

# Análisis temporal de las modificaciones en los médanos del Partido de la Costa y su relación con los recursos hídricos

*Silvina Carretero<sup>1, 2</sup>, Federica Braga<sup>3</sup>, Eduardo Kruse<sup>1, 2</sup>, Luigi Tosi<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Cátedra de Hidrología General. Calle 64 n° 3. La Plata. Tel. 221-4249049 int. 14

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

<sup>3</sup> Istituto di Scienze Marine – Consiglio Nazionale delle Ricerche, Arsenale Tesa 104, Castello 2737/F, 30122 Venezia. Italia

Mail de contacto: scarretero@fcnym.unlp.edu.ar

---

## RESUMEN

Se analizan las modificaciones en las posibilidades de recarga del acuífero costero en el Partido de La Costa (Buenos Aires, Argentina) según los cambios en el uso del suelo entre 1973 y 2010. Se realizó un análisis multitemporal sobre imágenes satelitales Landsat diferenciando cuatro clases de uso del suelo. Se estimaron los balances hídricos y en función de los valores de infiltración y se evaluó la recarga para cada situación. Se reconoce un incremento importante de las áreas urbanizadas en casi cuatro décadas. En 1973 es difícil distinguir estructuras arquitectónicas mientras que en 2010 claramente se reconoce el desarrollo de ejidos urbanos asociados a la fijación de los médanos. Este desarrollo está acompañado por un importante crecimiento poblacional y aumento en la demanda de agua. El incremento de las superficies impermeables ha modificado las condiciones de la recarga y el volumen de las reservas de agua dulce disponibles.

Palabras clave: uso del suelo, reservas de agua dulce, modificaciones antropogénicas, Partido de La Costa.

---

## ABSTRACT

The modifications in the capabilities of the coastal aquifer recharge were analyzed for the Partido de La Costa (Buenos Aires, Argentina) according to the land-use change occurred over the last four decades. A multitemporal analysis of Landsat images (1973-2010) allowed recognizing four land-use classes. Their comparison pointed out an important development of urbanized areas at the expense of natural field dunes. In 1973 only few scattered architectonic structures were present while in 2010 an important development of urban areas associated with dunes fixation is noticed. The hydrologic budgets were calculated and, according to the values of infiltration, the recharge was evaluated for each situation. An important growth of population associated to the urban development has increased the water needs and consequently the groundwater demand. The expansion of impermeable areas has modified recharge conditions and the volume of available freshwater.

Keywords: land use, groundwater reserves, anthropogenic modifications, Partido de La Costa.

---

## Introducción

Los acuíferos costeros tienen características relevantes en relación a los espacios naturales litorales relacionados con ellos. Son medios de elevado dinamismo morfológico, especialmente las franjas costeras, donde se encuentran geoformas tales como cordones litorales, trenes de médanos activos, 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 desarrollo urbano puede cambiar la distribución de la recarga del agua subterránea. Esos cambios dependen de varios factores, como la densidad de la urbanización, las precipitaciones, la cantidad de agua importada de fuentes externas, etc. (Appleyard, 1995). El aumento del nivel del mar pronosticado a consecuencia del cambio climático es un

elemento que ha entrado en juego como factor de riesgo para los acuíferos costeros.

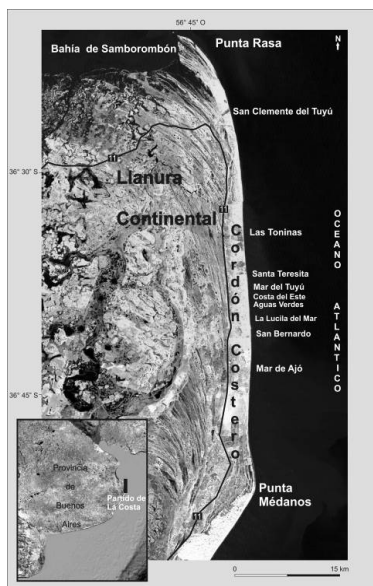
La costa oriental de la Provincia de Buenos Aires no es ajena a las características previamente mencionadas. Pousa et al. (2007) advierten que esta región resulta vulnerable a la erosión costera e intrusión salina especialmente relacionada a olas de tormenta de alta energía asociadas a fuertes vientos (sudestadas). Carretero et al., (2013a) han realizado proyecciones sobre la problemática de la intrusión salina. Desde mediados del siglo XXI esta región ha experimentado un fuerte incremento demográfico que condujo a un mayor requerimiento de suministro de agua dulce. Esto fue acompañado de un proceso de urbanización caótico y la expansión de actividades económicas, especialmente relacionadas con las numerosas localidades balnearias (Kruse et al., 2012).

No se han evaluado los cambios acontecidos en la cadena de médanos y su interacción con los recursos hídricos en el Partido de La Costa. Por lo que el objetivo de este trabajo fue analizar las variaciones en el uso del suelo entre 1973 y 2010 utilizando imágenes Landsat y evaluar las consecuentes modificaciones en las posibilidades de recarga del acuífero.

### Área de estudio

El partido de La Costa ( $36^{\circ}44' S$ ;  $56^{\circ}41' O$ ) es uno de los destinos turísticos más importantes del país. Se encuentra emplazado sobre un cordón medanoso que incrementa su altura de norte a sur, en el cual se distribuyen varias localidades, como San Clemente del Tuyú, Las Toninas, Santa Teresita, San Bernardo y Mar de Ajó. El partido cuenta con alrededor de 70.000 habitantes permanentes cuya mayoría se encuentra concentrada en el sector central (Figura 1). La población se incrementa notablemente durante el verano y se destaca que los habitantes dependen del acuífero costero para el suministro de agua.

La mayoría de las localidades no poseen servicio de agua potable y la población se abastece mediante pozos domiciliarios individuales, sin tratamiento del agua. Un pequeño porcentaje de los habitantes cuenta con suministro de agua de red en San Clemente, San Bernardo y Mar de Ajó. En cuanto a la red cloacal, existen cooperativas que aportan este servicio en las localidades más importantes. Se considera que no existen pérdidas significativas de la red de distribución de agua que alimenten a la capa freática debido a que se tratan en general de redes en buen estado que cuentan con menos de 20 años de funcionamiento. Lo mismo ocurre con el servicio cloacal.



**Figura 1.** Área de estudio. Ambientes geomorfológicos y localidades balnearias dentro del Partido de La Costa.

El clima se caracteriza por una estación seca que coincide con los meses fríos (abril-septiembre) y una húmeda que ocurre durante los meses cálidos (octubre-marzo). La precipitación media anual oscila entre los 900 y 1000 mm, el 60% se produce en los meses con mayor evapotranspiración potencial ocasionando una mayor recarga durante la estación seca (Carretero y Kruse, 2012a). Se reconocen dos ambientes geomorfológicos: cordón costero y llanura continental, que condicionan el comportamiento hidrodinámico e hidroquímico de las aguas subterráneas (Carretero et al., 2013b). El cordón costero se extiende por 60 km entre San Clemente del Tuyú, en el norte, y Punta Médanos, en el sur, con un ancho que varía entre 2 y 4 km. Los médanos son bajos y fijados por escasa vegetación. Los suelos del cordón costero son arenosos, sin desarrollo, excesivamente drenados e inestables. La llanura continental se desarrolla al oeste del cordón costero, con cotas inferiores a 5 msnm, predominando los materiales limosos y arcillosos con cañadones en dirección sudeste-noroeste que drenan hacia la Bahía de Samborombón.

El modelo hidrodinámico está influenciado por la geomorfología. 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. El acuífero principal de agua dulce está compuesto por arenas de médanos superpuestas a arenas de barrera de espesor variable entre 7 y 20 m según la altura del médano y está limitado por dos interfases, hacia el continente agua dulce-agua salobre y hacia el mar, agua dulce-agua salada. Esta unidad limita hacia abajo con una unidad acuitardo/acuícludo. Existe un sistema acuífero semiconfinado arenoso y con arenas limoarcillosas que contiene agua dulce en el sector de Punta Médanos. Esta unidad se apoya sobre el basamento hidrogeológico de arcillas plásticas (González Arzac et al, 1992).

### **Materiales y métodos**

Se realizó un análisis multitemporal sobre imágenes satelitales: Landsat MSS para 1973 con una resolución espacial de 60m y Landsat TM para 2010, con 30m de resolución, ambas obtenidas de USGS/EROS (Earth Resources Observation and Science, <http://glovis.usgs.gov>). Cada par de imágenes se compone de dos escenas del mes de febrero, para comparar apropiadamente los mapas sin introducir errores debido a la variación estacional. Las imágenes fueron corregidas radiométricamente de acuerdo a Chander et al. (2009), luego geométricamente y compuestas en mosaicos según datum WGS84 y proyección espacial UTM usando el software ENVI™(Exelis VIS). Se ha delimitado el área de estudio al Partido de La Costa utilizando la Ruta Nacional 11 como límite hacia el oeste y el mar hacia el este. Las capas de salida fueron reprocesadas manualmente en una herramienta SIG (Sistema de Información Geográfico) y en base a las imágenes y a reconocimientos de campo se determinaron cuatro clases que corresponden a los usos del suelo más destacables. Se calcularon las áreas y las variaciones en porcentaje para cada clase entre los años estudiados.

Se estimaron balances hidrológicos para la región según la metodología de Thornthwaite y Mather (1955) en base a los datos de precipitación de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) Dolores, Punta Indio, Santa Teresita y un pluviómetro instalado en San Clemente del Tuyú. Se utilizaron valores de  $ET_0$  (evapotranspiración de referencia) media diaria, estimadas según Penman-Monteith (Allen, 1998). Se adjudicó un valor de infiltración para cada tipo de uso del suelo definido y se evaluó la recarga para cada situación. Se consideró además, el incremento de la población estable según censos del INDEC para 1970, 2001 y 2010 y se estimó la demanda media anual de agua para

la región. En la región la actividad económica dominante es el turismo, no existen industrias, ganadería, agricultura u otras actividades importantes por lo que se considera que el uso del agua es casi exclusivamente para consumo humano.

### **Resultados**

El análisis de las imágenes satelitales resultó en una clasificación territorial de cuatro clases de uso del suelo: médano móvil, semi-fijo, fijo y áreas urbanizadas (Figura 2). En los primeros tres se preserva el sustrato arenoso cubierto por diferentes porcentajes de vegetación.

El médano móvil 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 muy escasa y no presenta signos de urbanización.

Algo más alejado de la costa se encuentra el médano semi-fijo que presenta un porcentaje más elevado de vegetación, la cual es capaz de retener la arena. En algunos sectores, si bien la vegetación no es tan abundante, el fenómeno de fijación se produce debido a la compactación de la arena, tal como sucede en los caminos y calles. El porcentaje de viviendas o rasgos de urbanización son mínimos.

El área clasificada como médano fijo se localiza más hacia el continente y está cubierto por abundante vegetación. Al igual que el médano semi-fijo, los signos de alteración antropogénica son mínimos.

Por último se definió la clase que comprende a los sitios urbanizados en donde no se observan las características naturales del médano. Es el sector que se encuentra más modificado en relación al ambiente natural, se compone de edificaciones y, en algunos sectores, calles pavimentadas que representan superficies impermeables.

### **Evolución del uso del suelo**

Se analizaron los cambios que se produjeron en el médano y se calcularon las áreas afectadas por dichos cambios. Estas variaciones se estudiaron en dos escalas: regional abarcando la totalidad del partido, y local, enfatizando los sectores con mayor urbanización.

En la Figura 2 se presentan las imágenes satelitales y la distribución de uso del suelo. Se observa una situación inicial (1973) en la cual es difícil distinguir estructuras

arquitectónicas y la situación actual (2010) donde claramente se reconoce el desarrollo de ejidos urbanos. Se ve notablemente reducido el médano móvil, que ha sido sustituido por el emplazamiento de las ciudades ubicadas en una posición preferencial frente al mar. El médano fijo ha reemplazado al semi-fijo en pequeños sectores. Se destaca que en Punta Médanos no se han producido cambios considerables. Se observa un leve avance del médano fijo (vegetación) sobre el médano móvil, interdigitado por sectores con médano semi-fijo, lo cual forma parte del proceso natural de evolución del cordón medanoso. A escala regional no hay rasgos que indiquen intervención antropogénica en el sur del partido.

Se ha estimado que el médano móvil se redujo un 36% entre 1973 y 2010, el médano semi-fijo disminuyó un 10%, mientras que el médano fijo se incrementó el 7%. El sector urbanizado aumentó su superficie en un 241%. (Figura 3)

En cuanto al análisis a escala local se seleccionaron tres sectores que incluyen: San Clemente del Tuyú (zona norte), las localidades entre Las Toninas y Mar del Tuyú (zona central), y aquellas que comprenden el aglomerado urbano San Bernardo-Mar de Ajó (zona sur).

En la Figura 4 se observa que el sector urbanizado de San Clemente se ha extendido notablemente, siendo el aumento del área del 564%. El médano móvil se redujo un 59%, el semi-fijo un 33% y el fijo se incrementó en un 4% (Tabla 1).

Para el sector Las Toninas-Mar del Tuyú, la reducción del médano móvil es superior al del sector norte, alcanzando el 83%, mientras que el médano semi-fijo se redujo un 42%. El médano fijo se incrementó un 5%, y la urbanización creció en un 195% (Tabla 1). En la Figura 5 se observa que actualmente no existen zonas con médano móvil y que la mayor parte del médano semi-fijo fue reemplazada por lo urbano. El sector sur presentaba en 1973 unos 9 km<sup>2</sup> de médano móvil que se vio reducido a 1,4 km<sup>2</sup> para 2010, lo cual representa el mayor porcentaje de médano móvil perdido en todo el Partido de La Costa (85%) (Tabla 1). En el mapa (Figura 6) se observa el área de médano móvil que fue reemplazada por urbanización en Mar de Ajó y Nueva Atlantis. La Lucila y Costa Azul prácticamente no existían 37 años antes, y en la actualidad se observa una urbanización importante. En cuanto al médano semi-fijo, se redujo en un 17% y el fijo se incrementó el 27%, lo cual se observa claramente en la imagen.

Si se consideran los cambios en la totalidad de las zonas seleccionadas se estima que el médano móvil se redujo en un 79% y el semi-fijo en un 30%. El médano fijo se incrementó el 10% y el sector con urbanización se expandió en más del 250%.

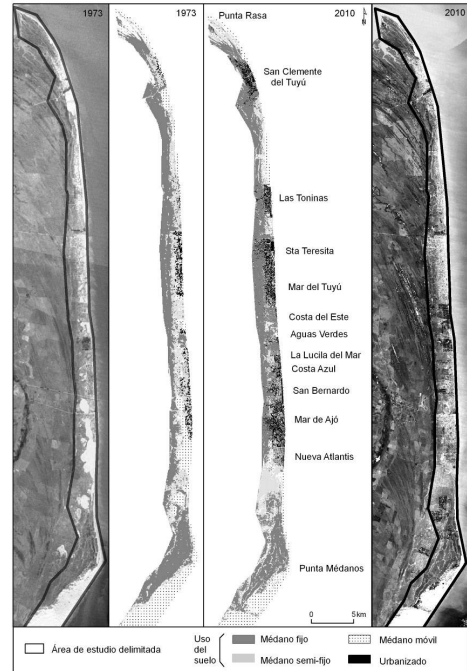


Figura 2. Imágenes Landsat y mapas de uso del suelo (1973-2010).

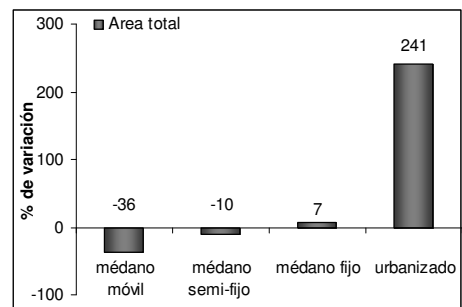
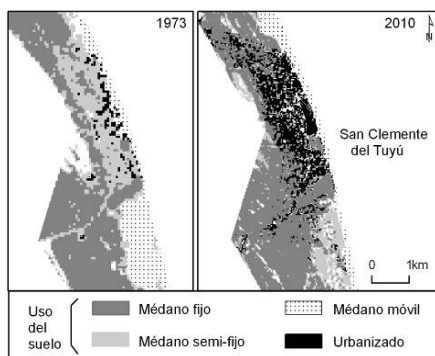


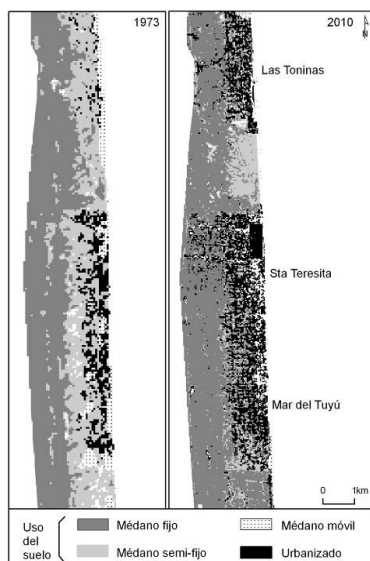
Figura 3. Porcentajes de variación en las áreas según uso del suelo en la totalidad del Partido de La Costa.

**Tabla 1.** <sup>(1)</sup> Porcentaje de variación de las áreas

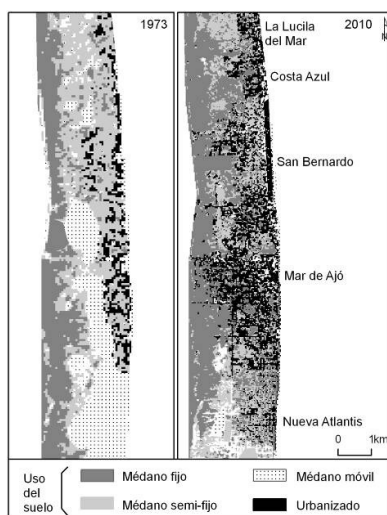
Áreas en (km <sup>2</sup> )	médano móvil			médano semi-fijo			médano fijo			urbanizado		
	1973	2010	% <sup>(1)</sup>	1973	2010	% <sup>(1)</sup>	1973	2010	% <sup>(1)</sup>	1973	2010	% <sup>(1)</sup>
San Clemente	3,1	1,2	-59	4,4	3,0	-33	9,0	9,4	4	0,5	3,4	564
Las Toninas-Mar del Tuyú	2,7	0,5	-83	13,2	7,7	-42	20,1	21,2	5	3,4	10,1	195
San Bernardo-Mar de Ajó	9,0	1,4	-85	12,3	10,3	-17	9,3	11,7	27	2,5	9,7	286
Total	14,7	3,1	<b>-79</b>	29,9	20,9	<b>-30</b>	38,4	42,3	<b>10</b>	6,5	23,2	<b>259</b>



**Figura 4.** Mapa de uso del suelo para el sector norte



**Figura 5.** Mapa de uso del suelo para el sector central



**Figura 6.** Mapa de uso del suelo para el sector sur

### Modificación en la recarga

En función del análisis de las superficies impermeabilizadas en cada una de las clases de uso del suelo y de acuerdo al conocimiento de las características geomorfológicas, se definió un porcentaje de infiltración para cada clase. Para ello se tomó como base las experiencias realizadas en el sector norte del Partido (Carretero, 2011; Carretero y Kruse, 2012b). Se definió que en el médano móvil la infiltración de los excesos de agua se produce en un 100% de su superficie, en el médano semi-fijo en el 80%, mientras que el médano fijo se reduce al 70%. Para el sector urbanizado solo el 15% de los excesos (Planas et al., 2000) infiltra en pequeñas superficies y el resto conforma un escurrimiento superficial que descarga al mar. Los balances hídricos (Tabla 2) y Carretero y

Kruse (2010) muestran que no hay una variabilidad climática manifiesta, reconociéndose una precipitación media anual de 968 mm y excesos de agua de 444 mm, los cuales, mediante infiltración, constituyen la única recarga del sistema hídrico subterráneo.

**Tabla 2.** Balance hídrico medio. Los valores están expresados en mm/año.

Estación	Periodo	Pp.	ETP	ETR	Exc
Punta Indio	1925-2008	965	747	523	441
Dolores	1959-2008	944	690	519	424
Santa Teresita	1990-2007	995	684	525	468
San Clemente	2003-2012	911	698	472	436
Promedio		<b>968</b>	<b>707</b>	<b>522</b>	<b>444</b>

**Tabla 3.** Volumen infiltrado y variaciones por aglomerados urbanos.

		volumen infiltrado(hm <sup>3</sup> )		variación %
		1973	2010	2010-1973
San Clemente	médano móvil	1,4	0,6	<b>-59,3</b>
	médano semi-fijo	1,6	1,0	<b>-32,9</b>
	médano fijo	2,8	2,9	4,1
	urbanizado	0,03	0,2	564
	<b>Total</b>	5,8	4,7	<b>-17,5</b>
Las Toninas-Mar del Tuyú	médano móvil	1,2	0,2	<b>-82,7</b>
	médano semi-fijo	4,7	2,7	<b>-42,2</b>
	médano fijo	6,2	6,6	5,4
	urbanizado	0,2	0,7	195
	<b>Total</b>	12,4	10,2	<b>-17,6</b>
Mar de Ajó - San Bernardo	médano móvil	4,0	0,6	<b>-84,5</b>
	médano semi-fijo	4,4	3,6	<b>-16,7</b>
	médano fijo	2,9	3,6	26,9
	urbanizado	0,2	0,6	286
	<b>Total</b>	11,4	8,6	<b>-25,0</b>

En función de las áreas calculadas para cada uso de suelo y el porcentaje de infiltración asignado, se estimó el volumen de agua teórico de recarga al acuífero y las variaciones entre 1973 y 2010 (Tabla 3).

**Tabla 4.** Población por localidades. No se incluye a la población rural. <sup>(1)</sup>Santa Teresita, Mar del Tuyú, Costa del Este <sup>(2)</sup> Aglomerado que incluye Mar de Ajó, Nueva Atlantis, San Bernardo, La Lucila del Mar y Aguas Verdes

	Población		Factor de incremento	Demanda (hm <sup>3</sup> )	
	1970	2010	1970-2010	1970	2010
San Clemente	3425	13071	<b>4</b>	0,3	1,0
Las Toninas	837	4083	<b>5</b>	0,1	0,3
Santa Teresita <sup>(1)</sup>	3425	22943	<b>7</b>	0,3	1,7
Mar de Ajó - San Bernardo <sup>(2)</sup>	3461	28146	<b>8</b>	0,3	2,1
Total	11148	68242	<b>6</b>	0,8	5,0

Para el Partido de La Costa se estima que en 1973 la recarga alcanzaba los 65 hm<sup>3</sup> y para 2010 se vería reducida a 58 hm<sup>3</sup> resultando en una disminución de la recarga del 10%. Por otro lado si se analizan los sectores que incluyen a los aglomerados urbanos, la reducción alcanza al 17,5% para San Clemente del Tuyú y Las Toninas-Mar del Tuyú, mientras que para San Bernardo-Mar de Ajó la pérdida de volumen de agua potencialmente recargada alcanza al 25%. Como se observa en la Tabla 3 la mayor reducción se da en los sectores de médano móvil y semi-fijo.

El incremento poblacional es la causa del aumento de las áreas urbanizadas, que constituyen sectores con un alto porcentaje de superficies impermeables y como se observó, es responsable de la reducción en la recarga. Asociado al crecimiento de las ciudades está la necesidad de abastecimiento de agua. Se analizaron las estadísticas de INDEC de los años 1970 y 2001 por localidades. Para el censo 2010 este dato todavía no ha sido publicado pero el valor proporcionado por partidos indica para La Costa un aumento del 15% para 2010.

Se multiplicó por este factor la población de 2001 por partidos y considerando 200 litros de agua como consumo medio diario, se estimó el volumen necesario para abastecer a los habitantes permanentes. En esta oportunidad no se contempló el incremento por la actividad turística en los meses de verano.

Se produjo un incremento poblacional y de consumo en un factor de 6 para la totalidad del partido, mientras que para algunas localidades, como Santa Teresita y el aglomerado Mar de Ajó – San Bernardo, este valor es de 8 veces (Tabla 4).

## Discusión

Los resultados obtenidos se basan en la interpretación de imágenes satelitales Landsat las cuales presentan una resolución de 30 y 60 m. Utilizando esta metodología para el Partido de La Costa se estimó un 10% de reducción en la infiltración de las precipitaciones. Si se consideran solo los aglomerados urbanos estos valores aumentan al 18 y 25%. Se han realizado estudios previos (Carretero y Kruse, 2012b) en algunas localidades del partido utilizando fotografías aéreas a escala 1:20000 para los años 1958 y 1984 e imágenes actuales de Digital Globe Google Earth de alta resolución. En este caso se efectuó un análisis más detallado de uso del suelo y se delimitaron las clases con más precisión. Los resultados estiman una reducción en la recarga en la zona de San Clemente del Tuyú del 47% entre 1958 y 2006. Por otro lado, utilizando datos de mediciones de la capa freática solo en el sector fuertemente urbanizado, entre 1987 y 2006 se determinó una disminución del 21%. El mismo análisis para Las Toninas y Santa Teresita, entre 1987 y 2012 dio una reducción del 30% (Carretero et al., 2013c). Estos valores de reducción en la recarga para las localidades en donde se cuenta con redes de flujo pueden ser extrapolados al resto del Partido de La Costa. Si bien la diversidad de resultados obtenidos se debe a diferentes escalas de trabajo, debe indicarse que están acordes con los problemas que se detectan en términos prácticos en el abastecimiento de agua potable. Una gran parte de la población carece de este servicio público esencial, se detectan problemas de agotamiento en las perforaciones y deterioro en la calidad química del agua subterránea (Carretero et al., 2013c).

El estudio mediante imágenes satelitales es una buena aproximación cuando no se cuenta con redes de monitoreo integrales, tal como ocurre en el caso de estudio. En sectores en donde se han instalado las redes de control es posible una cuantificación con mayor precisión

## Conclusiones

El uso de imágenes Landsat ha permitido reconocer cuatro clases de uso de suelo y su evolución entre los años 1973 y 2010. Se produjo un incremento importante de las áreas urbanizadas en los 37 años donde se pasa de una situación inicial (1973) en la cual es difícil

distinguir estructuras arquitectónicas a una actual (2010) donde claramente se reconocen el desarrollo de ejidos urbanos asociados a la fijación de los médanos. Este desarrollo está acompañado por un importante crecimiento poblacional que pasó de 12.000 habitantes estables en 1973 a 70.000 habitantes en la actualidad.

Es notoria la reducción del médano móvil que ha sido sustituido por el emplazamiento de las ciudades situadas frente al mar. Esta ubicación se debe a un factor asociado al atractivo turístico de la playa, pero también a la mejor calidad del agua subterránea que se presenta desde la zona de divisoria hacia el este. El médano fijo ha reemplazado al semi-fijo en pequeños sectores. En la zona de Punta Médanos no se observan cambios de gran magnitud y se preserva la mayor área de médano móvil, lo cual es de importancia ya que constituye el mayor reservorio de agua dulce de esta región.

Según la metodología aplicada, en el Partido de La Costa la recarga de agua dulce habrían reducido su volumen en un 10%. Analizando el partido según sus aglomerados urbanos principales, la reducción de la recarga fue del orden del 18% para San Clemente y Las Toninas-Mar del Tuyú mientras que para San Bernardo-Mar de Ajó fue del 25%.

La cantidad de habitantes y consecuentemente la demanda de agua dulce se multiplicó por 6 dentro del partido. En localidades como San Clemente y Las Toninas el aumento se dio en un factor de 4 y 5 respectivamente, mientras que para Santa Teresita, y el sector San Bernardo-Mar de Ajó fue de 7 y 8.

El avance de la urbanización conlleva a una reducción de las áreas naturales y las alteraciones en la morfología del médano conducen a cambios en la configuración de la red de flujo subterráneo.

Es necesaria la instalación de una red de monitoreo en la totalidad del Partido de La Costa para poder cuantificar en detalle la reducción de las reservas. Es imprescindible la instauración de un plan de ordenamiento territorial que proteja las áreas no afectadas por la urbanización, tal como Punta Médanos, en donde las condiciones naturales se han preservado, así como sectores naturales entre las localidades que pueden servir de reservorio para abastecimiento futuro a las poblaciones.

## Agradecimientos

Este trabajo fue desarrollado bajo el convenio de cooperación entre CONICET (Argentina) y CNR (Italia), Programa 2013-2014.

## Referencias

- Appleyard S. 1995. The impact of urban development on recharge and groundwater quality in a coastal aquifer near Perth, Western Australia. *Hydrogeology Journal* 3 (2): 65-75
- 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
- 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, La Plata. Argentina. Disponible en [http://sedici.unlp.edu.ar/search/request.php?id\\_document=ARG-UNLP-TPG-0000002075&request=request](http://sedici.unlp.edu.ar/search/request.php?id_document=ARG-UNLP-TPG-0000002075&request=request)
- 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 Kruse E. 2012a. Relationship between precipitation and water-table fluctuation in a coastal dune aquifer: northeastern coast of the Buenos Aires province, Argentina. *Hydrogeology Journal* 20: 1613-1621.
- Carretero, S. y Kruse E. 2012b. Evolución del médano costero y efectos sobre la recarga en el acuífero freático en San Clemente del Tuyú. En: Ollier C. et al. (Editor) Degiovanni y Andreazzinni (compiladores). V Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. ISBN 978-987-688-012-1. UniRío editora. Río IV. Córdoba. pp 105-115.
- Carretero S., Rapaglia J., Bokuniewicz H. y Kruse E. 2013a. Impact of sea level rise on saltwater intrusion length into the coastal aquifer, Partido de La Costa, Argentina. *Continental Shelf Research*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2013.04.029>
- Carretero S., Dapeña C. y Kruse E. 2013b. Hydrogeochemical and isotopic characterisation of groundwater in a sand-dune phreatic aquifer on the northeastern coast of the province of Buenos Aires. *Isotopes in Environmental & Health Studies*. DOI: 10.1080/10256016.2013.776557
- Carretero S., Kruse E. y Rojo A. 2013c. Condiciones hidrogeológicas en Las Toninas y Santa Teresita, Partido de La Costa. VIII Congreso Argentino de Hidrogeología y del VI Seminario Latinoamericano. La Plata.
- Chander G., Markham B.L. y Helder D.L., 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment* 113, 893-903.
- González Arzac, R., Vizcaíno A. y Francisco Campos A. 1992. Acuíferos costeros de la provincia de Buenos Aires; sector Punta Rasa - Punta Médanos, parte I, Hidrogeología, hidrodinámica e hidráulica. Buenos Aires; CFI; (Serie investigaciones aplicadas, 4) 36 p.
- INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas [en línea]. Buenos Aires, INDEC, 1970, 2001, 2010 [citado el 15 de febrero de 2013]. Disponible en: <http://www.indec.gov.ar>
- Kruse E., Carretero S., Pousa J. y Guaraglia D. 2012. Critical Problems for the Fresh Water Supply to Summer Resorts on the Eastern Coast of the Buenos Aires Province, Argentina. En: Angelo E. Rossi y Lola S. Miranda (Eds) Argentina: Environmental, Geographical and Cultural Issues, ISBN 978-1-62081-319-5. Nova Science Publishers. Hauppauge, New York, USA pp 105-120.
- 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*, Mar del Plata, ALSHUD, pp. 2017-2024.
- Planas A.C., Gavíño Novillo M., Mendiburo N., Calcagno A., y Urbano Jáuregui L. 2000. Informe sobre la gestión del agua en la República Argentina. Buenos Aires, JVP Consultores, pp. 146.
- Pousa, J., Tosi, L., Kruse E., Guaraglia, D., Bonardi, M., Rizzetto, F. y Schnack, E. 2007. Coastal Processes and environmental hazards: The Buenos Aires (Argentina) and Venetian (Italy) Littorals. *Environmental Geology*, v.51, p.1307-1316.
- Thorntwaite C. y Mather J. 1955. The water balance. *Climatology* 8:1-37