



## 17. CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS EN LA PLANICIE COSTERA DEL RÍO DE LA PLATA SUPERIOR: IMPLICANCIA EN LA RELACIÓN AGUA SUPERFICIAL - AGUA SUBTERRÁNEA

Melo, Marisol<sup>1</sup>, Eleonora Carol<sup>1</sup> y Eduardo Kruse<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Calle 60 y 122, (1900) La Plata, Argentina. mariselmelo@fcnym.unlp.edu.ar

### RESUMEN

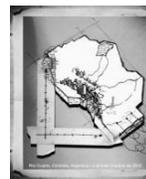
El desarrollo socioeconómico de una planicie costera produce modificaciones en las condiciones geomorfológicas e hidrológicas naturales. La planicie costera del Río de la Plata superior se sitúa en el noreste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Su ubicación estratégica próxima a la capital del país dio lugar en las últimas décadas a un rápido desarrollo urbanístico e industrial. El objetivo del trabajo fue analizar cómo los cambios geomorfológicos ocurridos en la línea de costa, producto del desarrollo socioeconómico, modifican la relación agua superficial – agua subterránea. Para ello se tomó como caso de estudio un sector de la planicie costera comprendido en los Partidos de Tigre, San Fernando y San Isidro. En base al análisis de cartas topográficas, fotografías aéreas e imágenes satelitales se realizó un estudio detallado de la variación en la morfología de la línea de costa. En condiciones naturales el acuífero freático descarga en el Río de la Plata modificándose localmente el flujo cuando el nivel del río supera el nivel de descarga subterránea. Las modificaciones antrópicas, como la elevación en la cota del terreno o la creación de muelles, amarraderos y vías de acceso náuticas, alteran la relación natural que existe entre los flujos de agua superficial y subterránea. El estudio realizado revela cómo los cambios en la geomorfología pueden afectar la hidrodinámica natural del sistema, la cual debe ser considerada al momento de urbanizar las planicies costeras, para así lograr un manejo sustentable del recurso hídrico.

**Palabras clave:** hidrogeomorfología, hidrodinámica, planicie costera

### ABSTRACT

The socioeconomic development of the coastal plain produces changes in the geomorphological and natural hydrological conditions. The coastal plain of the upper Rio de la Plata is located in the northeastern of the province of Buenos Aires, Argentina. Its proximity to the capital city in recent decades led to rapid urban and industrial development. The aim of this study was to analyze how geomorphological changes occurred in the coastline as a consequence of socioeconomic development, have affected the surface water - groundwater relationship. This was taken as a case study of the coastal plain area includes Tigre, San Fernando and San Isidro towns. Based on the topographic maps, aerial photographs and satellite images analysis a detailed study of the morphology variation of the coastline was made. Under natural conditions the unconfined aquifer discharges into the Rio de la Plata, modifying locally the flow when the river level exceeds the groundwater discharge level. Anthropogenic alterations such as ground level increases and docks, moorings and nautical accesses roads building alter the natural relationship between surface water and groundwater. The study shows how changes in the geomorphology can affect the natural hydrodynamic system, which must be considered in the urbanization planning instances of the coastal plain to achieve sustainable management of water resources.

**Keywords:** hidrogeomorfology, hydrodynamic, coastal plain



## INTRODUCCIÓN

Las planicies costeras son ambientes hidrológicamente dinámicos en donde existe una fuerte interrelación entre los flujos de agua superficiales y subterráneos. El área de influencia en que flujos superficiales y subterráneos interactúan depende principalmente de la morfología de la costa y las características hidráulicas de los sedimentos (Montalto *et al.* 2006, Carol *et al.* 2011).

El desarrollo socioeconómico de estas planicies trae aparejado la realización de distintas obras de ingeniería tendientes principalmente a elevar la cota del terreno para evitar anegamientos y crear vías de acceso fluvial para la navegación. Esto genera modificaciones de las condiciones hidrológicas naturales afectando el intercambio espacio-temporal de agua entre el río y el acuífero y con ello el potencial redox, la salinidad, la dinámica de nutrientes, etc. (Iggly Litaor *et al.* 2008).

En la Provincia de Buenos Aires, los eventos transgresivos y regresivos ocurridos en el Pleistoceno superior - Holoceno propiciaron la formación de planicies costeras (Violante *et al.* 2000, Cavallotto *et al.* 2005). La planicie costera del Río de la Plata superior se sitúa en el Noreste de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Fig. 1). Su ubicación estratégica próxima a la capital del país dio lugar en las últimas décadas a un rápido desarrollo urbanístico e industrial. El objetivo del trabajo fue analizar cómo los cambios geomorfológicos ocurridos en un sector de la línea de costa de dicha planicie, producto del desarrollo socioeconómico, modifican la hidrodinámica de la relación agua superficial – agua subterránea. Para ello se tomó como caso de estudio un sector de la planicie costera comprendida en los Partidos de Tigre, San Fernando y San Isidro (Provincia de Buenos Aires, Fig. 1).

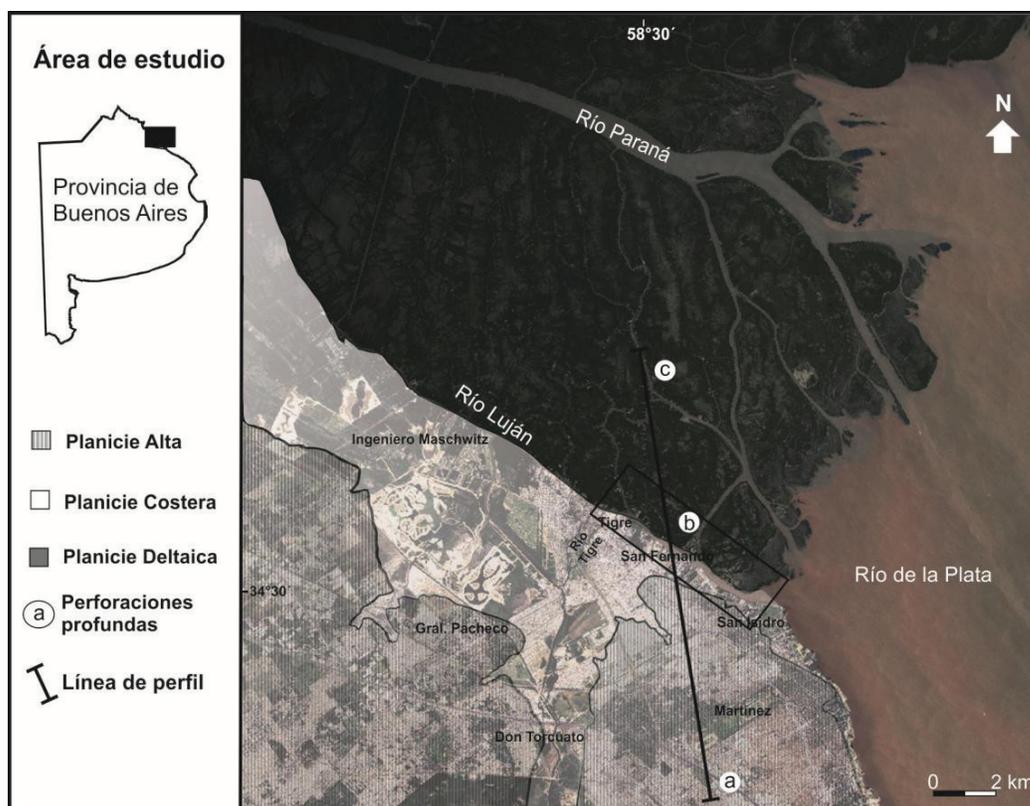
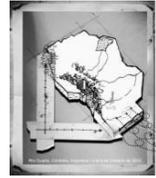


Figura 1. Ubicación del área de estudio (indicada en recuadro de trazo negra) y geomorfología regional.



## MATERIALES Y METODOS

Se realizó un análisis de la variación temporal de la morfología en la línea de costa con el fin de identificar las modificaciones en la relación agua superficial - agua subterránea en la planicie costera.

Para ello se analizó la carta topográfica de San Fernando a escala 1:50.000 relevada en 1939, fotografías aéreas a escala 1:20.000 de 1975 e imágenes satelitales de escala 1:10.000 de 2010. En base a la carta topográfica se identificaron y diferenciaron las principales unidades geomorfológicas a nivel regional y se definió la morfología y longitud de la línea de costa natural. Las fotografías e imágenes fueron geo-referenciadas generándose un mosaico del área de estudio. Ello permitió la digitalización de la línea de costa y el mapeo de las variaciones de las áreas modificadas por relleno del terreno para urbanización y las naturales, las cuales fueron verificadas mediante relevamientos de campo. Toda esta información fue integrada en el sistema de información geográfica (ArcGIS).

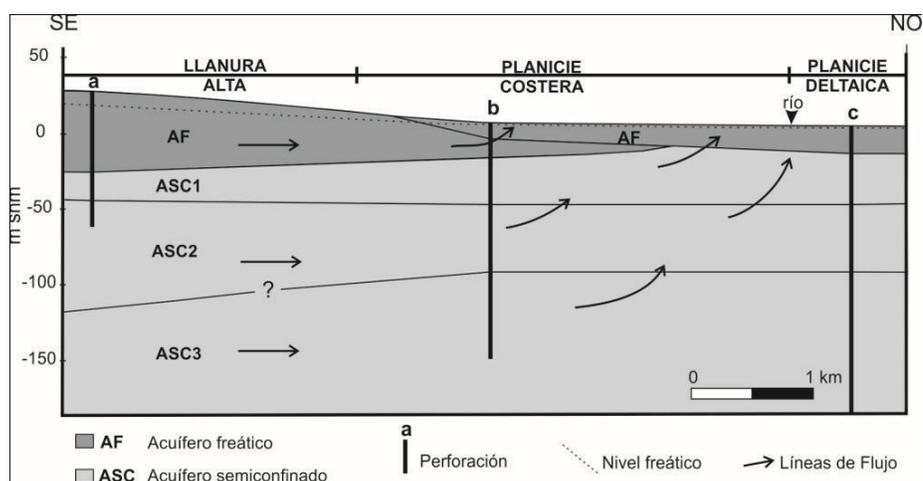
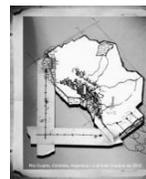
Las características geohidrodinámicas se obtuvieron a partir de datos de perfiles de perforaciones profundas, información antecedente (EASNE 1972, Santa Cruz 1994) y datos de niveles del acuífero freático y semiconfinado. Con esta información se confeccionaron perfiles hidrogeológicos que permitieron definir los flujos de agua subterráneo y superficial a escala regional y local en el área de planicie costera.

## RESULTADOS

### Características hidrogeomorfológicas regionales

La planicie costera del Río de la Plata superior se desarrolla sobre la margen derecha de los ríos Paraná y de la Plata como una franja de ancho irregular paralela a la línea de costa entre las cotas de 0 y 5 m snm. Es un área de relieve muy plano con una pendiente regional casi nula, del orden de  $10^{-4}$  en condiciones naturales. Está constituida por sedimentos areno limosos a limo arcillosos de origen marino y estuárico-fluvial. Hacia el SO limita con la llanura alta que se extiende entre las cotas de 5 y 30 m snm y está compuesta por sedimentos limosos de origen eólico (loess). Hacia el NE, en la margen izquierda del río Paraná inferior se encuentra la planicie deltaica formada por sedimentos areno limosos (Fig. 1).

Desde el punto de vista hidrogeológico regional, la planicie costera, es un área de descarga de flujos locales y regionales procedentes del acuífero freático de la llanura alta y de los acuíferos subyacentes respectivamente (Fig. 2). En las perforaciones analizadas los niveles piezométricos de los acuíferos semiconfinados son positivos con respecto al nivel freático verificando la descarga subterránea regional en la planicie costera.

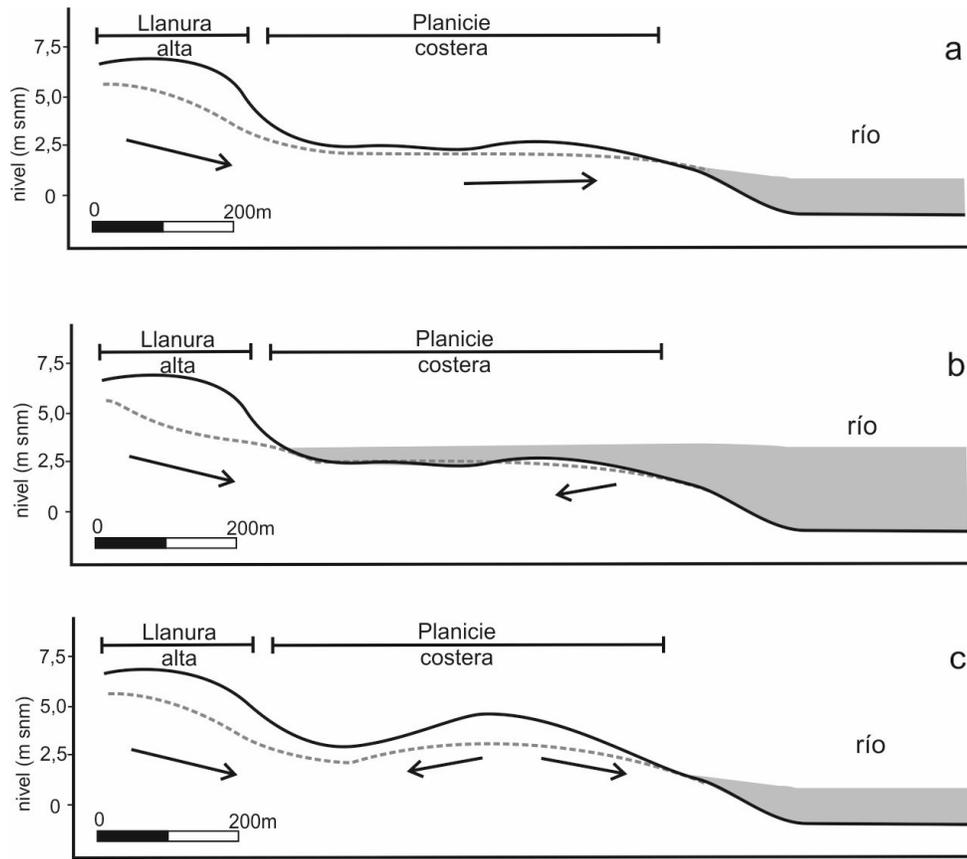
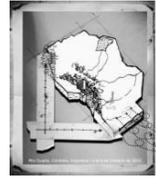


**Figura 2.** Perfil hidrogeológico mostrando los flujos de agua subterránea regionales y locales. La ubicación del perfil y perforaciones se indican en la figura 1.

### Variación del área de planicie costera natural y su implicancia hidrológica

El estudio de los niveles freáticos en una transecta perpendicular a la línea de costa muestra que en la planicie costera el nivel freático se encuentra próximo a la superficie, generalmente a menos de 1 m, o aflora en los sectores más deprimidos y el flujo subterráneo descarga hacia el río (Fig. 3a). En eventos de marea extraordinaria, tormentas o crecidas extremas del río Paraná el nivel del agua superficial supera al nivel de descarga de agua subterránea. Esto produce que asciendan los niveles freáticos debido a que el agua subterránea se acumula al no poder descargar hacia el río. Incluso localmente, puede existir un ingreso de agua superficial hacia el freático, pudiendo también inundarse las áreas bajas y/o próximas a la costa (Fig. 3b). Asimismo, los cursos de agua superficial que desembocan en esta zona (río Tigre) constituyen vías preferenciales para el ingreso de agua del Río de la Plata y Paraná hacia el continente en los eventos citados anteriormente.

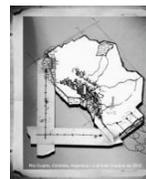
Para la urbanización del área de planicie costera se requiere del relleno y elevación de la cota hasta alcanzar un nivel por encima del de crecida histórica determinada por la Dirección Provincial de Hidráulica de la Provincia de Buenos Aires de 3,75 m snm. De esta manera, el desarrollo socioeconómico registrado en la zona, modifica la morfología natural haciendo que áreas con cotas naturales por debajo de los 3,75 m snm constituyan actualmente áreas urbanizadas con cotas por encima de los 4 m snm, generando una morfología positiva en zonas que naturalmente son deprimidas. El material de relleno utilizado proviene de las excavaciones realizadas para la construcción de amarraderos, vías náuticas, del dragado del río o material limoso (conocido como tierra colorada) procedentes de la llanura alta (Fig.4). Geohidrologicamente estas modificaciones antrópicas ocasionan cambios de las características hidrodinámicas haciendo que áreas que naturalmente tenían en superficie sedimentos limo arcillosos de baja permeabilidad pasen a tener sedimentos limosos a arenosos de mediana a alta permeabilidad. Asimismo, con esta elevación del terreno las zonas naturalmente inundables se transforman en áreas de recarga local del acuífero freático (Fig. 3c). Esta elevación del terreno también condiciona la relación entre el agua superficial y subterránea disminuyendo la superficie inundada por crecidas.



**Figura 3.** Perfiles de flujo para un área de planicie costera (sector SE del área de estudio). a: en condiciones naturales para el nivel medio del río; b: en condiciones naturales en eventos de crecida máxima del nivel en el río; c: planicie costera con elevación de la cota por relleno para el nivel medio del río.



**Figura 4.** Fotografías de (a) un área natural de la planicie costera con sedimento limo arcilloso y (b) una zona que fue rellena para urbanización con material limoso con concreciones de carbonatos (tosca).



En condiciones naturales, previa a la urbanización, el área de planicie costera ocupaba una superficie de 11,53 km<sup>2</sup>. Para 1975 el 82% de la planicie costera había sido modificada por relleno y urbanización y los amarraderos y muelles habían alterado la línea de costa y eliminado un 8% del terreno correspondiente a la planicie costera. Para 2010 el área modificada por relleno representa el 87% de la planicie costera, mientras que la ampliación y generación de nuevos muelles y amarraderos elimina un 2% más de terreno respecto de 1975 (Fig. 5).

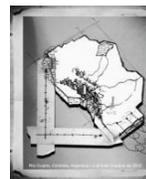
En la planicie costera la interrelación entre los flujos de agua superficial y subterránea depende principalmente de la morfología de la línea de costa, de la topografía y la litología. Si bien no existen estudios detallados de la hidrodinámica de la interrelación entre los flujos subterráneos y superficiales en el área, antecedentes en otros sectores de la planicie costera del Río de la Plata (Pera Iburguren 2004, Carol *et al.* 2011) y modelos analíticos realizados para este tipo de ambientes (Teo *et al.* 2003, Jeng *et al.* 2005, Werner y Lockington 2006) permiten definir un comportamiento teórico esperado en dicha relación, estimándose para el área de estudio que la zona de interacción tiene un ancho promedio de 100 m. El ancho de dicha zona varía en función de la permeabilidad de los sedimentos en la planicie costera y el nivel de crecidas en el río.

En condiciones naturales la longitud de la línea de costa incluyendo las márgenes del río Tigre es de 13,03 km, estimándose que el área de interacción es de 1,29 km<sup>2</sup> (Fig. 5). El desarrollo urbano de la planicie costera produce una modificación en la morfología de la línea de costa a lo largo del tiempo. La línea de costa correspondiente a 1975 muestra modificaciones morfológicas y un aumento en su longitud con respecto a la línea de costa natural. Dentro del área de estudio se contabilizan para 1975 un total de quince obras náuticas (amarraderos, muelles y vías de acceso) cuyas dimensiones permiten ampliar la longitud de la línea de costa a 32,48 km. Dichas obras permiten un mayor ingreso de agua proveniente del Río de la Plata y Paraná hacia el interior de la planicie y producen una ampliación del área de interacción entre los flujos superficiales y subterráneos la cual se estima en 2,35 km<sup>2</sup>. Para este año aun se reconocen pequeños sectores de la planicie costera natural (Fig. 5), donde el comportamiento hidrológico no ha sido modificado.

En la línea de costa actual (2010) se reconoce un aumento en el número de obras náuticas producto de la creciente expansión de la urbanización principalmente en el sector SE de la planicie costera. El análisis de imágenes permite registrar un incremento de nueve obras con respecto a 1975, evidenciando además que la mayor parte de las ya construidas han sido ampliadas. Esta ampliación en número y tamaño de las obras ha llevado la longitud de la línea de costa a 40,57 km (Fig. 5) con el consecuente aumento del área de interrelación entre los flujos superficiales y subterráneos, la cual se estima en 2,76 km<sup>2</sup>.



Figura 5. Evolución de la línea de costa y de la urbanización de la planicie costera.



## CONCLUSIONES

Las planicies costeras son ambientes hidrológicos sensibles a las modificaciones antrópicas debido a que estas alteran la relación natural que existe entre los flujos de agua superficial y subterránea. Para el área de estudio las principales modificaciones se asocian a variaciones en la morfología de la línea de costa y en las elevaciones del terreno.

La línea de costa actual muestra una longitud tres veces mayor que la natural. Dicho aumento se atribuye a la creación de muelles, amarraderos y vías de acceso náuticas, lo cual maximiza el ingreso del agua del río hacia el continente, ampliando el área de interacción entre los flujos superficiales y subterráneos dentro de la planicie costera.

La elevación del terreno deja zonas naturalmente inundables sin afectación como consecuencia de los desbordes del río y modifica la condición hidrológica natural convirtiéndolas en zonas de recarga local del freático.

La urbanización de las planicies costeras produce cambios en la geomorfología que afectan la hidrodinámica natural del sistema, razón por la cual el desarrollo socioeconómico de estas zonas requiere de una planificación territorial adecuada que tienda a un manejo sustentable del recurso hídrico.

## REFERENCIAS

- Carol, E., Kruse, E. and Pousa, J. 2011. Influence of the geologic and geomorphologic characteristics and of crab burrows on the interrelation between surface water and groundwater in an estuarine coastal wetland. *Journal of Hydrology* 403: 234 – 241.
- Cavallotto, J.L., Violante, R.A. y Colombo, F. 2005. Evolución y cambios ambientales de la llanura costera de la cabecera del río de la Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60: 353-367.
- EASNE (Estudio de Aguas Subterráneas Noreste). 1972. Contribución al estudio geohidrológico del noreste de la provincia de Buenos Aires. p 148. CFI – MOP, Buenos Aires. La Plata
- Iggy Litaor, M., Eshel, G., Sade, R., Rimmer, A. and Shenker, M. 2008. Hydrogeological characterization of an altered wetland. *Journal of Hydrology* 349, 333– 349.
- Jeng, D. S., Mao, X., Enot, P., Barry, D. A. and Li, L. 2005. Spring-neap tide-induced beach water table fluctuations in a sloping coastal aquifer. *Water Resources Research*, 41 W07026, doi: 10.1029/2005WR003945.
- Montalto, F. A., Steenhuis Tammo, S. and Yves Parlange, J. 2006. The hydrology of Piermont Marsh, a reference for tidal marsh restoration in the Hudson river estuary, New York. *Journal of Hydrology* 316: 108–128.
- Pera Iburguren, S. 2004. Surface water – Groundwater interactions in transition environments: The Rio de la Plata Coastal Plain, Argentina. PhD Dissertation. Universita Ca' Foscari Venezia, Italy.
- Santa Cruz, J. 1994. Aspectos hidrogeológicos e interpretación de una nueva característica formacional de subyacencia del acuífero Puelches, Provincia de Buenos Aires, Argentina. En: *Temas Actuales de la Hidrología Subterránea*, Eds: Bocanegra y Rapaccini. p 261-286, Mar del Plata
- Teo, H. T., Jeng, D.S., Seymour B. R., Barry, D. A. and Li, L. 2003. A new analytical solution for water table fluctuations in coastal aquifers with sloping beaches. *Advance in Water Resources* 26, 1239-1247.
- Violante, R. y Parker, G. 2000. El Holoceno en las regiones marinas y costeras del noreste de la Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 55, 337–351.
- Werner, A. D. and Lockington, D. A. 2006. Tidal impacts on riparian salinities near estuaries. *Journal of Hydrology* 328, 511-522.