tratar volúmenes diarios no superiores a los 25.000 m³. Actualmente estos valores se hallan ampliamente sobrepasados, llegando a la planta un volumen diario aproximado de 30.000 m³.

Continuando con el recorrido aguas abajo se ha constatado la descarga de otros vertidos correspondientes a industrias alimenticias. Se identificaron mataderos y frigoríficos, con faenas entre 1.300 y 3.200 animales mensuales. Esto genera efluentes entre 2.300 y 5.800 m³/mes con altas concentraciones de DBO₅ (2.500 mg/l); y Nitrógeno (DQO:DBO₅:N 12:4:1). Asimismo, hay industrias lácteas con elaboración de quesos y dulce de leche con consumos mensuales entre 50.000 y 100.000 litros de leche. Los caudales de efluentes varían entre 120 y 450 m³/mes y las DBO₅ entre 3.000 y 3.500 mg/l (Banda Noriega *et al.*, 2008).

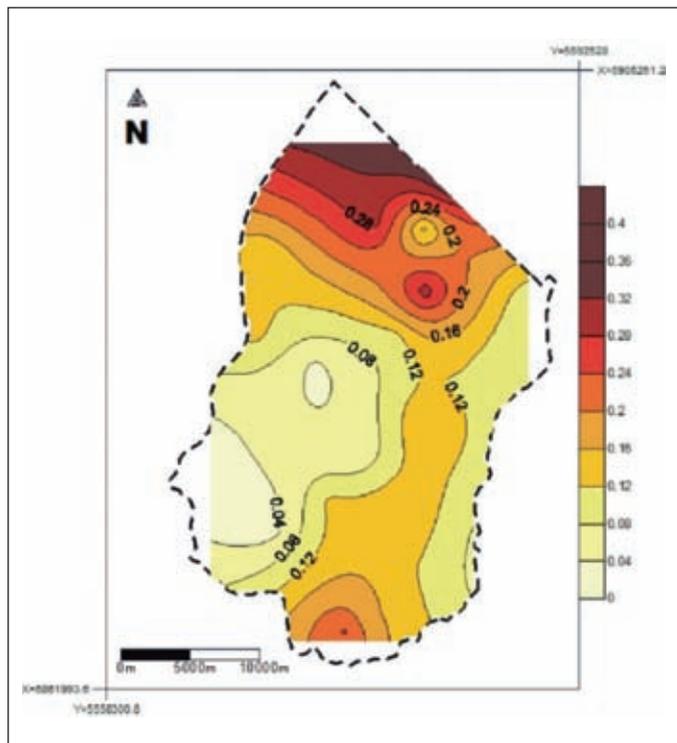


Figura 8. Mapa de isorrelación SO₄²⁻/ Cl⁻
Figure 8. Isorrelation map SO₄²⁻/ Cl⁻

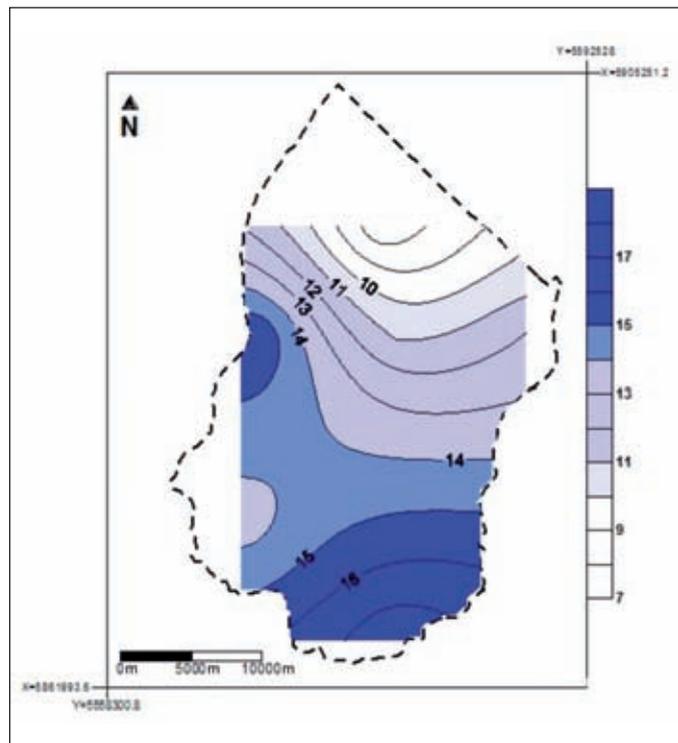


Figura 9. Mapa de porcentaje recarga por Cl⁻
Figure 9. Recharge percentage map by Cl⁻

A fin de conocer en forma preliminar la calidad química y ambiental del arroyo en su recorrido se tomaron muestras durante el año 2009 en las cabecezas de sus afluentes, en el sector de confluencia y aguas abajo en el sector más crítico, se realizaron análisis bacteriológicos y se determinaron los siguientes parámetros: conductividad, pH, T, bicarbonatos, cloruros y nitratos, así como sodio, calcio, magnesio y potasio. Todos los parámetros analizados mostraron un aumento desde cabecezas hacia aguas abajo. El incremento abrupto en las concentraciones se produce luego de la descarga de las aguas residuales provenientes del sistema de alcantarillado sanitario sin tratar, a saber: conductividad: 528 a 1.177 $\mu\text{S}/\text{cm}$; cloruros: 43 a 101 mg/l; sulfatos: 40 a 118 mg/l; sodio: 32 a 84 mg/l. También se registra un incremento de los organismos microbiológicos (bacterias mesófilas: 12.966 a 6.400.000 UFC/ml).

Esta situación de deterioro del recurso es en gran parte debida a la irresponsabilidad y mala educación ambiental de la población en general, y en particular de los gestores públicos, específicamente el ente municipal OST que vuelca parte de los efluentes de la población servida sin tratar. Es importante remarcar que el sistema de alcantarillado de la ciudad es de tipo sanitario o separativo, es decir, no incluye las aguas pluviales. No obstante, existen conexiones clandestinas que generan situaciones extremas en la Planta de Tratamiento en los momentos de intensas precipitaciones, forzando la descarga directa al arroyo. Por otra parte, la Dirección Provincial de Desagües Industriales no ejerce un control eficiente de los vuelcos de efluentes de las actividades productivas. El mayor peso o responsabilidad de la gestión del recurso recae en la Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas del Ministerio de Infraestructura, que de acuerdo al Código de Aguas de la Provincia de Buenos Aires (Ley 12.257/99) es el que debe establecer el régimen de protección, conservación y manejo del recurso hídrico en el territorio.

En cuanto a la explotación del recurso hídrico subterráneo en la ciudad, en la actualidad existen 44 pozos de bombeo, necesarios para abastecer el incremento abrupto de la población, estimada en más de 130.000 habitantes. En general, el agua se sigue extrayendo de los pozos más antiguos a través de bombas sumergibles de 30 a 40 HP, cuyo caudal es del orden de 50-80 m^3/h . Destacan los pozos 4 y 5, ubicados dentro del predio de OST (Figura 4), con un caudal entorno a 124 m^3/h . De acuerdo a datos suministrados por el ente, el volumen máximo horario para el total de perforaciones es de 2.860 m^3 , lo que equivale a un bombeo máximo diario de 68.640 m^3 . En tal sentido se ha verificado que el arroyo

Langueyú naturalmente efluente, se convierte en perdedor en el sector de mayor densidad de pozos de explotación, debido a la intercepción de conos de depresión, producto del intenso y continuo bombeo de los pozos de abastecimiento de OST, ubicados en su mayoría en el sector de confluencia de los tributarios del mencionado arroyo (Barranquero et al., 2008). Esta situación provoca que el arroyo se constituya en una fuente lineal potencial de contaminación del acuífero. Los descensos de nivel dinámico respecto al nivel estático en los pozos de OST fluctúan entre 9 a 23 metros (Figura 10).

El OST, además de estar a cargo de la red de agua potable, es quien tiene la responsabilidad del mantenimiento de sistema cloacal y pluvial y el tratamiento de las aguas residuales. Este último servicio tiene una cobertura del 55 %, según información brindada por el mismo ente que lo presta. En 2006 se analizaron las concentraciones de nitratos en los pozos de abastecimiento (Figura 11), dando como resultado que los más antiguos y de mayores caudales ubicados en el ejido han provocado descenso del nivel dinámico (30 metros), y la generación del flujo preferencial, debido a la recarga del acuífero por parte de los sistemas de saneamiento in situ de los pozos absorbentes, con altos contenidos de nitratos, superiores a 100 mg/l (Barranquero et al., 2006).

Los sectores desprovistos de red cloacal y en algunos casos también del servicio de agua de red, incluyen tanto barrios periféricos de bajos ingresos y con problemáticas que afectan su calidad de vida, como otros constituidos por familias de alto nivel económico, entre los que destacan las viviendas ubicadas al SE, en las cercanías del Lago del Fuerte, zona de expansión de la ciudad relativamente reciente y

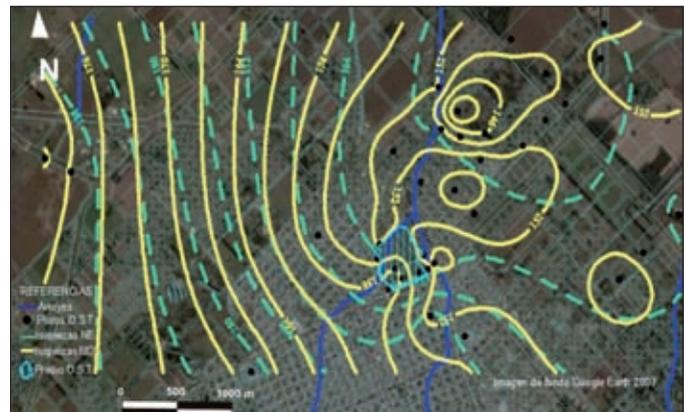


Figura 10. Conos de depresión e influencia del arroyo
Figure 10. Depression cones and stream influence

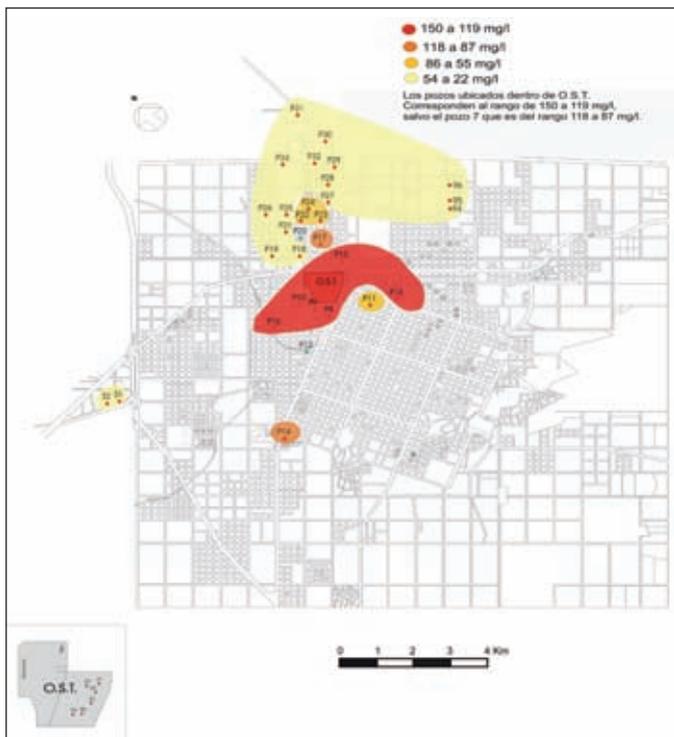


Figura 11. Concentraciones de nitratos (en 2006)
 Figure 11. Nitrate concentrations (in 2006)

cuyas propiedades poseen un alto valor inmobiliario.

Como consecuencia de la escasa cobertura de la red cloacal, una gran cantidad de población de barrios periféricos y localidades rurales han tenido como única alternativa viable la disposición *in situ* de sus efluentes domiciliarios sin ningún tipo de tratamiento (pozos absorbentes). Estos, en general, no poseen un adecuado diseño y planificación en su construcción, conformando así focos de contaminación multipuntual. Esta situación se ve agravada en aquellos casos en que las viviendas carecen también de agua de red, dado que generalmente los pozos absorbentes se ubican a escasa distancia de los pozos de bombeo individuales, por lo cual el efluente dispuesto de esta forma es en gran medida captado, con la consecuente contaminación del agua que es utilizada para ingesta.

Uno de los casos analizados es el Barrio Cerro Los Leones, ubicado al Oeste de la ciudad de Tandil, que posee un total de 300 habitantes, de escasos recursos. Las investigaciones desarrolladas en el barrio (Rodríguez *et al.*, 2008a y 2008b) han demostrado la relación existente entre las condiciones de explotación y uso del recurso hídrico subterráneo y la calidad del mismo. Los análisis bacteriológicos en la mayoría

de las muestras superaron uno o más de los parámetros establecidos en el Código Alimentario Argentino (CAA) para agua de bebida, incluso con presencia de *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*. También se detectó el incremento de la conductividad eléctrica y de las concentraciones de nitratos, en varios casos por encima del límite determinado en el CAA, en el centro del barrio donde se concentran los focos contaminantes.

En el ámbito rural se abordó la problemática del paraje De la Canal (190 habitantes), ubicado a 30 km hacia el Norte de la ciudad de Tandil (Díaz y Ruiz de Galarreta, 2009). En este caso se estudiaron las características y dinámica del sistema hídrico y se evaluó la forma de apropiación, uso y gestión del recurso, teniendo en cuenta la ausencia de servicios sanitarios. Se efectuaron análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, que en varios casos evidenciaron la contaminación del agua. Las determinaciones en laboratorio arrojaron valores de nitratos por encima de 45 mg/l, coincidiendo éstos con el área de mayor densidad poblacional del Paraje. Asimismo, los análisis bacteriológicos evidenciaron contaminación microbiológica, en particular de *Escherichia coli*, vinculada con la disposición de efluentes en pozos ciegos.

La mayor demanda y uso del recurso hídrico en la zona rural se debe a la actividad agrícola. Esta actividad es mayoritariamente extensiva; ocupa un 79,3 % del total de la superficie de la cuenca. Los principales cultivos son: trigo, maíz, girasol y soja. El clima y régimen de precipitaciones solo demanda un riego suplementario en los meses de verano a través de la extracción del agua del acuífero. El riego se realiza mediante el método de aspersión. No obstante, no existe un control de las perforaciones ni caudales extraídos, como tampoco el monitoreo de la calidad del agua dado el uso y aplicación de agroquímicos. Los más utilizados son: fertilizantes nitrogenados y plaguicidas (herbicidas, fungicidas, insecticidas), de este último grupo el 70 % corresponden a herbicidas. Las tasas de aplicación varían entre 2,32 – 4,53 kg/ha según el tipo de cultivo. En líneas generales, puede decirse que los suelos del área de estudio tienen características que les permiten retener fuertemente estas sustancias, debido a la presencia de espesos horizontes con contenidos de arcillas. Hay muy pocos estudios locales antecedentes que evalúen los efectos del uso de determinados plaguicidas o fertilizantes en las aguas subterráneas.

Asimismo es relevante analizar la afección de las diferentes cargas contaminantes provenientes de la actividad industrial al recurso hídrico subterráneo. De un total de 594 industrias, el 38% corresponde a industrias alimenticias y de bebidas, mientras que el

35 % involucra a industrias metal básica y fabricación de productos metálicos. En este último caso se incluyen las industrias de fundición.

La actividad metalúrgica de fundición es de gran importancia y trayectoria en la zona. El principal residuo que genera es la arena utilizada para realizar los moldes y noyos. Se ha estimado una generación de residuo mensual total de arenas de fundición entre 2.500 y 3.000 toneladas, las cuales contienen hidrocarburos, fenoles, metales pesados (Pb, Cr, Cd, Al, Cu, Zn). Se han identificado sitios de disposición de estos residuos con cargas de distribución multipuntual. El análisis preliminar hidrodinámico e hidroquímico, en una cava en zona periurbana para la disposición final de estos residuos, determinó un impacto del sistema hídrico subterráneo con un aumento en el contenido de sales disueltas (400 a 1.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y de ión nitrato (20 a 300 mg/l) aguas abajo del sitio (Miguel *et al.*, 2009).

El parque industrial de Tandil, localizado en uno de los ingresos a la ciudad y distante 4 km del centro urbano, genera cargas a través de residuos sólidos y efluentes líquidos de diversas industrias, en su mayoría metal mecánicas y en menor proporción alimenticias. De acuerdo a estudios antecedentes el riesgo de contaminación al recurso subterráneo es de moderado a alto (Ruiz de Galarreta *et al.*, 2004). Los parámetros considerados fueron: DBO_5 , Aceites, Fenoles, Sulfuros, Cianuros, Zinc, Cromo. Es de destacar que el mencionado polígono industrial no cuenta con abastecimiento de agua ni de alcantarillado. El suministro de agua debe realizarse en forma particular, así como la disposición de sus aguas residuales sanitarias, que se efectúa en pozos individuales.

Conclusiones

El manejo de los recursos hídricos en la cuenca del arroyo Languyú no se desarrolla de una forma integrada, con una visión sistémica que supere el abordaje estanco y fragmentado. Esta visión olvida tanto la necesidad de consideración de los impactos que genera la influencia antrópica en el medio, como la estrecha relación existente entre el uso de un recurso hídrico subterráneo por parte de una población y la disposición de aguas residuales, producto de las diferentes actividades. Como punto de partida en el manejo de todo recurso natural, se hace imprescindible conocer el funcionamiento del sistema hídrico para la planificación de su gestión integrada. Este conocimiento contribuye además a dar respuestas ante las diferentes intervenciones antrópicas, previniendo así los conflictos, en lugar de intentar remediarlos una vez producidos, mediante decisiones de

carácter parcial y paliativo. En tal sentido, el abordaje del recurso hídrico desde un enfoque ambiental, por lo tanto sistémico, en el cual se consideren tanto las variables vinculadas al medio físico como aquellas ligadas al medio socio-económico, es una estrategia metodológica necesaria en pos de una gestión sostenible. El avance en el conocimiento del sistema hídrico constituye una herramienta de suma importancia para orientar la planificación respecto a su gestión, por un lado por la escasez de antecedentes en la temática, pero principalmente por la evidencia y necesidad que surge en darle un tratamiento de carácter integral, con un enfoque ambiental.

Las medidas a implementar en esta gestión sostenible, no involucran necesariamente cambios estructurales radicales. En principio, es imprescindible el conocimiento y seguimiento del sistema hídrico superficial y subterráneo regional, sobre todo en los sectores en donde las actividades impliquen las mayores demandas. Conforme a ello es necesario realizar una planificación ambiental y controlar las formas de explotación del recurso, tanto por el organismo estatal como por los emprendimientos particulares. Asimismo, hay que efectivizar medidas de minimización y control de las fuentes de contaminación tanto industrial como urbana, con la incorporación paulatina de tecnologías que minimicen los riesgos de contaminación, y realizar el seguimiento de la calidad del agua para distintos usos. Es importante además, asesorar y asistir a las poblaciones que carezcan de servicio de agua potable y sistema de alcantarillado en las formas adecuadas de extracción de agua y disposición de sus aguas residuales. Por lo tanto, el aspecto clave en el intento de realizar una gestión sostenible es la educación ambiental, a través de la cual se valoren los recursos naturales y el uso racional para la protección de los mismos, nuestro desarrollo y el de las generaciones futuras.

De acuerdo al análisis efectuado, se destaca que el municipio de Tandil, no cuenta con una política integral en relación a la gestión ambiental en el manejo del agua. En este contexto se producen impactos al recurso subterráneo, tales como la explotación intensa y contaminación del acuífero que, con un desarrollo deficiente en los sistemas de saneamiento, generan finalmente una afección a las fuentes de abastecimiento de agua potable.

Referencias

APHA, AWWA, WPCF. 1992. *Métodos normalizados. Para el análisis de aguas potables y residuales*. Ed. Díaz de Santos. Madrid.

- Banda Noriega, R., Ruiz de Galarreta, A., Barranquero, R., Díaz, A., Miguel, E. y Rodríguez, C.I. 2008. Caracterización de cargas contaminantes generadas en Tandil y su implicancia en el recurso hídrico. *II Congreso Internacional sobre gestión y tratamiento integral del agua*, Córdoba, Argentina, 451- 463.
- Barranquero, R., Ruiz de Galarreta, A. y Banda Noriega, R. 2006. Evaluación de nitratos en los pozos de explotación en la ciudad de Tandil, Buenos Aires, Argentina. *VIII Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea*. Asunción – Paraguay.
- Barranquero, R., Miguel, E., Ruiz de Galarreta, A., Varni, M. 2008. Influencia de la explotación local del recurso hídrico subterráneo sobre la hidrodinámica regional en Tandil, Buenos Aires, Argentina. *IX Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea y Expo Agua*. Trabajo completo en CD ROM. Quito, Ecuador.
- Dalla Salda, L. 1999. Cratón del Río de la Plata. 1. Basamento granítico - metamórfico de Tandilia y Martín García. Instituto de Geología y Recursos minerales. Geología Argentina. *Anales*, 29(4), 97-106.
- Díaz, A. y Ruiz de Galarreta, A. 2009. Gestión en el uso del agua en el paraje De la Canal, partido de Tandil. *Congreso de Ciencias Ambientales COPIME 2009*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina.
- Fidalgo, F., De Francesco, F.O., Pascual, R. 1975. Geología Superficial de la Llanura Bonaerense. Geología de la provincia de Buenos Aires. *Relatorio del VI Congreso Geológico Argentino*, Bahía Blanca, Buenos Aires, 103-108. Global Water Partnership - GWP 2000. Manejo Integrado de Recursos Hídricos. TAC Background Papers N° 4. Estocolmo. Suecia. 80 p. <http://www.gwpforum.org/gwp/library/TACNO4.PDF>
- Guerrero, E., Jacinto, G., y Coria, D. 2008. Redes técnicas y recursos hídricos en la ciudad de Tandil. El rol de las infraestructuras en la gestión de la cuenca del Languayú. *Revista Espacios*. <http://www.revistaespacios.com/>.
- INDEC. 2001. *Censo Nacional de Población y Vivienda*. <http://www.indec.com.ar/>.
- Miguel, E., Ruiz de Galarreta, A. y Banda Noriega, R. 2009. Impacto al recurso hídrico subterráneo por vertedero de residuos de industrias de fundición en Tandil, Buenos Aires, Argentina. Un estudio preliminar. *Boletín Geológico y Minero*, 120 (4), 583-594.
- Rodríguez, C., Ruiz de Galarreta, V.A., Tabera, A. 2008a. Condiciones de explotación y uso doméstico del agua: el caso de un barrio periférico de la ciudad de Tandil, Buenos Aires, Argentina. *Cuadernos del CURIHAM*. Vol. 14: 51-58. ISSN 1514-2906.
- Rodríguez, C.I., Ruiz de Galarreta, A., Quiroga, M.A., Landa, R. 2008b. Hidrodinámica e hidroquímica subterránea en la zona del barrio Cerro Los Leones, Tandil, Buenos Aires. *II Congreso Internacional sobre gestión y tratamiento integral del agua*, Córdoba. 572-581.
- Ruiz de Galarreta, A., Banda Noriega, R. y Granato, M. 2004. Riesgo de contaminación hídrica en el Parque Industrial de Tandil, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Seminario vulnerabilidad de acuíferos. Red XVII-A (CYTED)*. Lima, Perú.
- Ruiz de Galarreta, A. y Banda Noriega, R. 2005. Geohidrología y evaluación de nitratos del Partido de Tandil, Buenos Aires, Argentina. *Actas del IV Congreso Argentino de Hidrogeología y II Seminario Hispano - Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea*, Río Cuarto, Córdoba, 99-108.
- Ruiz de Galarreta, V.A., Varni, M., Banda Noriega, R. y Barranquero, R. 2007. Caracterización geohidrológica preliminar en la cuenca del arroyo Languayú, partido de Tandil, Buenos Aires. *V Congreso Argentino de Hidrogeología y III Seminario Hispano-Latinoamericano de Temas Actuales de la Hidrología Subterránea*. Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- Teruggi, M., Mauriño, V., Limousin, T. y Schauer, O., 1958. Geología de las Sierras de Tandil. *Rev. Asoc. Geol. Arg.*, XIII (3), 185-204.
- Teruggi, M. y Kilmurray, J., 1980. Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. *Geología Regional Argentina*, J. C. Turner Ed. Acad. Nac. de Ciencias, II, Córdoba, 919-956.
- Thornthwaite, C. W. y Mather, J. R. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Climatology Drexel Institute of Technology. Laboratory of Climatology*, Publication N° 10, Centertown (N. J.), EE.UU., 185-311.
- Zambrano, J. 1974. Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la provincia de Buenos Aires y zonas adyacentes. *Rev. Asoc. Geol. Arg.* 29 (4), 443-469.

Recibido: junio 2010

Revisado: julio 2010

Aceptado: agosto 2010

Publicado: octubre 2010

