

9. EVOLUCIÓN DEL MÉDANO COSTERO Y EFECTOS SOBRE LA RECARGA EN EL ACUÍFERO FREÁTICO EN SAN CLEMENTE DEL TUYÚ

Carretero, Silvina y Eduardo Kruse

Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Cátedra de Hidrología General. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. E-mail: scarretero@fcnym.unlp.edu.ar, kruse@fcnym.unlp.edu.ar

RESUMEN

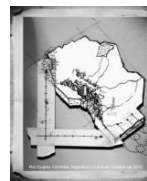
En el sector nororiental de la Provincia de Buenos Aires, Argentina (San Clemente del Tuyú) la geomorfología ejerce una influencia directa en el comportamiento hidrodinámico e hidroquímico de las aguas subterráneas. El objetivo del trabajo fue estudiar la evolución del médano costero y los efectos sobre la recarga en el acuífero freático. La precipitación media anual es de 1000 mm, de los cuales el 43% se transforma en recarga. A partir de fotografías aéreas (1958-1984) e imagen satelital (2005) se realizó el análisis de la transformación del médano, dividiéndose la zona de estudio en sector norte, central y sur teniendo en cuenta el estado del médano (móvil o fijo). Se estudió el efecto del avance de la urbanización relacionando el porcentaje de infiltración de acuerdo al tipo de zona y el consumo de agua en relación al crecimiento poblacional. Se observó que el sector central es el que presenta la mayor modificación en la morfología, entre 1958 y 1984, debido al desarrollo de la urbanización. Considerando la clasificación de uso de suelo realizada, la recarga estimada para los años analizados sufrió una disminución de casi el 50% en 47 años mientras que el consumo de agua aumentó 7 veces. Estas tendencias proyectadas a futuro, sumadas al aumento del nivel del mar pronosticado para la región advierten la necesidad de una planificación del uso del suelo y una explotación sustentable del agua subterránea. Se ha comprobado que la reducción en la recarga está directamente relacionada con el aumento de las superficies impermeabilizadas. La importancia de este análisis reside en la estrecha relación que existe entre la modificación geomorfológica del médano debida al cambio en el uso del suelo y consecuentemente las posibilidades de infiltración.

Palabras clave: médanos costeros, acuífero costero, uso del suelo, recarga, Partido de La Costa

ABSTRACT

Geomorphology controls the hydrodynamic and hydrochemical behavior of groundwater in the northeastern coast of Buenos Aires province, Argentina (San Clemente del Tuyú). The objective was to study the coastal dune evolution and the effects on the recharge to the phreatic aquifer. The average annual rainfall is about 1000 mm of which 43% constitutes recharge. From aerial photographs and satellite images for the period 1958-2005 the dune evolution according to the classification as mobile dune or fixed dune and the effect of urbanization expansion was analyzed. Variations in infiltration according to the mentioned characteristics and to water consumption related with population growth were evaluated. The results show that the greater modification occurred between 1958 and 1984 due to the urbanization development. From the land-use classification made, the estimated recharge from 1958 and 2005 has decreased nearly 50%, while the fresh water consumption has increased by 7 times in those 47 years. The studied tendencies projected for the future in conjunction with the predicted sea-level rise warn of the necessity for land-use planning and groundwater sustainable exploitation. Reduction in recharge is related to the increase of impermeable surfaces. The importance of this analysis lies in the strong relationship between geomorphological modifications of the dune due to land-use and the possibilities of recharge to the fresh-water aquifer.

Keywords: sand-dune barrier, coastal aquifer, land-use, recharge, Partido de La Costa



INTRODUCCIÓN

El uso del suelo, particularmente en zonas urbanas y su relación con la cantidad y calidad de las aguas subterráneas ha sido extensamente abordado (Wang 2001, Kim *et al.* 2003, Kim 2004, Krothe *et al.* 2002, Zuquette *et al.* 2004, Houlahan y Findlay 2004, Park *et al.* 2005, Bellot *et al.* 2007). En el área de estudio resulta de utilidad establecer esta relación debida a que el aumento de la población estable, y por ende de las viviendas, junto al ingreso de los turistas en los meses de verano, están íntimamente ligados con el consumo del agua y el manejo de las reservas de agua disponibles. Los procesos de urbanización, destrucción de médanos, 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, Carretero *et al.* 2008). El proceso de urbanización, en distintos grados, que trae aparejada la disminución de las posibilidades de infiltración de los excesos de agua, restringe las áreas de recarga natural del acuífero y por consiguiente, las reservas de agua dulce disponibles. Otro factor a tener en cuenta es el aumento del nivel del mar relacionado al cambio climático, el cual afectaría la hidrogeología de la región (Carretero y Rapaglia 2011).

Los acuíferos costeros tienen ciertas características que los hacen especialmente relevantes desde el punto de vista de la génesis y el funcionamiento de los espacios naturales litorales relacionados con ellos. Suelen ser medios de elevado dinamismo morfológico, especialmente las franjas costeras, donde es frecuente encontrar geoformas tales como cordones litorales, trenes de dunas activas, médanos y acantilados, áreas de marisma mareal o fluvial, lagunas salobres y dulces, etc. en permanente evolución. Ello ocasiona cambios morfológicos (los de menor escala, perceptibles a escala temporal humana) que generalmente inducen cambios en la configuración de las redes hidrográficas y su relación con las aguas subterráneas: ubicación y/o extensión de las zonas de recarga y descarga del acuífero, cuantía de ambos términos, trazado y caudales de los cauces, etc. (Manzano 2002).

El objetivo del trabajo fue estudiar la evolución del médano costero y los efectos sobre la recarga en el acuífero freático.

AREA DE ESTUDIO

Se ubica en la costa oriental de la Provincia de Buenos Aires, San Clemente del Tuyú, en el Partido de la Costa, provincia de Buenos Aires, (36° 22' Lat S, 56° 44' Long O) (Figura 1). El ambiente estudiado pertenece a la Región Costera (González 2005) en donde los ambientes geomorfológicos condicionan el comportamiento hidrodinámico e hidroquímico de las aguas subterráneas (Carretero y Kruse 2009). Esta región está constituida por médanos que conforman un cordón paralelo a la costa donde se acumulan lentes de agua dulce limitados hacia el Oeste por el agua salobre de la llanura continental y hacia el Este por el agua de mar. Las reservas de agua dulce son limitadas y restringidas a la franja de médanos costeros, estando directamente relacionadas con los procesos de infiltración de los excesos de las precipitaciones (Carretero 2011). La población actual es del orden de los 12.000 habitantes (INDEC 2001) que dependen en un 100% del acuífero costero para suplir la demanda del agua potable. El clima es húmedo; mesotermal (templado); con nula a pequeños déficit de agua, según la clasificación de Thornthwaite. La precipitación media anual está en el orden de 1.000 mm, donde el 60% ocurre de octubre a marzo. La temperatura media anual es de 14,5 °C, la humedad relativa promedio es del 85 %. La frecuencia de vientos es muy variable, aunque predomina la dirección este.

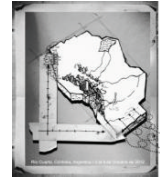
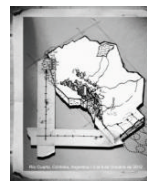


Figura 1. Ambientes geomorfológicos en el área de San Clemente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se efectuaron tareas de relevamiento e interpretación de rasgos geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos. A partir de la observación y análisis de las fotografías aéreas de 1958 del Servicio de Hidrografía Naval, 1984 del Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires e imagen satelital de 2005, de Digital Globe, Google Earth, se reconoció la evolución del médano a través del tiempo. Se delimitó la zona medanosa del ambiente de llanura deprimida. Posteriormente, se realizó un análisis de la evolución del médano, estableciéndose áreas en donde el cambio en la morfología del terreno es evidente, estudiándose la relación entre efectos naturales y avance de la urbanización en la zona costera. Mediante el uso de un SIG se han digitalizado las áreas correspondientes al médano fijo, médano activo y playa, se trazó el límite con la llanura deprimida y se calculó el área correspondiente en km². Para un análisis más detallado, se dividió el área de estudio en tres sectores: norte, central y sur. El sector central fue elegido para un análisis de mayor detalle, en donde se calcularon los valores de recarga y su variación a través del tiempo. Además se plantean tres casos de distribución de uso del suelo denominados Zona 1, Zona 2 y Zona 3 que se clasificaron de acuerdo a las posibilidades de infiltración. De acuerdo a la observación de las fotos aéreas y del recorrido de campo, en función del grado de urbanización, se calculó el área impermeabilizada en cada una de las zonas definidas, a lo cual se le asignó una infiltración de 0 mm. Por diferencia se estimó el



correspondiente porcentaje del área que sería apto para que se produzca la infiltración del agua de lluvia. En los sectores sin impermeabilizar, como consecuencia de las características morfológicas, de la inexistencia de una red de drenaje y de la alta permeabilidad de los sedimentos, el escurrimiento superficial tiende a cero y se considera que los excesos calculados mediante el balance hídrico recargan directamente al sistema subterráneo.

Se determinaron los excesos de agua efectuando balances hídricos mensuales de acuerdo a Thornthwaite y Mather (1955) y los valores de ET_0 (evapotranspiración de referencia) media diaria según el método de Penman-Monteith (Allen 1998). Los datos de precipitación corresponden a las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional Santa Teresita (1990–2007) y Dolores (1925–2006) que resultan representativos para el estudio climatológico de la región. Para confirmar la homogeneidad de los datos de lluvias a través del tiempo, se complementó el balance hídrico con datos de un pluviómetro ubicado en la localidad de San Clemente (2002–2011).

Se analizaron datos de los censos nacionales de población del INDEC (1960, 1980, 1991, 2001). Se estimaron 1.750 habitantes para 1958, 6.500 habitantes para 1984 y 12.000 para 2005. Se calculó el consumo de agua, considerando 200 L/d por persona (Planas *et al.* 2000).

RESULTADOS

Geomorfología

Se reconocen dos ambientes geomorfológicos, la llanura deprimida y el cordón medanoso costero (Figura 1). La llanura deprimida, en el sector norte, se encuentra abierta y comunicada al estuario del Río de La Plata en la Bahía de Samborombón. El drenaje se efectúa por el Arroyo San Clemente a través de canales de marea en los cuales se desarrollan cangrejales. En la zona de Punta Rasa puede observarse la desembocadura de los canales de marea, áreas inundables por la influencia mareal. En el sector sur, este ambiente se manifiesta mediante la presencia de bajos que a su vez resultan fácilmente inundables debido a las altas precipitaciones y al ascenso de los niveles freáticos.

En el cordón medanoso costero se ha incluido el médano propiamente dicho que se vincula hacia el Este con la playa. La zona de playa es rectilínea, tiene entre 50 y 150 m de ancho, con pendientes suaves hacia el Este, las arenas son finas a medias con presencia de fragmentos de valvas. Los médanos que se encuentran emplazados al Oeste de la playa que les da origen son bajos (superan levemente los 3 m s.n.m.) y fijados por escasa vegetación. Su granulometría es de arenas finas y presentan un decrecimiento general del tamaño de grano de sur a norte (Spalletti y Mazzoni 1979).

Este rasgo morfológico puede ser subdividido en médano fijo y médano activo. El médano activo, se localiza adyacente a la playa hacia el Oeste sobre la línea de costa y conserva su dinámica de transporte debido a los vientos provenientes del Este. Si bien se observa la presencia de vegetación, ésta es escasa tratándose en general de especies que se caracterizan por presentar extensos sistemas de raíces y tallos subterráneos, lo que ayuda a consolidar la arena del médano. En el sector sur la presencia de vegetación es aún menor (Figura 2).

El médano fijo se encuentra al Oeste del médano activo, y se observa una mayor presencia de vegetación que ha fijado el sustrato arenoso impidiendo su movilización. En ocasiones se trata de especies típicas de médano y en otras, introducidas por el hombre con propósitos recreacionales (plazas, campings, etc.) (Figura 3). La presencia de la urbanización extendida a lo largo de la localidad es otro factor que ha contribuido a la compactación de las arenas del médano tanto mediante la construcción de viviendas como al trazado de calles.

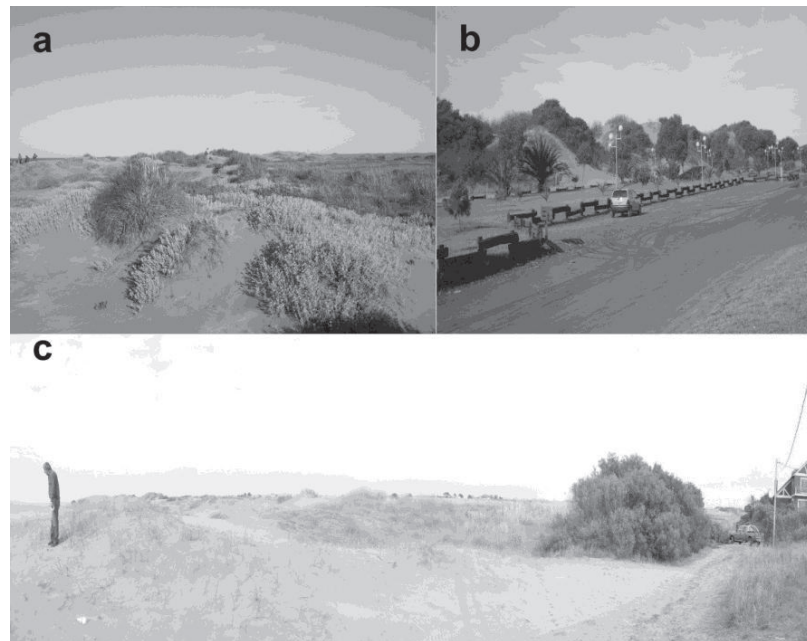
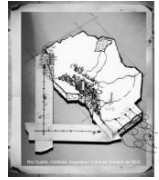
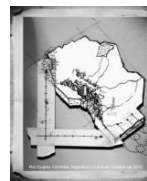


Figura 2. Médano activo, con escasa vegetación; a) sector en Punta Rasa, b) sector norte de la ciudad, c) sector sur.



Figura 3. Médano fijo, debido a la vegetación y la urbanización.



Evolución del médano costero

La evolución del médano fijo manifiesta un aumento de su superficie en detrimento del médano activo. En 1958, el 22% del médano activo se localizaba en el sector norte, el 23% en el sector central y el 41% en el sur. Para 1984 los valores disminuyen a 15, 8 y 35% para el norte, centro y sur respectivamente. Finalmente en 2005, el sector norte cuenta con el 18% del médano activo, el centro con el 7% y el sur con el 17% (Figura 4).

Las pérdidas de superficie del médano activo se convierten en un aumento en el área del médano fijo. La fijación no es meramente un proceso natural, sino que también está afectada por acción del hombre mediante el avance de la urbanización. Para el sector norte la mayor disminución se da entre 1958 y 1984 con un 6%. Esto se puede observar especialmente en el límite con el sector central donde comienza la urbanización (Figuras 5 y 7). Luego entre 1984 y 2005 el médano activo parece recuperarse levemente ya que aumenta en su superficie del 3%. Si se analizan los cambios acontecidos en los 47 años (1958-2005) la disminución es del 4% en total.

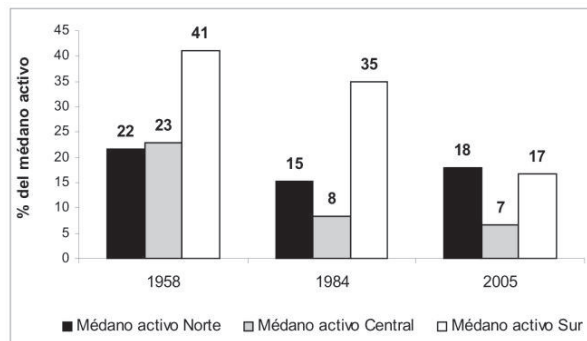


Figura 4. Porcentajes del médano activo distribuido por sectores.

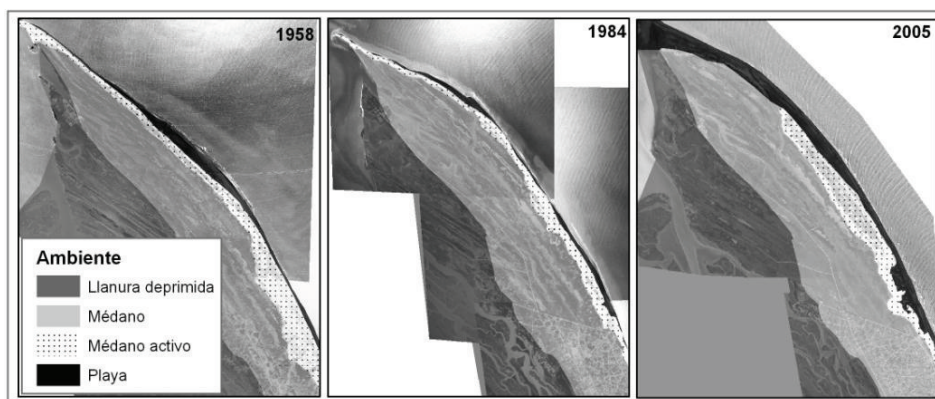
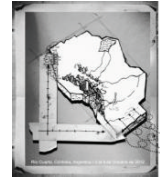


Figura 5. Morfología del sector norte a través del tiempo

En el sector central, existe pérdida de superficie del médano activo entre 1958 y 1984 con un 15%, resultando más del doble de lo acontecido en el norte. La variación entre 1984 y 2005 es casi imperceptible con una pérdida del 1% del área. La pérdida total entre 1958 y 2005 es del 16% de su superficie (Figuras 6 y 7).

Finalmente en el sector sur entre 1958 y 1984 se produce una pérdida del 6% del médano activo que pasa a conformar parte del médano fijo. Entre los años 1984 y 2005 este número es aún mayor resultando en un 18%. El total de médano activo perdido entre 1958 y 2005 es del 24% (Figuras 7 y 8). Los valores mencionados pueden observarse en la Figura 7 en donde se resumen los porcentajes de variación del médano activo a través del tiempo.

En el sector central es más que notorio el cambio que aconteció entre 1958 y 1984. En la primera fotografía resulta difícil reconocer las calles y las casas del trazado urbano entre el



médano, mientras que en 1984 la urbanización resulta ser el rasgo más destacado. Incluso el médano fijo ha sido notoriamente modificado de un periodo al otro, ya que en 1958 se observa como una superficie no tan compactada como parece ser 26 años más tarde. El sector más afectado es el sur, donde el médano activo ha perdido un cuarto de su superficie en 47 años. En la fotografía de 1958, e incluso en la de 1984 casi no se distinguen loteos o construcciones, pero entre 1984 y 2005 se ha producido una fuerte modificación en este paisaje. Hacia el límite con el sector central se observa un aumento en la densidad de las viviendas, y un tanto más al sur, un trazado de loteos para futuras edificaciones.

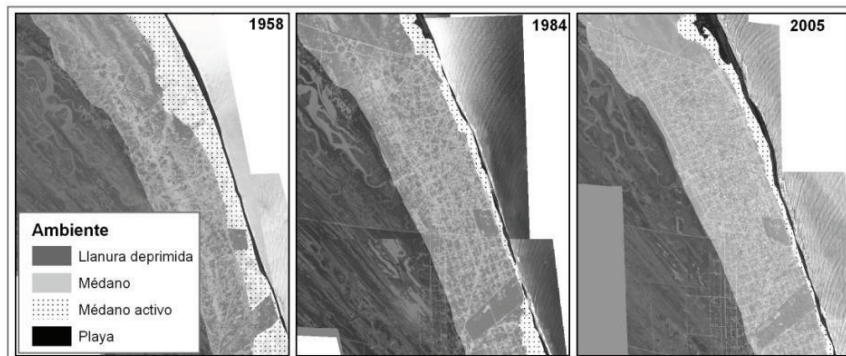


Figura 6. Morfología del sector central a través del tiempo.

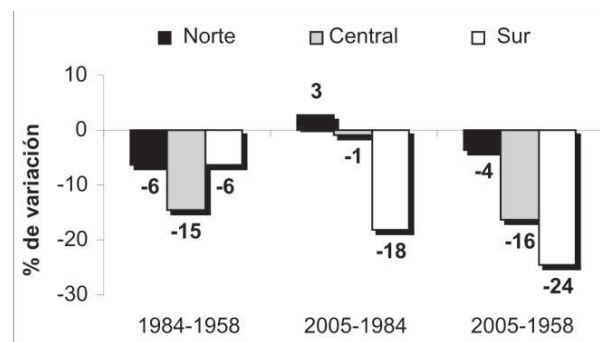


Figura 7. Porcentajes de variación del médano activo.

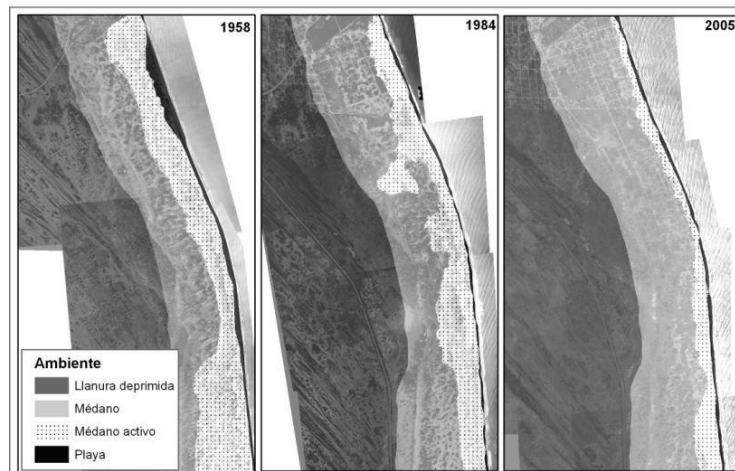
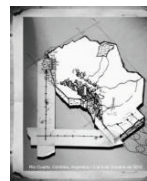


Figura 8. Morfología del sector sur a través del tiempo.



Variaciones en la recarga

Si bien el sector sur fue el más afectado en cuanto a cambios en la relación médano activo - médano fijo, fue el sector central el que presenta una fuerte modificación por presencia de urbanización. Por lo tanto se lo ha seleccionado para efectuar el análisis de la variación en la recarga. Además se plantean tres casos de distribución de uso del suelo, que se denominaron Zona 1, Zona 2 y Zona 3 a las que se asignó una capacidad de infiltración. En la Figura 9 se observa la evolución de estas Zonas para el sector central. Para la Zona 1 con suelo arenoso, escasa urbanización, espacios verdes y calles sin pavimentar, se considera un porcentaje de infiltración del 60% de los excesos de agua. La Zona 2 es el ambiente natural de médanos, con suelo arenoso, escasa vegetación e insignificante densidad de población, se asignó que el 100% de los excesos se transforman en recarga. En la Zona 3 se han incluido los sectores densamente urbanizados y las calles están pavimentadas, considerándose que solo el 20% de los excesos infiltra en pequeñas superficies y el resto conforma un escurrimiento superficial que descarga al mar.

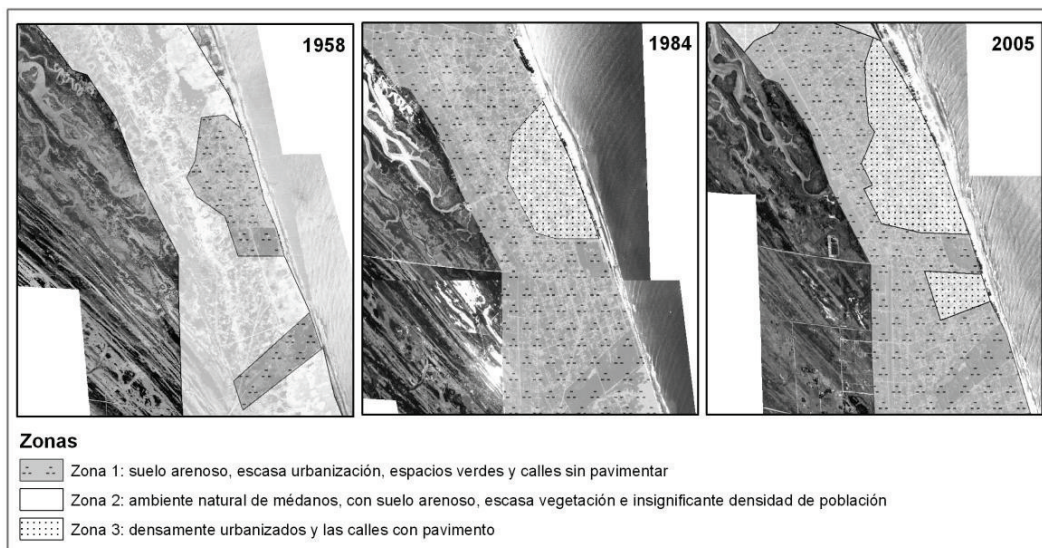


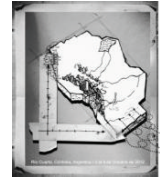
Figura 9. Evolución de las Zonas 1, 2 y 3 para el sector central.

La Zona 2 ha desaparecido entre 1958 y 1985, mientras que la Zona 1 ha ganado superficie. La Zona 3 no se registraba en 1958 y se observa en la imagen de 1984, incrementando su área en 2005. Los valores en área para cada año pueden observarse en la Tabla 1.

A partir de las áreas calculadas y de los porcentajes de posible infiltración asignados, se estimó para cada año y cada Zona, la posible área que sería afectada por infiltración (Tabla 1).

Tabla 1. Áreas calculadas para las Zonas 1,2 y 3 en el sector central y su correspondiente superficie apta para infiltración.

	Área (m ²)			% infiltración por zona	Área afectada por infiltración (m ²)		
	1958	1985	2005		1958	1985	2005
Zona 1	950000	4533633	4125532	0,6	570000	2720180	2475319
Zona 2	4800000	0	0	1	4800000	0	0
Zona 3	0	840000	1500000	0,2	0	168000	300000



A partir de los balances hídricos calculados (Tabla 2), se estimó un exceso promedio del orden de 430 mm/año que representan el 43% de las precipitaciones. De acuerdo a lo estimado, y a lo analizado en Carretero y Kruse (2010), se considera que las precipitaciones, como fuente de ingreso al sistema hídrico en sus términos medios se han mantenido y por lo tanto no jugarían un papel preponderante en variaciones significativas de la reservas de agua subterránea, debiéndose explicar la disminución en la recarga por otros factores diferentes al climático.

Tabla 2. Resultados de los balances hídricos efectuados para la región (valores en mm).

Localidad	Periodo	Pp.	Etp.	Etr.	Def.	Exc.
Dolores	1959-2006	948	690	520	170	427
Sta Teresita	1990-2007	995	684	525	159	468
San Clemente	2002-2011	881	626	468	229	413
Promedio		942	667	504	186	436

En función de las zonas establecidas con su correspondiente porcentaje de infiltración estimado y el valor medio de excesos del balance hídrico (430 mm/a) se estimó la recarga para cada año, al igual que el consumo respectivo a la cantidad de habitantes (Tabla 3). La recarga fue de 2,31 hm³ en 1958; 1,24 hm³ en 1984 y de 1,19 hm³ en 2005. El consumo estimado fue de 0,13; 0,47 y 0,88 hm³ para 1958, 1984 y 2005, respectivamente.

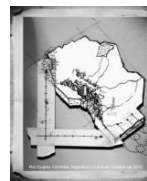
Tabla 3. Recarga y consumo estimados para los años 1958, 1984 y 2005.

Recarga (hm ³)	1958	1984	2005
Zona 1	0,25	1,17	1,06
Zona 3	0	0,07	0,13
Zona 2	2,06	0	0
Total	2,31	1,24	1,19
Consumo total habitantes	0,13	0,47	0,88

Se ha registrado una disminución de la recarga del 46% entre 1958 y 1984, mientras que en el periodo 1984-2005 fue del 4%. En los 47 años entre 1958 y 2005 se observó una reducción del 48% que se estima se pierde debido al escurrimiento superficial y la posterior descarga al mar. Contrariamente, el consumo ha mostrado un constante aumento, multiplicándose por 4 entre 1958 y 1984, y se duplicó entre 1984 y 2005. Para la totalidad del periodo estudiado (1958-2005) el consumo de agua se ha septuplicado (Tabla 4).

Tabla 4. Evolución de la recarga y consumo a través del tiempo.

		1958-1984	1984-2005	1958-2005
RECARGA (hm³)	disminución	1,07	0,05	1,12
	%	46	4	48
CONSUMO (hm³)	aumento	0,35	0,40	0,75
	factor	4	2	7



CONCLUSIONES

Las variaciones en la superficie del médano están directamente relacionadas con la urbanización y a su vez con el aumento de la población en el área. En el médano activo la infiltración de los excesos de agua a través de las arenas resulta de una mayor significación. Si esas arenas están más compactadas, presentan una mayor cantidad de vegetación o se encuentran cubiertas por superficies impermeables (médano fijo), el resultado es la suma de factores que interfieren con el proceso natural del ciclo hidrológico en una zona medanosa, disminuyendo las posibilidades de infiltración. Se ha comprobado que la impermeabilización de la superficie del terreno reduce la infiltración, incrementando y acelerando el escurrimiento superficial que es descargado, mediante desagües pluviales, hacia el mar, perdiéndose un volumen importante de agua que debería formar parte de la recarga.

El sector más afectado es el sur, donde el médano activo ha perdido un cuarto de su superficie en 47 años, en detrimento del médano fijo. Hacia el límite con el sector central se observa un aumento en la densidad de las viviendas, y más al sur, un trazado de loteos para futuras edificaciones.

El sector central es el que presenta la mayor modificación en la morfología, debido al desarrollo de la urbanización, lo cual resulta muy notorio entre 1958 y 1984. De acuerdo a la clasificación de uso de suelo realizada, la recarga estimada para los años analizados sufrió una disminución de casi el 50% en 47 años mientras que el consumo de agua aumentó 7 veces. Según se ha determinado, la disminución en la recarga no se debe a factores climáticos y serían responsables de este fenómeno la menor infiltración de las precipitaciones causadas por el aumento de las superficies impermeabilizadas. Este fenómeno sumado al incremento en la extracción de agua subterránea para consumo conduciría una reducción de las reservas.

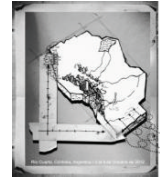
Estas tendencias proyectadas a futuro sumadas al aumento del nivel del mar pronosticado para la región advierten la necesidad de una planificación del uso del suelo y una explotación sustentable del agua subterránea.

En términos generales el sector norte es el que se ha mantenido más estable a lo largo del tiempo ya que el trazado de la ciudad no se ha extendido en esa dirección.

La importancia de este análisis reside en la estrecha relación que existe entre la modificación geomorfológica del médano debida al cambio en el uso del suelo y consecuentemente las posibilidades de infiltración.

REFERENCIAS

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D. y Martin Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Papers 56, Roma, p 300.
- Bellot, J., Bonet A., Peña J y Sánchez J. 2007. Human Impacts on Land Cover and Water Balances in a Coastal Mediterranean County. *Environmental Management* 39:412-422
- Carretero S., 2011. Comportamiento hidrológico de las dunas costeras en el sector nororiental de la provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- Disponible en http://sedici.unlp.edu.ar/search/request.php?id_document=ARG-UNLP-TPG-0000002075&request=request
- Carretero S. y Kruse E. 2009. Evaluación espacio-temporal de la calidad química del agua subterránea en el sector norte del Partido de la Costa, Provincia de Buenos Aires. XXII Congreso Nacional del Agua, Trelew, Chubut. Resumen p 47. Trabajo completo en CD, p 1-13
- Carretero S. y Kruse E. 2010. Modificaciones en las áreas de recarga del acuífero freático en los médanos costeros de San Clemente del Tuyú, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66 (4):466-474



- Carretero S. y Rapaglia J. 2011. An investigation of future saltwater intrusion into the coastal aquifer, Partido de la Costa, province of Buenos Aires. XVIII Congreso Geológico Argentino. Neuquén. Simposio S10E – Cambio climático y riesgos geoambientales: predicción, evaluación y mitigación: 368-369.
- Carretero S., Kruse E. y Forte Lay J.A. 2008. Efectos de la urbanización sobre la recarga en médanos costeros. IX Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Quito. Ecuador. Resumen p 58. Trabajo completo en CD, p 1-8
- González, N. 2005. Los ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires. En: R. de Barrio, R, Etcheverry, M, Caballé and E, Llambías (eds): Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, Buenos Aires, p. 359 – 374.
- Houlahan J. y Findlay C. 2004. Estimating the 'critical' distance at which adjacent land-use degrades wetland water and sediment quality. *Landscape Ecology* 19: 677–690.
- INDEC 1960, 1970, 1980, 1991, 2001. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas.
- Kim Y., Lee K., Koh D., Lee D., Lee S., Park W., Koh G., y Woo N. 2003. Hydrogeochemical and isotopic evidence of groundwater salinization in a coastal aquifer: a case study in Jeju volcanic island, Korea. *Journal of Hydrogeology* 270: 282-294
- Kim Y-Y. 2004. Analysis of hydrochemical processes controlling the urban groundwater system in Seoul area, Korea. *Geosciences Journal* 8 (3): 313-318.
- Krothe J. N., Garcia-Fresca B., y Sharp, Jr. J. M. 2002. Effects of Urbanization on Groundwater Systems. En: Bocanegra, E.; Martínez, D.; Massone, H. (Eds.) *Groundwater and Human Development*: 354-364.
- Manzano M. 2002. El papel de los acuíferos costeros en la gestión del medio natural. En: Bocanegra E., Martínez D. Massone, H. (Eds.). *Groundwater and human development*, p. 2017-2024.
- Park S-S, Kim S-O, Yun S-T, Chae G-T, Yu S-Y, Kim S. y Young K. 2005. Effects of land use on the spatial distribution of trace metals and volatile organic compounds in urban groundwater, Seoul, Korea. *Environmental Geology* 48: 1116–1131
- Planas A.C., Gaviño Novillo M., Mendiburo N., Calcagno A., Urbano Jáuregui L. 2000. Informe sobre la gestión del agua en la República Argentina, JVP Consultores, Buenos Aires, p 146.
- 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.
- Spalletti L.A. y Mazzoni M.M. 1979. Caracteres granulométricos de arenas de playa frontal, playa distal y médano litoral atlántico bonaerense. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 34 (1):12–30
- Wang X. 2001. Integrating water-quality management and land-use planning in a watershed context. *Journal of Environmental Management* 61: 25–36.
- Thornthwaite C. y Mather J. 1955. The water balance. *Climatology* 8:1–37
- Zuquette L., Pejon O. y Dos Santos Collares J. 2004. Land degradation assessment based on environmental geoindicators in the Fortaleza metropolitan region, state of Ceará, Brazil. *Environmental Geology* 45: 408–425