



7^{mo}
Congreso de
Medio Ambiente

Actas 7mo Congreso de Medio Ambiente AUGM
22 al 24 de mayo de 2012. UNLP. La Plata Argentina

**CAMBIOS DE USO DEL SUELO E IMPACTOS SOBRE EL AGUA
SUBTERRÁNEA EN UN BARRIO AL SUR DE TANDIL, BUENOS
AIRES, ARGENTINA**

**Land use change and impact on groundwater in a southern neighborhood of Tandil
city, Buenos Aires, Argentina**

Corina Iris Rodriguez*, María Carolina Miranda del Fresno, Roberto Esteban Miguel,
Ana Cristina Ulberich, Alejandro Ruiz de Galarreta.

Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA). Universidad Nacional del Centro
de la Provincia de Buenos Aires, Campus Universitario, Paraje Arroyo Seco s/n, 7000, Tandil,
Argentina. corinairis@yahoo.com; caromdf@gmail.com; estebanmiguel@gmail.com;
anaulberich@gmail.com; agala@live.com.ar

* Autor para correspondencia: +59 2293 439750 Int 221 corinairis@yahoo.com

*Palabras clave: urbanización, planificación territorial, abastecimiento de agua
subterránea*

Keywords: urbanization, land use planning, groundwater supply

Título abreviado: Uso del suelo e impacto en el agua subterránea

ABSTRACT

This work is based on land use changes since 2003 to 2011 in a peripheral sector of 75 hectares, located at the Southern hilly area of Tandil city, and its connection with groundwater quality and availability. Satellite images were mapping and contrasting through field work. It showed land use variations in the study area, changing from non defined lands uses and crop lands to tourist-commercial and residential utilization. However, this sector does not have drinkwater and sewer systems. People use domiciliary boreholes to exploit phreatic aquifer for human and recreational consumption and they spill their effluent in cesspits. Several problems related with groundwater use were detected, like as boreholes drying, need to make deeper boreholes, water quality disturbances, groundwater shortage in summer mainly for swimming pools, clogging of cesspits because of extreme rains. Phreatic levels were measured and groundwater samples were taken in 2011, in order to know electrical conductivity (EC) and nitrates. EC varied between 480 and 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, showing local contamination in the more populated zone. Nitrates have the same behavior varying since 6 to 85 mg/L, including a site with more than 200 mg/L. These alterations are mainly caused by local disposition of domiciliary effluents generating a half-closed cycle of disposition-transport-groundwater exploitation. The lack of land planning considering environmental characters together with the absence of sanitary services and urbanization in a recharge zone generates a risk for quality and availability of groundwater and population health.

RESUMEN

Este trabajo se basa en el análisis los cambios de uso del suelo en el período 2003-2011 en un barrio de 79,62 ha ubicado al S interserrano de la ciudad de Tandil, y su

vinculación con la calidad y disponibilidad de agua subterránea. El mapeo de imágenes satelitales y su contrastación en campo evidenciaron los cambios ocurridos en los usos del suelo del área de estudio, pasando de lotes sin uso definido y de cultivos a un incremento de aprovechamientos residenciales y turístico-comerciales principalmente. Sin embargo, como el sector no es abastecido por servicios de agua de red y sistema cloacal, se utilizan perforaciones particulares para la extracción de agua del acuífero libre, para consumo humano y uso recreativo, y se depositan los efluentes domiciliarios en pozos absorbentes. Los habitantes informaron sobre distintas problemáticas relacionadas al uso del agua tales como secado de pozos, necesidad de perforar a mayor profundidad, problemas de calidad del agua, escasez en época estival y para el llenado de piletas y colmatación de pozos ciegos en eventos de precipitaciones extremas. En 2011 se midieron los niveles freáticos y se tomaron muestras de agua para conocer la conductividad eléctrica (CE) y el contenido de nitratos. La CE osciló entre 480 y 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ denotando contaminaciones puntuales en la zona con mayor número de viviendas. El mismo comportamiento tienen los nitratos, variando desde 6 a 85 mg/L, con un punto que supera 200 mg/L. Estas alteraciones están ocasionadas principalmente por la disposición in situ de los efluentes domiciliarios, que genera un ciclo semicerrado de disposición - transporte - extracción del agua. La falta de planificación territorial con visión ambiental, sumada a la ausencia de servicios sanitarios y la ocupación en cabeceras de cuenca, pone en peligro la calidad y disponibilidad de agua subterránea y en riesgo a la salud de quienes lo consumen.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo integra los cambios de uso del suelo y las alteraciones en la calidad y disponibilidad de agua subterránea que derivan de los modos de uso del recurso y de la ocupación del territorio.

El área de estudio constituye un barrio ubicado en la periferia S de la ciudad de Tandil, de 79.62 ha, emplazado en el sector interserrano y sobre las cabeceras de cuenca del Arroyo Langueyú (Figura 1).

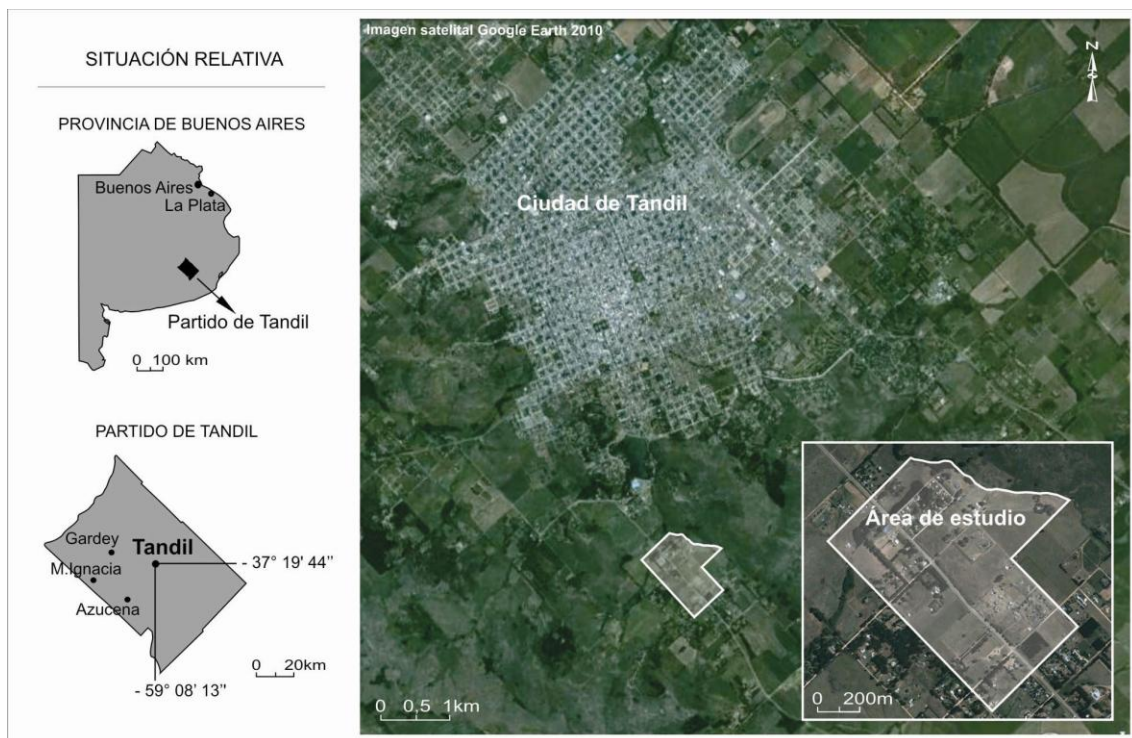


Figura 1. Ubicación del área de estudio

Figure 1. Study area location

Este sector periurbano se encuentra en creciente ocupación, sin embargo, la zona no está abastecida por los servicios de agua potable y red cloacal. Los propietarios realizan pozos de captación hacia el acuífero freático, las cuales no son previamente autorizadas

ni controladas, y vierten sus efluentes domiciliarios en pozos absorbentes o comúnmente llamados “ciegos”.

En un estudio realizado en una zona mayor que comprende al sector de estudio (CINEA, 2009), se detectaron aguas de buena calidad, con conductividades eléctricas entre 300 y 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y tenores de nitratos que oscilaron entre 20 y 40 mg/L. Dicho estudio hidrogeológico determinó, a partir del conocimiento del espesor del acuífero, que se trata de una zona extremadamente compleja para la explotación de agua subterránea, debido a que el relieve se encuentra controlado por el basamento rocoso muy cercano a superficie y en sectores aflorando, determinando un escaso espesor saturado de los sedimentos sobrepuestos, que limitan la transmisividad del sistema. Esta información es relevante debido a la creciente ocupación del suelo en el sector, dada en parte por viviendas con piletas de natación y establecimientos turísticos que presentan picos de ocupación en períodos estivales y vacacionales.

Trabajos antecedentes dan cuenta que las concentraciones medias de nitratos para la región rondan los 30 mg/l (Ruiz de Galarreta & Banda Noriega, 2005; Barranquero *et al.*, 2008).

El uso del suelo, resultado de la interacción entre la acción antrópica y el medio natural, otorga características particulares a un espacio geográfico (Marlenko, 2003), y es útil para conocer la organización del territorio, indicando los usos más frecuentes y su distribución espacial.

La evolución del uso del suelo a partir de la comparación de mapeos con distintos cortes históricos permite medir la tendencia de crecimiento o decrecimiento de los usos, y detectar aquellos que pueden provocar áreas de riesgo o impactos ambientales (Miranda & Ulberich, 2009, 2010). Es así como esta técnica de zonificación contribuye en el diagnóstico y la gestión de problemáticas del agua subterránea, como se aborda en este caso de estudio.

El objetivo de este trabajo fue analizar los cambios de uso del suelo en el período 2003-2011 en el sector de estudio y su relación con la calidad y disponibilidad de agua subterránea. El propósito consistió en generar información de base sobre los usos del suelo y el manejo de aguas subterráneas para contribuir a la planificación territorial que considere la adecuada gestión del recurso hídrico, tendiente a minimizar los impactos sobre el ambiente y la salud de la población.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El sector de estudio corresponde al partido de Tandil, ubicado en el SE de la provincia de Buenos Aires. Una de las cuencas del Partido, es la del arroyo Langueyú, que se extiende desde sus cabeceras sobre las sierras del Sistema de Tandilia y se vuelve llana al norte, hacia los partidos de Rauch y Ayacucho.

El sistema serrano de Tandilia se caracteriza por la presencia de dos unidades geológicas (Teruggi & Kilmurray, 1980), por un lado, el basamento cristalino, formado por rocas ígneas plutónicas y, por otro, una cubierta sedimentaria que incluye sedimentos pampeanos de tipo limos loessoides. Hidrogeológicamente, las rocas que componen el basamento son acuífugas, pero presentan fracturas que le dan un carácter de acuífero pobre. En cambio, los sedimentos constituyen un ambiente poroso clástico que genera un acuífero que brinda la principal fuente de agua para la ciudad y alrededores (Ruiz de Galarreta, 2006).

En cuanto a la geomorfología regional, se diferencian sierras, piedemonte y llanura dentro del sistema de Tandilia (Ruiz de Galarreta, 2006). El sector serrano, con relieve pronunciado, presenta sierras, cerros aislados y valles, con aparición de bloques fallados. Sobre esta zona se emplaza el área de estudio, donde se advierte el basamento cristalino a escasa profundidad. A partir de las sierras, continúa el piedemonte, con una pendiente más suave, y con presencia de bloques de gran tamaño y conos aluviales. La zona llana se prolonga hacia el NE, con pendientes bajas.

En la cuenca del arroyo Langueyú, el drenaje es hacia el NE acorde a la pendiente regional (Ruiz de Galarreta *et al*, 2007). Los rasgos geomorfológicos determinan la hidrología superficial y subterránea. En la zona serrana, se presentan pequeñas subcuencas que concentran las aguas, mientras que en la zona pedemontana el escurrimiento es divergente, y en la llanura el drenaje es deficiente y los flujos subterráneo y superficial presentan líneas subparalelas (Ruiz de Galarreta, 2006). En la zona periserrana de dicha cuenca se ubica la ciudad de Tandil, y al S se sitúa el área de

estudio (Figura 1). En este sector se localiza la avenida Don Bosco, limitando al N con el Arroyo del Fuerte.

Respecto a las condiciones socioeconómicas del área de estudio, en los últimos años el crecimiento urbano se ha desarrollado desde el centro hacia a periferia de la ciudad, incluso con construcciones en las laderas de las sierras. Éste sector está siendo poblado en forma paulatina por viviendas y por establecimientos hoteleros, gastronómicos y de uso turístico. Cuenta con una superficie de 79.62 ha, se caracteriza por la presencia de viviendas de distinta calidad de construcción y algunas en actual edificación, por calles que no están pavimentadas, a excepción de la avenida Don Bosco, y la falta de servicios sanitarios.

Métodos

Se recorrió la zona para el relevamiento de información y se realizaron entrevistas a los habitantes, para recabar información sobre: fuentes de agua para uso domésticos; características de las perforaciones o pozos, referidas a su construcción, antigüedad, diseño, protección sanitaria, cercanía a focos contaminantes; análisis de agua previos; sistemas de disposición de efluentes domiciliarios y problemas asociados a los mismos; relación y distanciamiento entre las perforaciones y los pozos absorbentes.

Se describió, a partir de técnicas fotocartográficas y trabajo de campo, el uso del suelo en los años los años 2003 y 2011, en el sector de estudio. Los materiales fotocartográficos utilizados fueron: plano urbano de la ciudad de Tandil, carta topográfica

Sierras de Tandil, Hoja 3760-29-2, escala 1:50000 e imágenes satelitales Google Earth-Digital Globe.

El uso y la cobertura del suelo se detectaron y analizaron a partir de la confección de cartas temáticas, que surgieron de la realización de mapeos sobre imágenes satelitales y trabajo de campo, en un área de 79.62 ha, con una escala de trabajo aproximada a 1:8100, y una superficie mínima de mapeo de 250 m². Se consideraron los cortes históricos de los años 2003 y 2011 para los cuáles se realizaron dos mapeos, el primero de ellos se realizó a partir de imágenes satelitales Google Earth-Digital Globe del año 2003, y el segundo se confeccionó sobre imágenes satelitales Google Earth-Digital Globe del año 2010 y trabajo de campo durante 2011 a fin de actualizar la verdad terrestre. Se adaptaron las categorías de la clasificación desarrollada por Anderson *et al.* (1976), reemplazándose el código numérico por colores para identificar y delimitar geográficamente los distintos usos del suelo en los diferentes mapeos.

Se realizó un relevamiento de 15 perforaciones para constituir una red de medición y muestreo y permitir el conocimiento de la hidrodinámica local y la extracción de muestras. Con respecto a la hidrodinámica subterránea, en junio de 2008 y posteriormente en febrero y junio de 2011 se realizaron mediciones de la profundidad del nivel freático y se calcularon los niveles piezométricos que posibilitaron conocer el sentido de escurrimiento subterráneo local.

En cuanto a la hidroquímica, en las mismas fechas se extrajeron muestras en las perforaciones seleccionadas y se realizaron determinaciones de la conductividad eléctrica con un Conductivímetro marca ORION 105 Aplus y concentraciones del ión

nitrate, through the selective ultraviolet spectrometric method (Eaton *et al.*, 2005). The interest in this compound is given by the possible increase due to anthropic contamination in urbanized areas, especially with disposal of excreta *in situ*. For the interpretation of the results and its relation with the hydrodynamic of the subterranean, maps of isoconductivity and concentrations of nitrates were constructed.

In addition, 5 samples were taken for microbiological analysis with the objective of complementing the chemical information with bacteriological quality parameters. The determinations were based on what is stipulated by the Argentine Food Code (CAA, 2010) which, in its article 982, determines the permissible levels in water for human consumption, corresponding to the bacteria: aerobic mesophiles, total coliforms, *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Figure 2 shows the land use and hydrography (streams and channels) of the study area for the years 2003 and 2011.

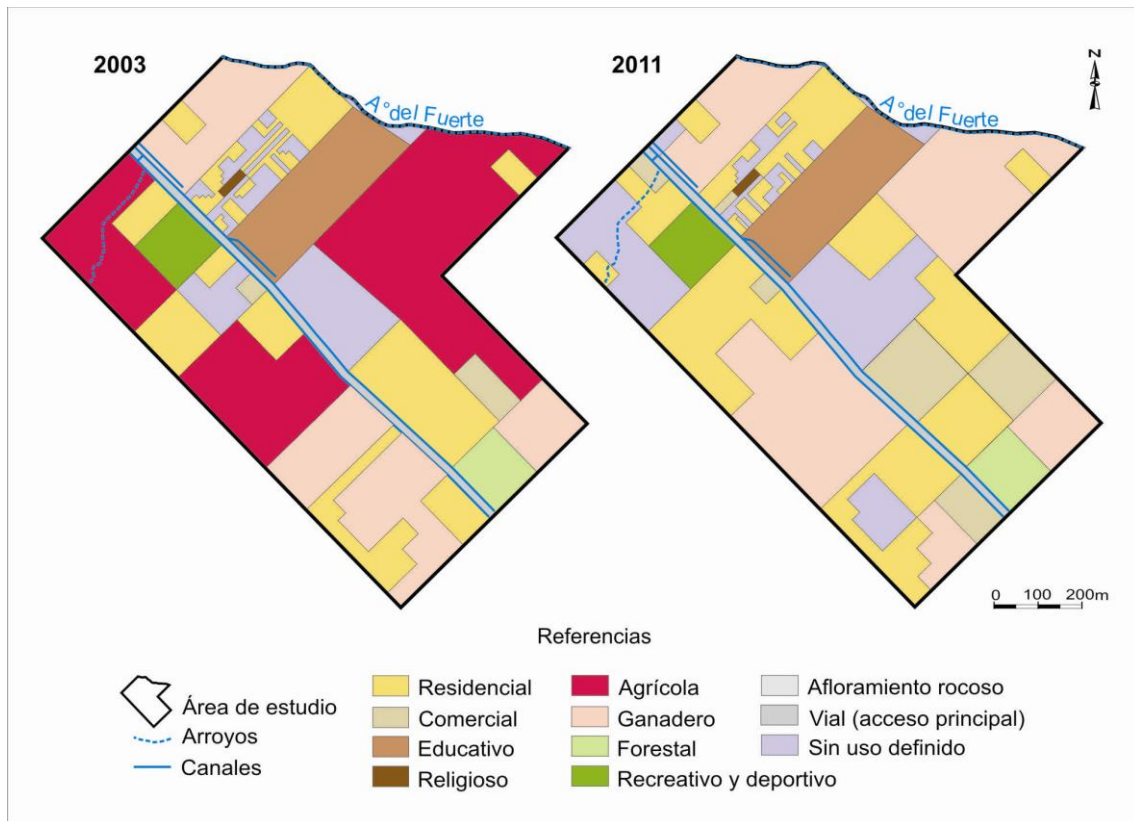


Figura 2. Usos y cobertura del suelo.

Figure 2. Land uses and cover.

Tabla 1. Superficies de uso y cobertura del suelo.

Table 1. Areas of land uses and cover.

Usos	2003		2011	
	ha	%	ha	%
Residencial	16.97	21.32	23.71	29.78
Comercial	1.20	1.51	6.29	7.89
Educativo	6.23	7.83	6.23	7.83
Religioso	0.14	0.17	0.14	0.17
Recreativo y deportivo	1.98	2.49	1.98	2.49
Forestal	1.84	2.31	1.84	2.31
Agrícola	26.34	33.09	0.00	0.00
Ganadero	15.11	18.98	24.49	30.76
Afloramamiento rocoso	4.09	5.14	4.09	5.14
Sin uso definido	3.64	4.58	8.79	11.04
Vial (acceso principal)	2.06	2.59	2.06	2.59
Total	79.62	100.00	79.62	100.00

De la Tabla 1 y Figura 2, se desprende que:

1-Los usos detectados fueron: residencial (viviendas particulares), comercial (cabañas, casa de picadas, casas de té), educativo (Chacra de la Facultad de Veterinarias), religioso (capilla Ntra. Sra. de las Sierras), recreativo y deportivo (campo de deportes Club El Pucará), forestación (plantación de pinos), agrícola (cultivos), ganadero (pastoreo y cría de animales), sin uso definido (todos aquellos lotes baldíos o libres de un uso específico), acceso principal (correspondiente a la avenida Don Bosco que conecta la zona con la ciudad por el norte y con la Ruta Provincial 74 por el sur), y el afloramiento rocoso como cobertura característica del sistema serrano.

2- Los usos que aumentaron en superficie fueron: el residencial en +6,73 ha, debido principalmente a la construcción de viviendas particulares; el comercial en +5,08 ha debido a la instalación de nuevos complejos de cabañas y casas de té; el ganadero en +9,38 ha por la ocupación de terrenos antes dedicados al uso agrícola fundamentalmente; y sin uso definido en +5,15 ha debido a la ocupación de espacios destinados a usos agrícolas y ganaderos.

3- El uso que desapareció es el agrícola: las 26,34 ha que ocupaba en 2003 fueron remplazadas por otros usos, como el residencial, comercial, ganadero e incluso lotes sin uso definido. El resto de los usos mantuvieron la misma superficie durante el período analizado.

Con respecto a los modos de apropiación del agua subterránea, se utilizan perforaciones particulares para la extracción desde el acuífero libre, para consumo humano y uso recreativo, y se depositan los efluentes domiciliarios en pozos absorbentes. Las perforaciones consideradas para este estudio se indican en la Figura 3.

Los habitantes informaron sobre distintas cuestiones relacionadas al uso del agua. Entre ellas detallaron problemas de secado de pozos, tal como se evidenció en el molino ubicado en el Sitio N° 7, en el cual pudo medirse el nivel freático en el año 2008 y posteriormente se produjo el secado. Otra problemática es la necesidad de perforar a mayor profundidad en terrenos donde existían pozos someros, tal como sucedió en el Sitio N° 10. Se suman los antecedentes de degradación de calidad del agua, comentados por vecinos que enviaron muestras a analizar y resultaron no aptas para consumo humano.

En varios casos, los complejos turísticos y algunas viviendas tienen dificultades para llenar sus piletas de natación en época estival, teniendo incluso que recurrir a la compra de agua en camiones cisternas a un alto costo, como se relevó en el Sitio N° 13.

Otra preocupación, está dada por la colmatación y desborde de pozos ciegos en eventos de precipitaciones extremas, sobre todo en la zona más baja del barrio.

Los resultados de los análisis físico-químicos indicaron que la CE osciló entre 480 y 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, presentando sus mayores valores y, denotando contaminaciones puntuales, en la zona con mayor densidad de viviendas. El mismo comportamiento tuvieron los nitratos, variando desde 6 a 85 mg/L , con un punto que supera 250 mg/L .

Específicamente para la campaña de febrero 2011, los resultados se presentan en los mapas de las Figuras 3 y 4.

En el caso de los nitratos, en varios sitios de muestreo (N° 1, 3, 4, 8, 10, 11) el valor supera lo recomendado por el Código Alimentario Argentino, que establece un límite de 45 mg/L para consumo humano. Se destaca el Sitio N° 4, el cual presentó en todas las mediciones concentraciones superiores a 250 mg/L.

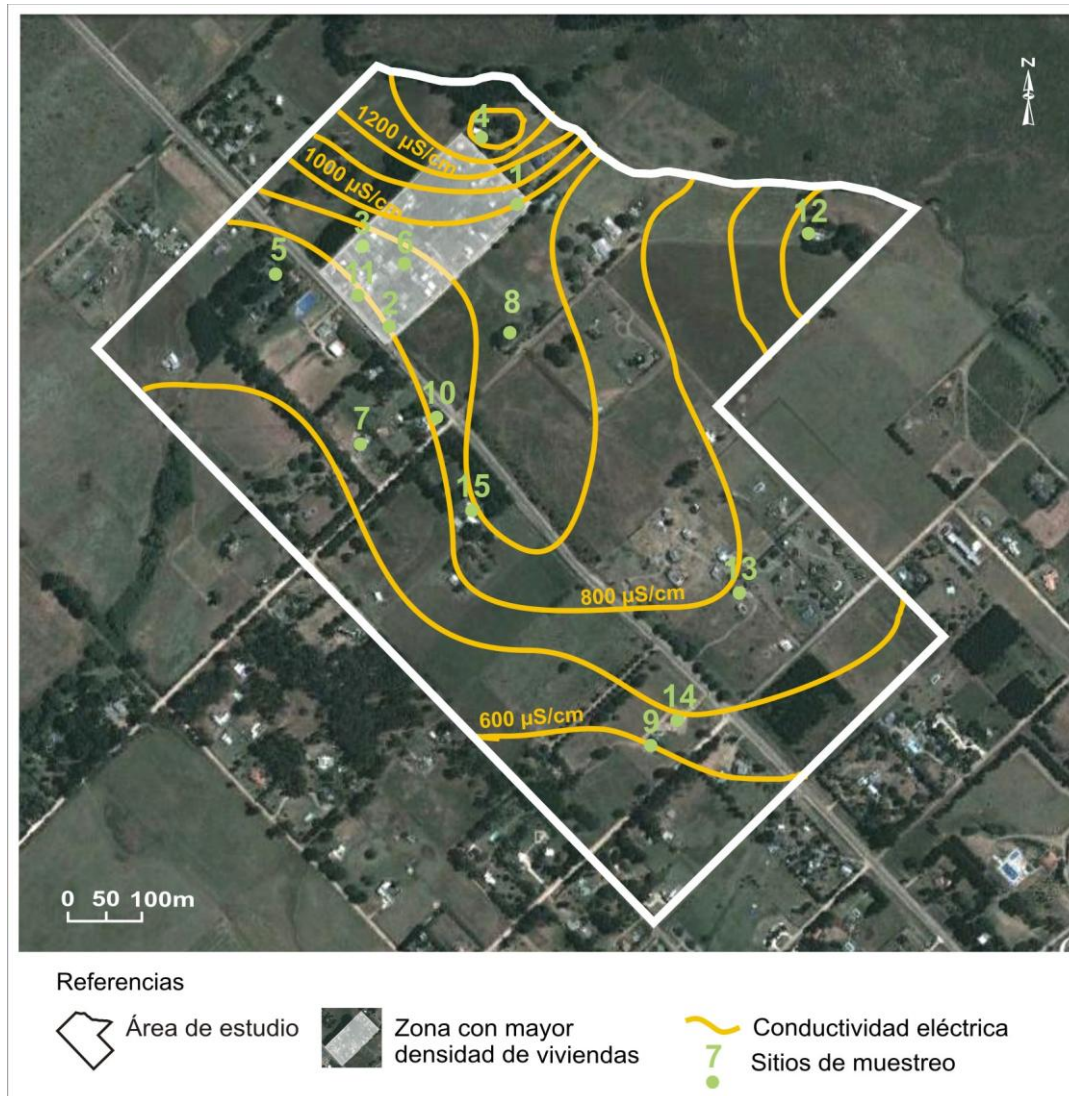


Figura 3. Ubicación de sitios de muestreo y mapa de isoconductividad (febrero 2011).

Figure 3. Sampling sites location and isoconductivity map (February 2011).

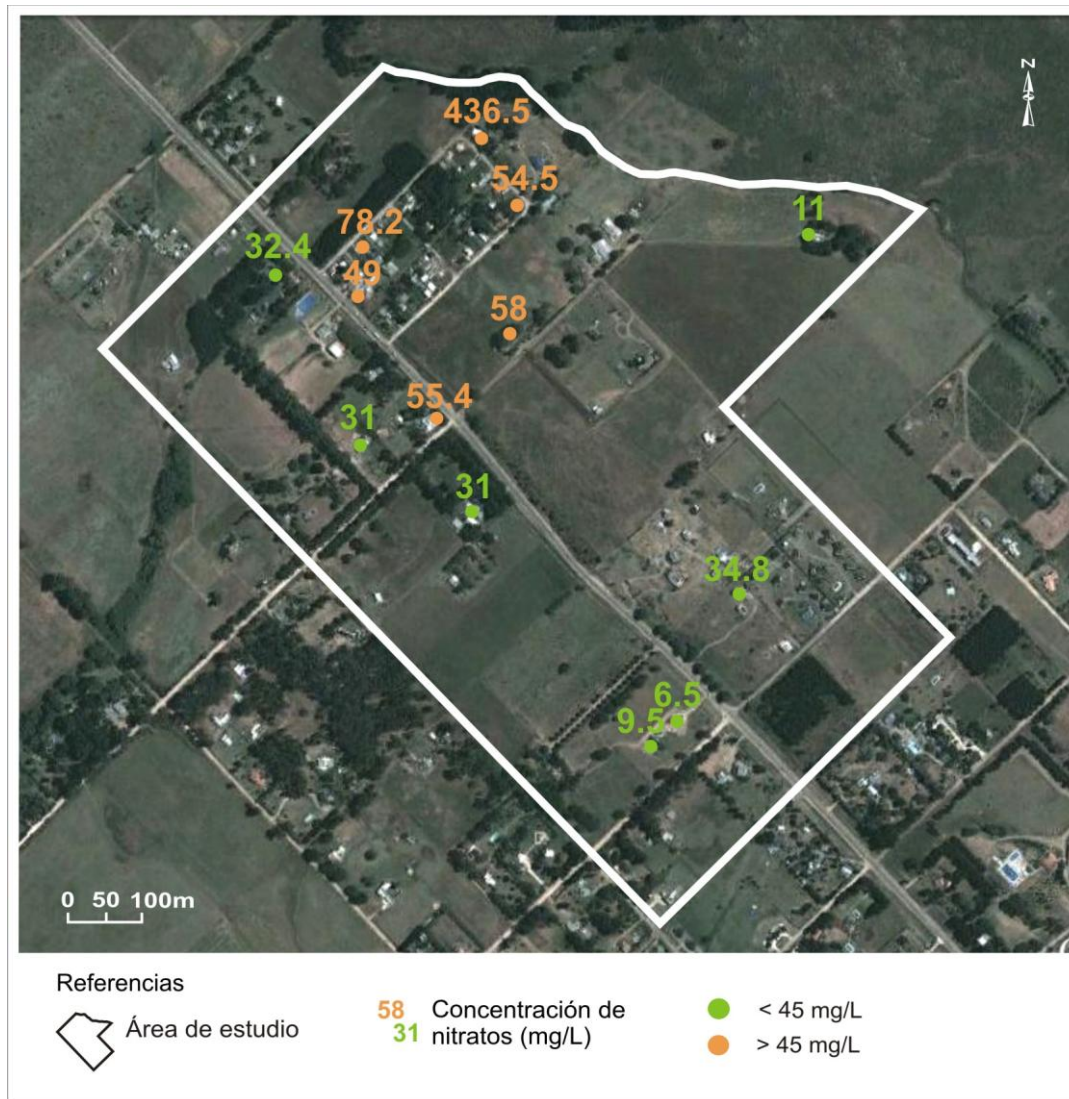


Figura 4. Concentraciones de nitratos en mg/L (febrero 2011).

Figure 4. Nitrate concentrations in mg/L (February 2011).

Las mediciones de niveles freáticos permitieron conocer el sentido de escurrimiento subterráneo, indicando la convergencia del flujo hacia el norte del área de estudio, coincidiendo con la zona de mayor densidad de viviendas y cuyos los valores de CE y nitratos resultaron elevados.

Los resultados microbiológicos, si bien sólo fueron analizados en 5 sitios, presentaron niveles que vuelven no aptas las aguas para consumo humano. Como se observa en la

Tabla 2, dos de las muestras las bacterias mesófilas superaron ampliamente el nivel permitido por el CAA y una tercera se encontró cercana al límite. Con respecto a los coliformes totales, dos muestras se encontraron muy por encima del valor permitido. En cuanto a *Escherichia coli*, coliforme de origen fecal, se manifestó en sólo una de las muestras y *Pseudomona aeruginosa*, otro patógeno establecido en la legislación argentina, no fue detectada en ninguna de las muestras analizadas.

Tabla 2. Análisis microbiológicos.

Table 2. Microbiological analyses.

Muestra Nº	Parámetros analizados			
	Bacterias mesófilas (UFC/mL)	NMP Coliformes totales / 100 mL	<i>E. coli</i> / 100 mL	<i>P. aeruginosa</i> / 100 mL
1	50	0	Ausencia	Ausencia
4	2080	460	Presencia	Ausencia
5	515	75	Ausencia	Ausencia
6	1930	93	Ausencia	Ausencia
10	130	4	Ausencia	Ausencia
Niveles permisibles CAA	500	3	Ausencia	Ausencia

Estas alteraciones están ocasionadas principalmente por la disposición *in situ* de los efluentes domiciliarios, generando un ciclo semicerrado de disposición- transporte - extracción del agua. Además, como pudo evidenciarse en las visitas y entrevistas, existen deficientes medidas de protección sanitaria, tanto de perforaciones como de pozos ciegos, y un escaso distanciamiento entre ambos, ya sea dentro de un mismo lote o respecto a lotes vecinos.

CONCLUSIONES

El análisis de los cambios de ocupación del territorio en el período bajo estudio permitió conocer los usos del suelo y sus tendencias de crecimiento. Estas variaciones, especialmente caracterizadas por el incremento del uso residencial y turístico-comercial, no han sido acompañadas por el abastecimiento de los servicios sanitarios básicos, como los de agua potable y cloacas.

El análisis de muestras de agua subterránea evidenció la existencia de focos de contaminación puntual, ocasionados principalmente por aportes de efluentes cloacales dispuestos en pozos absorbentes.

Considerando los estudios antecedentes mencionados, que dan cuenta de las dificultades del sistema acuífero para brindar agua en cantidad necesaria para una población creciente, y los resultados de análisis de calidad de aguas obtenidos en este trabajo, se pone de relevancia la necesidad de planificar la ocupación del territorio.

Dicha planificación territorial debe ser integral y poseer un enfoque ambiental, tendiente a evitar o minimizar impactos ambientales sobre el sistema hídrico subterráneo y los riesgos para la salud de la población que utiliza dicho recurso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson JR, Hardy E, Roach J & Witmer R. 1976. *A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data*. Geological Survey Professional, Paper 964, Washington, EUA: 34 p
- Barranquero R, Varni M, Banda Noriega R, Ruiz de Galarreta A, Quiroga M & Landa R. 2008. Caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas en la cuenca del arroyo Langueyú, partido de Tandil, Buenos Aires. *Actas del II Congreso Argentino de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC)*, Mar del Plata: 41
- CINEA (Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales). 2009. *Estudio Hidrogeológico en la zona aledaña a la Avenida Don Bosco de la ciudad de Tandil*.
- Convenio Municipalidad de Tandil – Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. CINEA, Tandil, provincia de Buenos Aires, Argentina, Informe final: 41 p
- CAA (Código Alimentario Argentino). 1969, actualizado en 2010. Capítulo XII: Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. Ley 18.284. Argentina. http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/CAPITULO_XII.pdf
- Eaton A, Clesceri L, Rice E, Greenberg A, Franson M. 2005. *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*. APHA (American Public Health Association), 21st Edition, Washington DC: 1368 p
- Marlenko N. 2003. Uso de la tierra. En: Navone SM. *Sensores remotos aplicados al estudio de los recursos naturales*. Editorial de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. 99-122
- Miranda del Fresno M & Ulberich A. 2009. Crecimiento urbano y problemas ambientales en el SE de Tandil. *V Jornada de Medio Ambiente, Tandil*,

- Argentina*, 5 de Junio. Asociación Civil de Licenciados en Diagnóstico y Gestión Ambiental, Facultad Ciencias Humanas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Municipio de Tandil: 26 p
- Miranda del Fresno M & Ulberich A. 2010. Problemas ambientales derivados del crecimiento urbano en el sector serrano S-SE de la ciudad de Tandil, provincia de Buenos Aires. *VI Congreso Nacional Ambiental 2010*, 20 al 22 de Octubre. Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina: 11 p
 - Ruiz de Galarreta A & Banda Noriega R. 2005. Geohidrología y evaluación de nitratos del Partido de Tandil, Buenos Aires, Argentina. *IV Congreso Argentino de Hidrogeología y II Seminario Hispano – Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea*. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina: 99-108
 - 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 doctoral de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina: 181 p
 - Ruiz de Galarreta A, Varni M, Banda Noriega R & Barranquero R. 2007. Caracterización geohidrológica preliminar en la cuenca del Arroyo Langueyú, partido de Tandil, Buenos Aires. *Actas V Congreso Argentino de Hidrogeología*. Asociación Internacional de Hidrogeólogos Grupo Argentino. Octubre 2007. Paraná, Entre Ríos: 119-128
 - Teruggi M & Kilmurray J. 1980. Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. En: *Segundo Simposio de Geología Regional Argentina*. Vol II: 919-965. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, Argentina: 1717 p