

MODIFICACIONES EN LAS ÁREAS DE RECARGA DEL ACUÍFERO FREÁTICO EN LOS MÉDANOS COSTEROS DE SAN CLEMENTE DEL TUYÚ, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Silvina CARRETERO¹ y Eduardo KRUSE²

¹ Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. Cátedra de Hidrología General, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, La Plata. Email scarretero@fcnym.unlp.edu.ar

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Universidad Nacional de La Plata

RESUMEN

En este trabajo se evalúan los efectos de las modificaciones antrópicas sobre la recarga del acuífero freático en una zona medanosa. El caso de estudio es el área de San Clemente del Tuyú, en el litoral marítimo de la provincia de Buenos Aires, en donde el uso del suelo ha generado modificaciones significativas en el ciclo hidrológico. Se plantearon tres casos de distribución de uso del suelo, se elaboraron mapas isofreáticos para los años 1976, 1987, 2006 y se estimó el volumen de agua dulce disponible al momento de cada relevamiento. Esta información fue integrada a un Sistema de Información Geográfica (SIG). Los resultados obtenidos muestran que existe una relación directa entre la evolución del uso del suelo y la cantidad de agua subterránea almacenada. La zona de médano ha reducido su distribución areal en detrimento de las zonas con urbanización, ese comportamiento se corresponde con la disminución en los volúmenes de agua dulce almacenados para esa área. A modo de conclusión puede expresarse que las modificaciones en el uso del suelo a lo largo del tiempo se reflejan en el comportamiento del acuífero freático. Estudios de detalle recientes demuestran que la urbanización trae aparejada la disminución de las posibilidades de infiltración de los excesos de agua, restringiendo las áreas de recarga natural del acuífero y por consiguiente, las reservas de agua dulce disponibles. Por lo tanto se manifiesta la necesidad de fijar áreas protegidas como reserva y zona de recarga del acuífero con normas de ordenamiento territorial que contemplen la preservación de los mecanismos de recarga natural de las aguas subterráneas.

Palabras clave: *Uso del suelo, urbanización, agua subterránea, recarga, médanos costeros.*

ABSTRACT: *Modifications to the phreatic aquifer recharge areas at the coastal dunes of San Clemente del Tuyú.* The aim of this paper is to evaluate the effects of the anthropogenic modifications on the aquifer recharge in coastal dunes zones. The study area is San Clemente del Tuyú, at the marine littoral of the province of Buenos Aires, where the land use has generated significant modifications in the hydrological cycle. Three areas with different types of land use were defined, isophreatic maps were elaborated for the years 1976, 1987, 2006 and the groundwater volume for each survey was estimated. This information was integrated to a Geographic Information System (GIS). The obtained results show that there is a direct relationship between land use evolution and the amount of groundwater stored. The dune zone has reduced its areal distribution in detriment of urbanized areas, that behavior is related to the decrease of fresh water volumes stored in that area. In conclusion, the modifications in land use through the time are reflecting in the phreatic aquifer behavior. Recent detail studies demonstrate that the urbanization brings about the decrease of the water excesses infiltration possibilities, restricting the aquifer natural recharge areas and consequently, the available fresh water reserves. Therefore, for sustainable groundwater management it is necessary to develop a rational plan for land use by preservation of sectors without urbanization or establishing protected areas to facilitate the aquifer recharge.

Keywords: *Land use, urbanization, groundwater, recharge, coastal dunes.*

INTRODUCCIÓN

En el sector nororiental de la costa bonaerense el agua subterránea es la única fuente de agua potable. Las reservas de agua dulce son limitadas y restringidas a la franja de médanos costeros, estando directamente relacionadas con los proce-

sos de infiltración de los excesos de las precipitaciones.

En la región existe una importante actividad turística que origina modificaciones en el medio natural y consecuentemente en las condiciones hidrológicas. Los procesos de urbanización, destrucción de dunas, impermeabilización del terreno,

afectan el régimen de las aguas subterráneas, como consecuencia de la disminución de la infiltración y la restricción de las áreas de recarga (Pousa *et al.* 2007). Además se debe considerar la influencia general que produce una urbanización en el ciclo hidrológico, como ser el incremento del escurrimiento superficial

por techos, veredas, calles, etc. que puede drenar hacia la red de conductos a través de obras de captación o hacia el cuerpo receptor principal (Basile y Riccardi 2000). También los efectos sobre la amplitud de las fluctuaciones de los niveles de agua subterránea (Batrak 2008) o la disminución de la infiltración natural y la aceleración en los procesos de escurrimiento superficial (Kruse *et al.* 2004). A su vez con el desarrollo urbano existen ejemplos que verifican un aumento en la recarga debido a pérdidas de cañerías de la red de agua potable y del servicio cloacal (Lerner 2002). Sailer y Gat (2007) presentan casos en donde una impermeabilización del 20-30% del área lleva a un incremento del 12% de la recarga al sistema subterráneo por medio de infiltración en las márgenes del pavimento y parcelas de infiltración. Pero a su vez exponen otros estudios que reconocen una disminución de más del 10% en la recarga debido a drenajes que descargan en el mar.

El objetivo de este trabajo es evaluar los efectos de las modificaciones antrópicas sobre la recarga del acuífero freático en la zona medanosa de San Clemente del Tuyú.

Este trabajo forma parte de un estudio hidrológico integral del área de San Clemente del Tuyú, en el marco de un proyecto de tesis doctoral de uno de los autores (S.C.) por lo cual la temática ha sido y seguirá siendo abordada cada vez con más detalles en lo sucesivo, de acuerdo a los datos que se obtengan a lo largo del desarrollo del estudio.

UBICACIÓN Y CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS

El área de estudio comprende la localidad de San Clemente del Tuyú, provincia de Buenos Aires, ubicada en la punta norte del Cabo de San Antonio, extendiéndose hacia el sur por la franja costera con un ancho de 2 km (Fig. 1).

La población permanente es del orden de 15.000 habitantes, siendo la actividad turística la más importante para el desa-

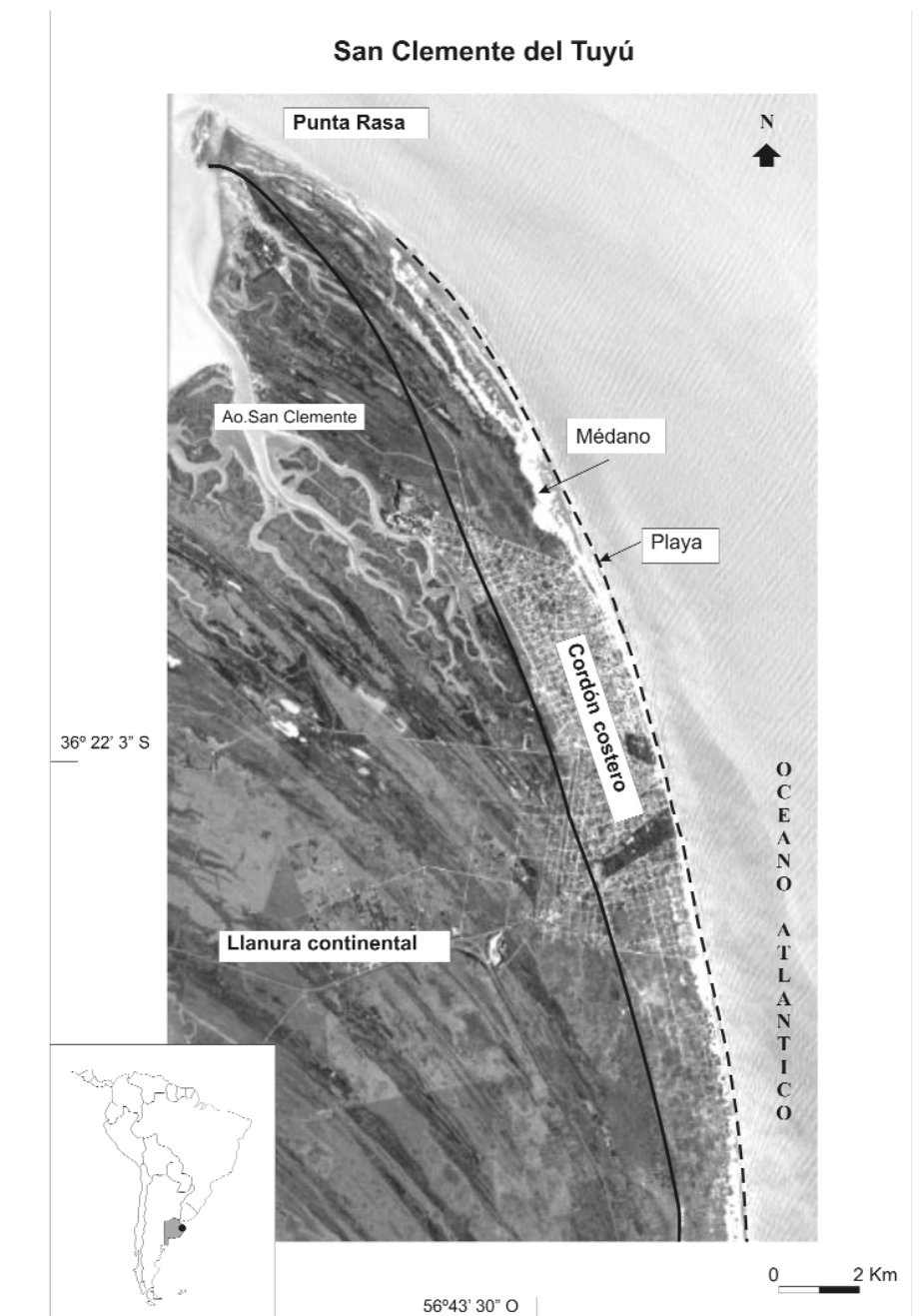


Figura 1: Mapa de ubicación y geomorfológico.

rollo de la región, lo cual se manifiesta especialmente en la época estival. La aparición de nuevas ofertas de turismo en la zona, produce un aporte constante en el resto del año pero por cortos periodos de estadía.

Esta zona, desde un punto de vista hidrogeológico, corresponde a la región costera (González 2005) o también a la subregión hidrogeológica médanos cos-

teros (Santa Cruz y Silva Busso 1999), en la cual la geomorfología ejerce un control fundamental sobre el comportamiento hidrodinámico e hidroquímico. Se diferencian dos unidades morfológicas denominadas cordón costero y llanura continental o llanura deprimida.

El cordón costero (Fig. 2a) se extiende sin interrupciones desde Punta Rasa hacia el sur con un ancho de 2 a 4 km. Se



Figura 2: a) Cordón costero; b) Médano y c) Playa

divide en playa (Fig. 2c) y médano (Fig. 2b). La zona de playa es rectilínea, tiene entre 50 y 150 m de ancho, con pendientes suaves hacia el este. Son costas de construcción, sin barrancas, con playa arenosa. Los médanos que se encuentran emplazados al oeste de la playa que les da origen, son bajos y fijados por escasa vegetación. Su granulometría es de arenas finas y presentan, arealmente, un decrecimiento general del tamaño de grano de sur a norte.

La llanura continental se desarrolla al oeste del cordón costero, donde las cotas son inferiores a cinco metros sobre el nivel del mar (m s.n.m) y en el área adyacente a la bahía Samborombón se mantiene abierta al mar. El drenaje natural está conformado por el río Ajó que descarga hacia la bahía y es alimentado por arroyos y canales artificiales que facilitan

el escurrimiento. Esta zona deprimida presenta geformas menores de relieve negativo, cursos irregulares de drenaje lento que conforman cuencas de circulación restringida (cañadas) y convergen en el río Ajó. (Fig. 3)

El acuífero principal, de agua dulce (acuífero freático) está constituido por arenas de médanos, superpuestas a arenas de barrera de 5-15 m de espesor según la altura del médano. Se encuentran limitadas al oeste y se apoyan, sobre arcillas de albufera que aumentan de espesor hacia el norte, donde alcanzan hasta 20 m. La secuencia termina con los suelos actuales que son incipientes y poco evolucionados. En el caso particular del cordón costero no tienen desarrollo, son arenosos, excesivamente drenados e inestables.

En el esquema general el acuífero de agua dulce está limitado por dos interfases, ha-

cia el continente agua dulce-agua salobre y hacia el mar, agua dulce-agua salada.

Según la clasificación climática de Thornthwaite, la zona es del tipo húmedo; mesotermal (templado); con nulo a pequeños déficit de agua, y concentración estival de la eficiencia térmica menor del 48 %. (Consejo Federal de Inversiones 1990a)

CARACTERÍSTICA DEL FLUJO SUBTERRÁNEO

Los datos de mediciones de niveles freáticos efectuados por Sala *et al.* (1976); Consejo Federal de Inversiones (1990b) y, por los autores en 2006, permitieron elaborar mapas isofreáticos para los años 1976, 1987 y 2006.

De acuerdo al análisis de estos mapas de flujo (Fig. 4), se reconoce que el cordón

costero es la zona de recarga principal, la conducción se efectúa en un corto tramo, y se da la descarga en dos direcciones opuestas, una hacia el mar y la otra al oeste hacia la llanura continental. La descarga al occidente se manifiesta en el afloramiento del nivel freático en la zona de canales de marea.

El análisis comparativo de los mapas muestra que el área elevada en la morfología freática es coincidente con las mayores alturas del médano. Esta situación es más notoria en el sector sur donde las curvas isofreáticas oscilan entre 1,5 y 3 m s.n.m. para 1976. En cambio, el sector norte las curvas tienen menor expresión. A partir de 1987, se reconoce que la morfología es más suave, disminuyendo los valores de mayor cota de los niveles freáticos. En el 2006 la curva de 1 m s.n.m. presenta un desplazamiento hacia el interior, alejándose de la costa, y se observa una reducción areal de las curvas de 2,5 y 1,5 m s.n.m. a lo largo del periodo estudiado.

Tal como fue indicado, el escurrimiento subterráneo es en dos sentidos, hacia el este (mar), y hacia el oeste (llanura continental), reconociéndose particularidades del flujo subterráneo en los distintos relevamientos.

Las variaciones en los gradientes hídricos asociados al coeficiente de permeabilidad de 20 m/d (Sala *et al.* 1976) han permitido reconocer valores máximos y mínimos de la velocidad efectiva del flujo subterráneo. Para 1976, en el flanco oriental del sector sur de la localidad, el gradiente hídrico máximo es de 0,0062 y la velocidad efectiva de 1,24 m/d. El mínimo fue calculado en 0,0012 y 0,24 m/d de velocidad efectiva, en el flanco occidental.

Para 1987 ambos gradientes fueron determinados sobre el flanco oriental del médano, donde los valores obtenidos son 0,0039 de gradiente máximo y 0,0005 de mínimo con velocidades efectivas de 0,78 m/d y 0,11 m/d respectivamente. En cambio, en el mapa de flujo para 2006 resultó factible su determinación sobre el flanco occidental, obteniendo valores de



Figura 3: Llanura continental.

0,0036 de gradiente hídrico y velocidad efectiva de 0,72 m/d, máximos, en la zona sur. Los mínimos calculados en el norte de la ciudad tienen valores de 0,0006 de gradiente hídrico y 0,12 m/d de velocidad efectiva.

Del análisis de estos resultados se observa una progresiva disminución en los valores de los gradientes hídricos tanto máximos como mínimos, y por consiguiente de las velocidades efectivas, lo cual puede visualizarse en el Cuadro 1.

EVOLUCIÓN TERRITORIAL

A partir de relevamientos de campo y del análisis visual de las fotografías aéreas e imágenes satelitales se plantean tres casos de distribución de uso del suelo, que se denominaron zonas 1, 2 y 3

La zona 1 está caracterizada por un suelo arenoso, con escasa urbanización y presencia de espacios verdes, ya sean áreas de camping o recreación, como jardines y espacios públicos, con calles que no se encuentran pavimentadas. En general es un ámbito favorable para la recarga, aunque limitada localmente en algunos sitios que presentan edificación o impermeabilización del terreno. Constituye un medio vulnerable y con riesgo de contamina-

ción derivada de las actividades que en ella se desarrollan.

La zona 2 se corresponde con el ambiente natural de médanos, que presenta un suelo arenoso con escasa vegetación, siendo insignificante la densidad de población. En este caso, los excesos de agua alimentan directamente al sistema hídrico subterráneo. El escurrimiento superficial tiende a cero, como consecuencia de las características morfológicas, de la inexistencia de una red de drenaje y de la alta permeabilidad de los sedimentos. En esta zona la baja actividad antrópica minimiza el riesgo de afectación de la calidad química del agua

En la zona 3 se han incluido los sectores densamente urbanizados, situados en el casco céntrico, donde se ubica el sector comercial, hotelero, gastronómico y las calles están pavimentadas. En estos sitios, como consecuencia de la impermeabilización prevalece el escurrimiento superficial de los volúmenes precipitados. En esta zona, que se encuentra aledaña a la costa, los desagües pluviales que colectan el escurrimiento superficial terminan en la zona de playa. La descarga se produce hacia el mar y se pierde parte de lo aportado por las precipitaciones, dando lugar a una situación desfavorable para la re-

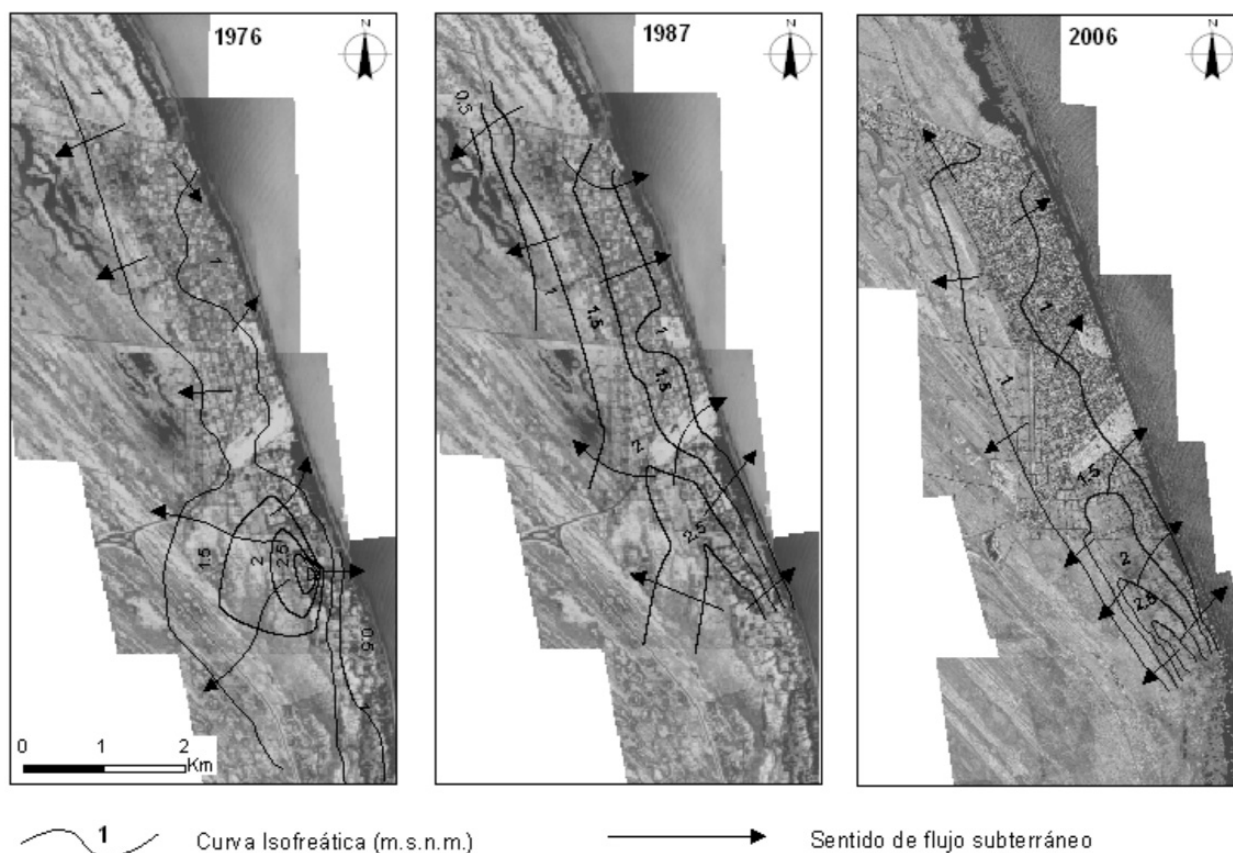


Figura 4: Mapa isofreático.

carga, la cual se lleva a cabo sólo en pequeñas superficies libres como unas pocas plazas y jardines de reducido tamaño. Esta zona es la única abastecida por agua corriente. Se considera que no existen pérdidas significativas de la red de distribución de agua que aporten a la recarga debido a que se trata de una red en buen estado que cuenta con menos de 20 años de funcionamiento. Lo mismo ocurre con el servicio cloacal, que tiene menos de 10 años de instalación. Los bajos contenidos de nitratos en el agua freática son indicadores de tal situación (Carretero 2007).

Un análisis comparativo de las fotografías aéreas de 1958 del Servicio de Hidrografía Naval, de 1984 del Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires y de la imagen satelital de 2005, perteneciente a *Digital Globe*, *Google Earth*, reconoció la evolución que han manifestado a través del

tiempo las tres zonas descritas.

Se observa que en 1976 la zona 1 mostraba una superficie de 2,1 km²; la zona 2 de 7,2 km² y la zona 3 de 0,7 km². En 2006 los valores se han transformado en 4,8, 3,6 y 1,5 km², respectivamente.

Ello indica que se han duplicado los sectores urbanizados y las zonas de médano con escasa vegetación han disminuido la superficie en un 50% (Fig. 6).

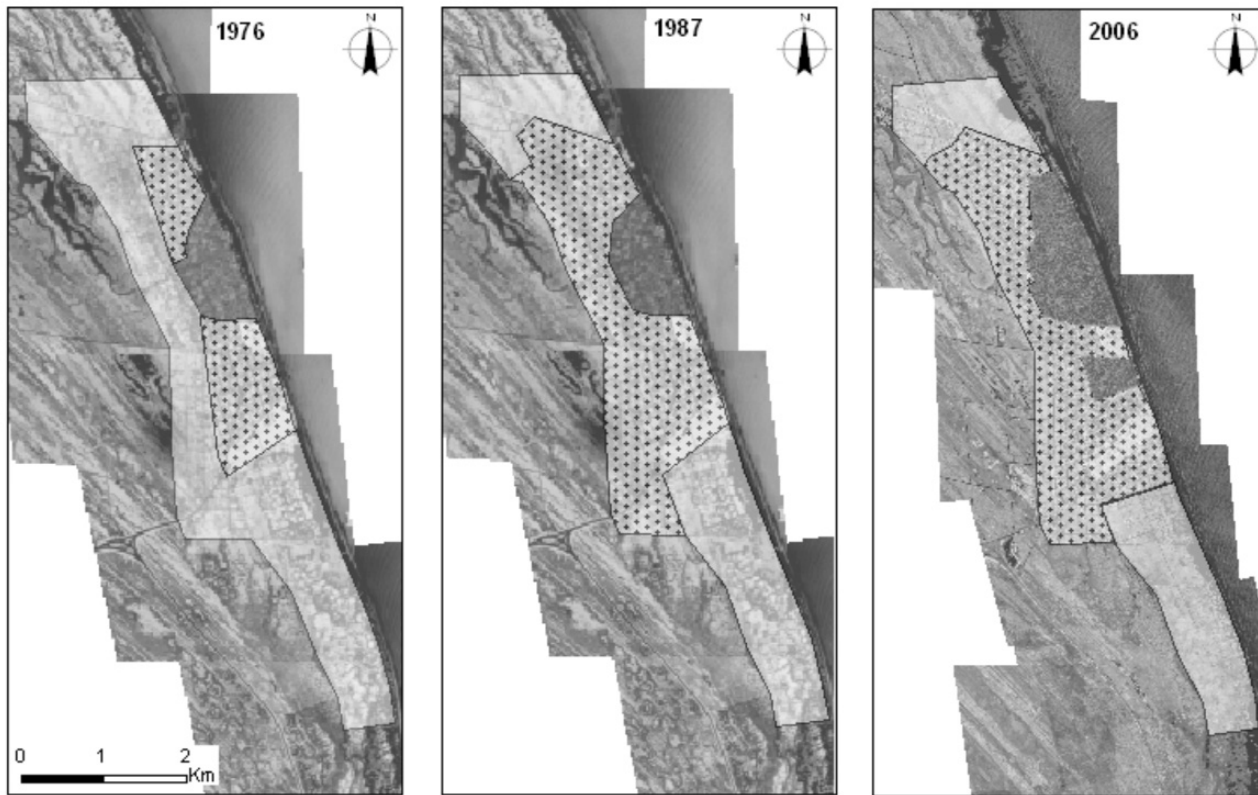
VARIACIONES EN LAS PRECIPITACIONES Y EXCESOS DE AGUA

La recarga de las aguas subterráneas está directamente relacionada con los excesos de agua de las precipitaciones (Carretero *et al.* 2008). La estación Santa Teresita del Servicio Meteorológico Nacional se ubica en las proximidades de la zona de estudio, pero los registros disponibles son escasos ya que van de 1989 a 2005. Ello

es insuficiente para reconocer la tendencia regional de las precipitaciones. Se han seleccionado las estaciones más cercanas con registros históricos adecuados, que son Dolores y Punta Indio, con condiciones climáticas similares a la estudiada.

En la figura 7 puede observarse la serie anual de precipitaciones para el periodo 1925-2006. El valor promedio para la serie es de 931 mm/año en Dolores y 962 mm/año en Punta Indio, reconociéndose una leve tendencia positiva. De acuerdo a estas condiciones, las precipitaciones, como fuente de ingreso al sistema hídrico en sus términos medios se han mantenido o mostraron un escaso aumento, y por lo tanto no jugarían un papel preponderante en variaciones significativas de las reservas de agua subterránea.

Se han elaborado balances hídricos diarios para los períodos relacionados con los relevamientos de aguas subterráneas, así se analizaron marzo-1975 a febrero-



Distribución territorial




-  Zona 1-Escasa urbanización y espacios verdes
-  Zona 2- Médano con escasa vegetación
-  Zona 3-Urbanizado denso y asfalto

Figura 5: Mapa de uso del suelo.

1976, septiembre-1986 a agosto-1987 y noviembre-2005 a octubre-2006. La metodología utilizada de balance hídrico es la de Thornthwaite y Mather (1955) en base a los datos de precipitación de Dolores y los valores de ET_0 (evapotranspiración de referencia) media diaria estimadas según el método de Penman-Monteith (FAO 1998).

Los resultados de los balances hídricos se sintetizan en la figura 8. Los valores de la precipitación durante el año previo a cada uno de los relevamientos se encuentran en el entorno de los valores medios (entre 906 y 977 mm). Los excesos de agua con capacidad de infiltración oscilan entre 377 mm en 2006 y 424 mm en 1987. Se deduce que los relevamientos de 1976, 1987 y 2006 responden a condicio-

nes en que los balances hídricos son representativos de las condiciones climáticas medias y los excesos no presentan diferencias significativas. Al encontrarse los excesos estimados dentro del mismo rango de valores para cada relevamiento, es posible establecer que el ingreso de agua al sistema subterráneo no muestra variaciones importantes.

EVIDENCIAS DE MODIFICACIONES EN LA RECARGA

De acuerdo a las condiciones establecidas previamente, es posible considerar que en el médano se produce la infiltración de prácticamente la totalidad de los excesos, los cuales alimentarán a la capa freática. Es decir que la infiltración para

los períodos anuales analizados varió entre 377 y 424 mm.

En la zona urbana, para aproximar un porcentaje estimativo de la infiltración con respecto a la precipitación, se consideraron los obtenidos por Vázquez Suñé y Sanchez-Vila (1997). Estos autores estimaron que el 85-90% de la lluvia es drenada por la red de pluviales, restando un 10-15% de agua disponible para infiltración y recarga. De acuerdo a estas consideraciones y a los balances hídricos efectuados, la infiltración en la zona urbanizada oscilaría entre 57 y 61 mm.

En base a los mapas de flujo (Fig. 4), a los parámetros hidráulicos del acuífero (coeficiente de permeabilidad 10 m/d y porosidad efectiva 0,10) y considerando como plano de referencia el 0 m s.n.m, se

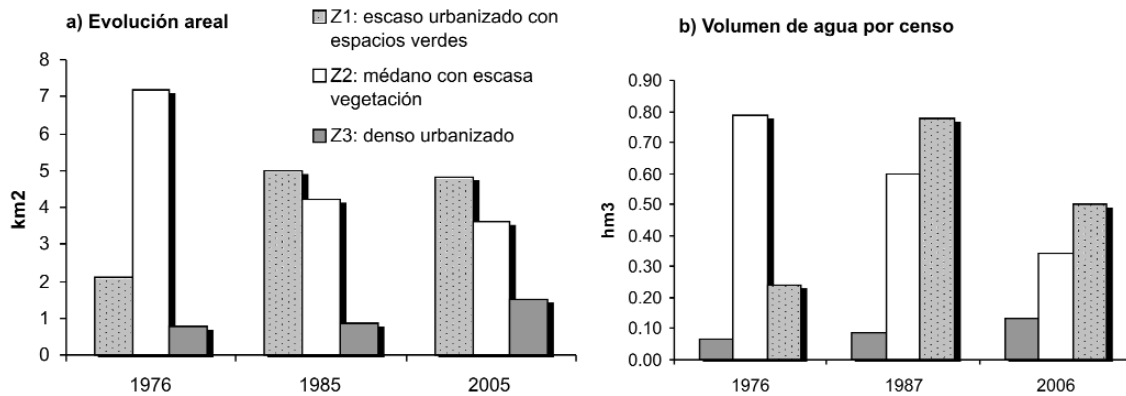


Figura 6: Evolución del uso del suelo.

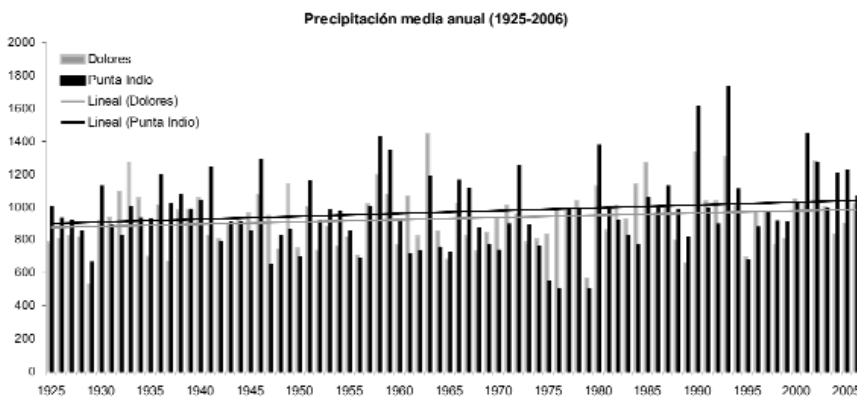


Figura 7: Serie histórica de precipitaciones para dos estaciones del SMN en la región (1925-2006).

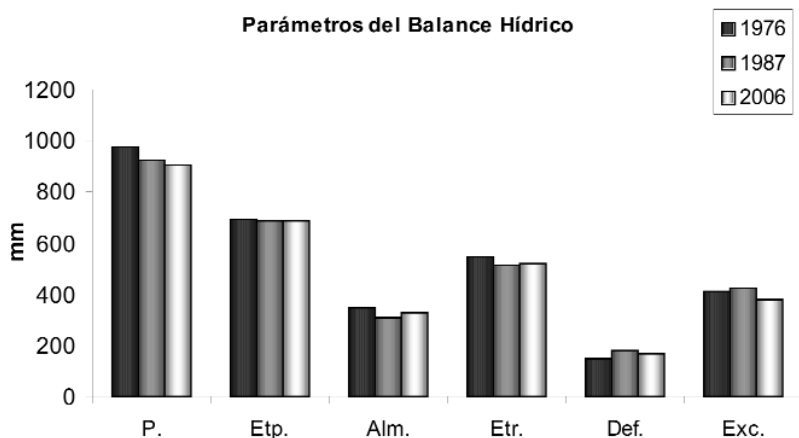


Figura 8: Resultados del balance hídrico para los tres censos analizados.

estimó el volumen de agua dulce disponible, desde dicho plano, para cada uno de los relevamientos (Fig.9). En la zona 1 para 1976 el agua almacenada presentaba un valor de 0,24 hm³, la zona 2 de 0,79

hm³ y la zona 3 de 0,06 hm³, mientras que en 2006 corresponden a 0,50, 0,34 y 0,13 hm³ respectivamente.

A partir de los volúmenes y las áreas de cada una de las zonas fue posible estimar

el agua disponible por unidad de área y así reconocer comparativamente el significado de esa agua almacenada y sus variaciones temporales.

En la figura 10 se han representado dichas variaciones expresadas en milímetros, observándose que una menor lámina de agua caracteriza a la zona urbanizada (zona 3) y una mayor a la zona de médanos (zona 2). De manera, independientemente de la evolución de las áreas ocupadas por cada zona, los menores valores de lámina de agua registrados en la zona 3 (urbana) verifican los efectos de la disminución de la infiltración, producto de la impermeabilización del terreno y el aumento del escurrimiento superficial, cuyo volumen se pierde a través de los desagües al mar. Comparativamente con la zona urbana, los mayores valores en milímetros observados en el zona 2 (médanos) son la respuesta de una infiltración sin impedimentos de los excesos de agua.

DISCUSIÓN

Dado que el agua subterránea en las zonas parcial y densamente urbanizadas es altamente vulnerable y con riesgo de contaminación, las reservas aprovechables para consumo humano deben relacionarse esencialmente con el agua almacenada en el médano sin actividad. A partir de ello se define la importancia de los estudios hidrogeológicos y su relación con el ordenamiento territorial en las zonas costeras.

El análisis de la calidad y protección del agua ha sido declarado como uno de los principales propósitos en distintos países, en especial aquellos pertenecientes a la Unión Europea (*EU Water Framework Directive*). Los mapas de calidad de agua subterránea son utilizados como herramienta para la toma de decisiones y patrón de planeamiento territorial (García-Soldado *et al.* 2008), los cuales deben ser substanciados por datos relevantes de carácter geológico y especialmente, hidrogeológicos (Satkunas 2008).

Si bien en nuestro país, no existen políticas explícitas referidas a la planificación y gestión de las zonas costeras, existe en cambio, una profusa normativa general en los tres niveles (nacional, provincial y municipal) con competencias superpuestas en este ámbito. (Barragán Muñoz 2005). Es evidente la necesidad de adoptar medidas de planificación y ordenamiento territorial frente al crecimiento de los núcleos urbanos. Las zonas costeras, con la fuerte influencia de la actividad turística sumada a la alta vulnerabilidad de los acuíferos deberían ser, especialmente consideradas a la hora de fijar las pautas de manejo del recurso.

CONCLUSIONES

A partir de los tres relevamientos analizados (1976, 1987 y 2006), se observa que las modificaciones en el uso del suelo se reflejan en el comportamiento del acuífero freático.

Las zonas parcial y densamente urbanizadas (zonas 1 y 3) han registrado un aumento en su superficie del 56 y 41 % respectivamente, mientras que el médano sin vegetación se ha reducido en un 50 %.

Estas variaciones disminuyen las posibilidades de infiltración y recarga del acuífero y aumentan el escurrimiento superficial. Para el año previo a cada uno de los relevamientos se estima que los excesos con posibilidad de infiltrarse varían entre 377 y 424 mm en la zona de médano y entre 57 y 61 mm en la zona urbana.

La lámina de agua almacenada por unidad

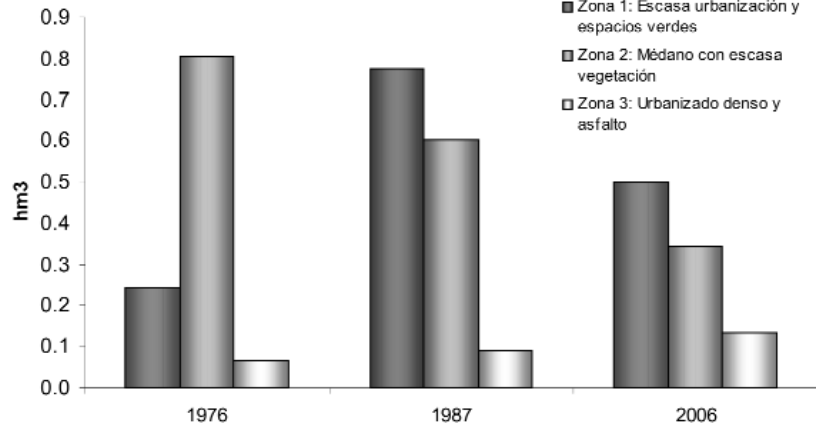


Figura 9: Volumen de agua subterránea por censo.

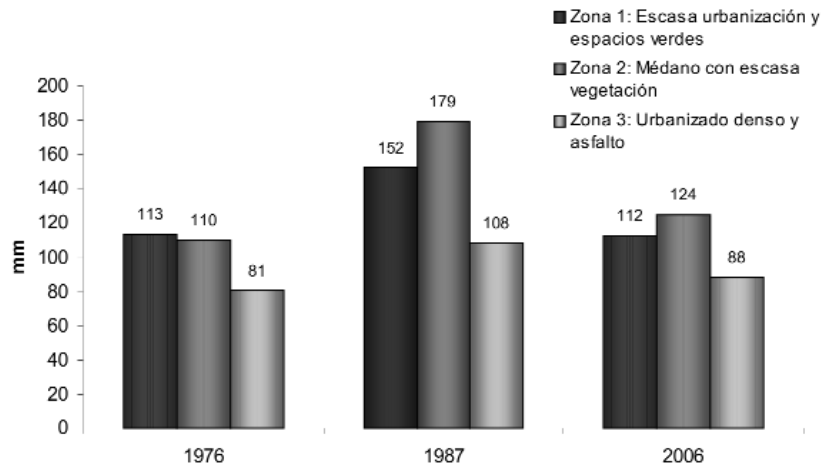


Figura 10: Lámina de agua (mm) calculada por zona para cada relevamiento.

CUADRO 1: Gradiente hidráulico y Velocidad efectiva a lo largo del tiempo.

	1976	1987	2006
i máx	0,0062	0,0039	0,0036
i min	0,0012	0,0009	0,0006
Ve máx (m/d)	1,24	0,78	0,72
Ve min (m/d)	0,24	0,19	0,12

de área en la zona de médanos es significativamente superior (entre 36 y 65%) a la correspondiente a la zona urbanizada.

Por otra parte la situación más crítica se verifica en el volumen relativo de agua almacenado en la zona de médano (zona 2) que ha disminuido con el transcurrir del tiempo, para condiciones climáticas relativamente similares, como consecuencia de

la reducción areal de las superficies de recarga natural del acuífero. En 1976 ese valor relativo significaba 0,79 hm³ (un 72% del total en el área de análisis), mientras que en 2006 es de 0,34 hm³ (35%).

En la planificación territorial del ambiente de médanos costeros debe contemplarse la protección ambiental de las reservas de agua dulce, lo cual implica la

delimitación de áreas de seguridad donde se impidan los procesos de urbanización y otras actividades que pueden afectar el recurso hídrico subterráneo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Basile, P.A y Riccardi, G.A. 2000. Procesos hidrológicos urbanos. En Orsolini, H.E, Zimmermann, E.D y Basile, P.A. (eds.) Hidrología, procesos y métodos, Universidad Nacional de Rosario, 253-280, Rosario.
- Barragán Muñoz, J.M. 2005. La gestión de áreas litorales en España y Latinoamérica. Universidad de Cádiz, 198 p., Cádiz.
- Batrak G. y Semenov S. 2008. Groundwaters dynamic regime in urban territories. 33rd International Geological Congress. General contribution to hydrogeology, Abstract CD HYH-01, Oslo.
- Carretero, S. 2007. Calidad química del agua subterránea en el sector norte del Partido de la Costa, Provincia de Buenos Aires (Argentina). 16° Jornadas de Jóvenes Investigadores. Universidad Nacional de Asunción. Resumen: 253, Trabajo completo en CD 10 p., Asunción.
- Carretero S, Kruse E. , Forte Lay J.A. 2008. Efectos de la urbanización sobre la recarga en médanos costeros. 9° Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Quito. Resumen: 58, Trabajo completo en CD, 8 p., Quito.
- Consejo Federal de Inversiones 1989. Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo de la Región Costera Atlántica de la Provincia de Buenos Aires Regiones 1 y 2 Punta Rasa-Punta Médanos. Provincia de Buenos Aires. Informe Final, 2 Geología y Geomorfología, 192 p., Buenos Aires.
- Consejo Federal de Inversiones 1990a. Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo de la Región Costera Atlántica de la Provincia de Buenos Aires Región 1 Punta Rasa-Punta Médanos. Informe Final, 4 Caracterización climática y Balance Hidrológico, 177 p., Buenos Aires.
- Consejo Federal de Inversiones 1990b. Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo de la Región Costera Atlántica de la Provincia de Buenos Aires Región 1 Punta Rasa-Punta Médanos. Informe Final, 1 Hidrología Subterránea, 177 p., Buenos Aires.
- FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements, irrigation and drainage, Paper 56, 300 p., Roma.
- García-Soldado, M.J., Chica-Olmo M., Luque-Espinar J.A, Rodríguez-Galiano V. 2008. A geostatistical approach to water quality spatial analysis at municipal level. 33rd International Geological Congress. General contribution to hydrogeology, Abstract CD HYH-01, Oslo.
- González, N. 2005. Los ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires. En de Barrio, R., Etcheverry, R., Caballé M. y Llambías, E. (eds.) Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires, 16° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 359-374, La Plata.
- Kruse, E., Varela L., Laurencena P., Deluchi M., Rojo A. y Carol E. 2004. Modificaciones del ciclo Hidrológico en un Área del Noreste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Instituto Geológico Minero de España, Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas 11: 131-139, Madrid.
- Lerner, D. 2002. Identifying and quantifying urban recharge: a review. Hydrogeology Journal 10(1): 143-152
- Pousa, J., Tosi, L., Kruse E., Guaraglia, D., Bonardi, M., Rizzetto, F., Schnack, E. 2007. Coastal Processes and environmental hazards: The Buenos Aires (Argentina) and Venetian (Italy) Littorals. Environmental Geology 51: 1307-1316.
- Sala, J.; González N., Hernández M., Martín de Uliana E., Cheli E. y Kruse E. 1976. Factibilidad de provisión de agua subterránea a la localidad de San Clemente de Tuyú -El Tala. Provincia de Buenos Aires. Informe técnico. Convenio Cátedra de Hidrogeología. Facultad de Ciencias Naturales- Cooperativa de Obras Sanitarias de San Clemente del Tuyú, 42 p., La Plata.
- Santa Cruz J.N. y Silva Busso A. 1999. Escenario hidrogeológico General de los Principales Acuíferos de la Llanura Pampeana y Mesopotamia Septentrional Argentina. 2° Congreso Argentino de Hidrogeología y 4° Seminario Hispano Argentino sobre Temas Actuales en Hidrología Subterránea, Actas 1: 461-471, Tucumán.
- Satkunas J. 2008. Geoscientific information and environmental management - case of Lithuania in European context. 33rd International Geological Congress. Role of geoscience in governance for sustainable development and human security, Abstract CD EME-02, Oslo.
- Seiler, K.-P. y Gat, J.R. 2007. Man's Impact on the Groundwater Recharge. En Groundwater recharge from run-off, infiltration and percolation. Springer: 187-200, Amsterdam.
- Thorntonwaite, C. y Mather, J. 1955. The water balance. Climatology 8:1-37.
- Vázquez Suñé, E. y Sánchez-Vila, X. 1997. Cálculo de balance y recarga en la ciudad de Barcelona. En Custodio, E., Llamas M.R. y Samper J.(eds.) La Evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica. Textos del Seminario celebrado en Las Palmas de Gran Canaria. Instituto Tecnológico Geominero de España, 399-406, Madrid.

Recibido: 9 de Diciembre, 2009

Aceptado: 25 de Marzo, 2010