

Balances hídricos y teledetección aplicados al estudio de inundaciones en la planicie costera del Río de la Plata, Buenos Aires, Argentina

Water balances and remote sensing applied to the study of floods in the Rio de la Plata coastal plain, Buenos Aires, Argentina

Francisco Aldo Cellone¹ , Guido Esteban Borzi² 
y Eleonora Silvina Carol³ 

RESUMEN

El objetivo del trabajo es evaluar las condiciones hidrológicas bajo las cuales ocurren eventos de inundación en el área de planicie costera del Río de la Plata en Punta Indio, Buenos Aires, Argentina a partir del análisis en conjunto de balances hídricos e imágenes satelitales y a su vez generar una metodología aplicable a otras áreas de llanura de similares características. Se analizaron Imágenes Landsat para el periodo 2008 - 2014 con el propósito de identificar situaciones de inundación y caudal base. Para el mismo periodo se realizaron balances de agua en el suelo diarios para evaluar excedentes, déficits, y reserva de agua en el suelo. Los resultados obtenidos muestran que la respuesta de la planicie costera en relación a la presencia de anegamientos está condicionada en gran medida por la previa existencia de excedentes hídricos y por las condiciones de saturación del suelo al momento de producirse la precipitación.

Palabras clave: Hidrología de llanuras, Inundaciones, Sensores Remotos, Planicies costeras.

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate the hydrological conditions under which flood events occur in the coastal plain of the Río de la Plata in Punta Indio, Buenos Aires, Argentina by the analysis of water balances and satellite images with a methodological approach applicable to other flatlands. Landsat images for the period 2008 - 2014 were analyzed to identify flood situations and base flow conditions. For the same period, daily soil water balances were performed to assess surpluses, deficits, and soil water storage. The results show that the response of the coastal plain in relation to the presence of flooding is largely conditioned by the previous existence of water surpluses and soil moisture at the time of precipitation.

Keywords: Flatlands hydrology, Floods, Remote Sensing, Coastal plains.

¹ Centro de Investigaciones Geológicas, Universidad Nacional de La Plata, CONICET. Correo electrónico: fcellone@fcnym.unlp.edu.ar

² Centro de Investigaciones del Medio Ambiente, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Universidad Nacional de La Plata. Correo electrónico: gborzi@fcnym.unlp.edu.ar

³ Centro de Investigaciones Geológicas, Universidad Nacional de La Plata, CONICET. Correo electrónico: eleocarol@fcnym.unlp.edu.ar

Introducción

Desde el punto de vista geomorfológico, la Llanura Pampeana en la provincia de Buenos Aires en Argentina posee sectores con una red de drenaje escasamente desarrollada. Esta característica se debe principalmente a que la configuración del paisaje responde a factores morfogénéticos que actualmente no operan, determinando un paisaje que no está en equilibrio con las condiciones climáticas del presente (Zárate, 2005). Mientras que hacia el noroeste de la provincia dominan formas de origen eólico (dunas y cubetas de deflación) producto de las condiciones climáticas áridas a semiáridas del Pleistoceno (Dangavs, 2005, Fucks et al., 2012), el litoral está caracterizado por la presencia de una serie de planicies costeras desarrolladas a lo largo de la margen derecha del Río de la Plata y la costa atlántica producto de las oscilaciones holocenas del nivel del mar (Cavallotto, 2002). Desde el punto de vista hidrográfico, esta configuración del paisaje determina la existencia de numerosas zonas endorreicas (aproximadamente el 20% del territorio) (Giraut et al., 2007) como así también de números cuerpos de agua someros transitorios y permanentes que no se encuentran integrados a la red de drenaje durante la mayor parte del año.

Una de las consecuencias de dicha configuración del paisaje, sumada a la escasa pendiente regional del orden de 0,1% (Sala et al., 1983), es la recurrencia de eventos hidrológicos extremos de diversa magnitud, particularmente inundaciones y anegamientos (Scarpati y Capriolo, 2013). A su vez, determina que en la Llanura Pampeana exista una prevalencia de los movimientos verticales, como evapotranspiración e infiltración, por sobre los movimientos horizontales, como escurrimiento superficial y subterráneo (Fuschini Mejía, 1983, Auge y Hernández, 1984, Forte Lay et al., 2007). Por otro lado, el aumento de los volúmenes de agua que ingresan a las cuencas a través de las precipitaciones ha ido en aumento durante las últimas décadas (Minetti et al., 1997, Rusticucci y Penalba, 2000, Barros et al. 2008, Forte Lay et al., 2008 y Antico y Sabbione, 2010). Este aumento en las precipitaciones probablemente sea una consecuencia del aumento de la recurrencia de los Niños extremos (Spescha et al., 2004; Johnson, 2014) lo cual provocaría un incremento en la recurrencia de inundaciones.

Tradicionalmente se ha abordado el estudio de inundaciones y su predicción a través del registro histórico de caudales. Las dificultades que conlleva el registro continuo de esta variable, particularmente en cuencas de pequeñas dimensiones o en zonas que carecen de una red de drenaje definida, ocasionan que no siempre se cuente con la cantidad y calidad suficiente de datos a la hora de realizar modelos y predicciones sobre el comportamiento hidrológico de las cuencas. Por este motivo resulta necesario recurrir a otras herramientas con el objetivo de determinar en qué condiciones se producen anegamientos e inundaciones.

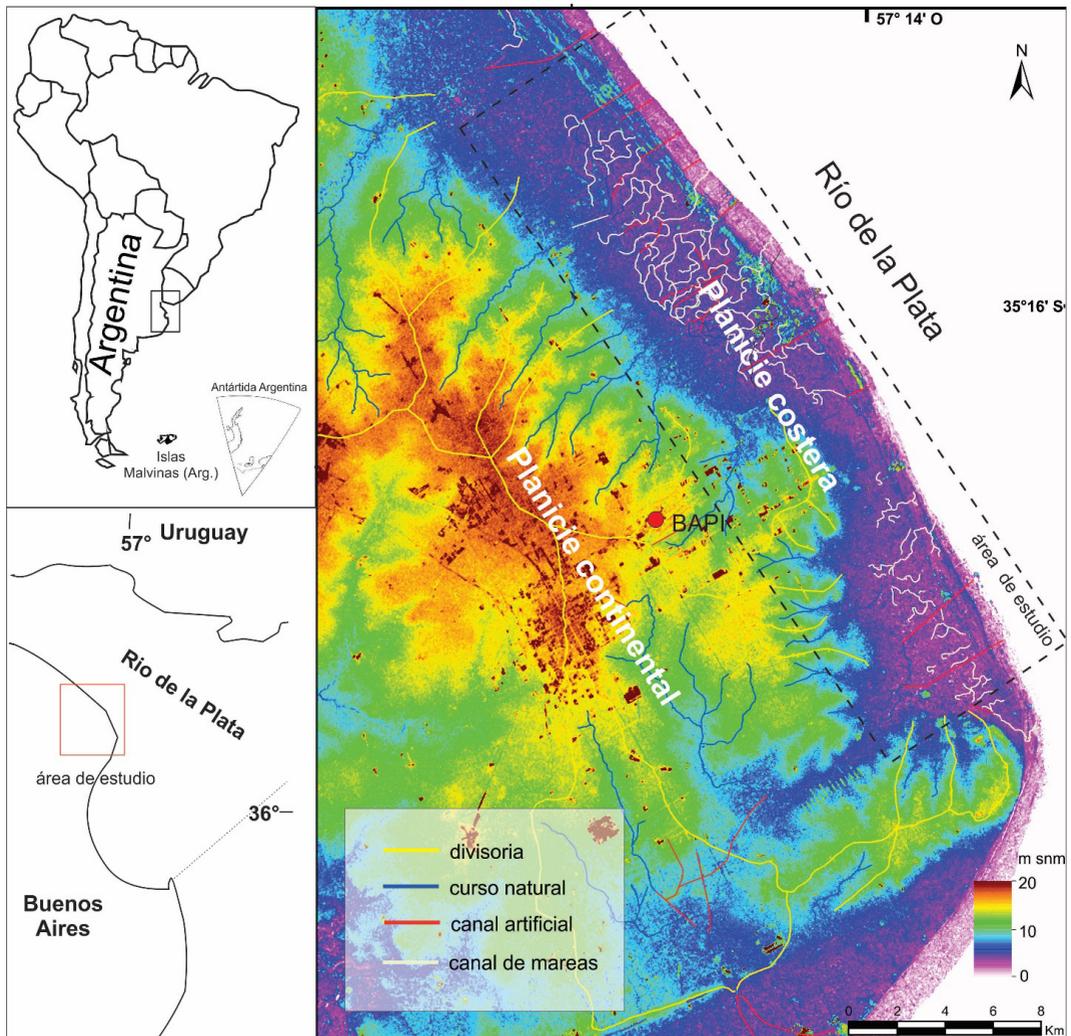
Dadas las dificultades con respecto a la utilización de datos de caudales a la hora de realizar estudios hidrológicos en las áreas anteriormente descritas, y considerando las características particulares de su comportamiento hidrológico, una alternativa es la utilización de balances hídricos de agua en el suelo para el estudio de inundaciones (Scarpati y Capriolo, 2013, Borzi et al., 2017). Los excedentes de agua en el suelo representan los milímetros de lámina de agua precipitada que, una vez colmada la capacidad máxima de almacenamiento o reserva del suelo, infiltran, o bien escurren superficialmente. El almacenamiento o reserva del agua en el suelo se entiende como el volumen de agua disponible para la evapotranspiración de las plantas ubicado entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. Es un volumen que a su vez depende

de la profundidad de la zona radicular, la textura del suelo y su densidad aparente. Por otro lado, ante la falta de mediciones in situ a la hora de conocer las condiciones hidrológicas de las cuencas en un momento dado, las imágenes satelitales provenientes de distintos sensores pueden aportar la información necesaria para tal fin (Kornelsen y Coulibaly, 2013).

El objetivo del presente trabajo es evaluar las condiciones hidrológicas bajo las cuales ocurren eventos de inundación a partir del análisis en conjunto de balances hídricos e imágenes satelitales en un sector de planicie costera del Río de la Plata ubicado en el litoral de Punta Indio, Buenos Aires, Argentina (Figura N°1). A su vez, se pretende generar una metodología aplicable a otras áreas de llanura con similares características. En este sector, la precipitación promedio anual para

Figura N°1.

Ubicación del área de estudio y red de drenaje. BAPI: Base Aeronaval de Punta Indio. La imagen corresponde a un modelo digital de elevación para el área de estudio proveniente del satélite ALOS



Fuente: Elaboración propia.

el periodo 1926-2017 es de 956 mm, con un valor máximo de 1734 mm en 1993 y uno mínimo de 497 mm en 1976, registrándose para este periodo un incremento con una tendencia levemente positiva de 1,81 (Cellone, 2019). Dentro de la planicie costera, el drenaje hacia el Río de la Plata se ve naturalmente impedido por la baja pendiente, la ausencia de una red de drenaje integrada y por la presencia de una serie de cordones litorales dispuestos de manera paralela a subparalela a la costa (Sala, 1978, Cellone y Carol, 2018). Debido a estos factores el área es recurrentemente afectada por anegamientos superficiales parciales provenientes principalmente de la planicie continental aledaña los cuales no han podido ser mitigados por los numerosos canales artificiales realizados para tal fin (Figura N°1).

Material y Métodos

Para el periodo 2008-2014 se analizaron 238 imágenes satelitales provenientes de las misiones Landsat 5, 7 y 8 con el fin de identificar tanto situaciones de anegamiento como de caudal base. Para el mismo periodo se realizó un análisis climático en base a datos diarios de precipitaciones y temperaturas registradas por el Servicio Meteorológico Nacional en la Base Aeronaval de Punta Indio (Figura N°1). Con estos datos se realizaron balances hídricos diarios mediante el cálculo de evapotranspiración potencial (ETP) utilizando la metodología de Thornthwaite y Mather (1957). Se evaluaron excedentes, déficit hídricos, y variación en el agua disponible en el suelo. Se estimó para los suelos de la planicie continental una capacidad máxima de almacenamiento (reserva) de 100 mm, superada la cual se producen los excedentes hídricos. Este valor surge de los parámetros texturales de los horizontes superficiales (Salazar et al., 1980) establecidos como 57,2% de arcilla, 38,5% de limo y un 4,3% de arena, lo cual representa una textura arcillo limosa. Basado en Saxton y Rawls (2006), para esta textura específica la capacidad de campo es de 36% y el punto de marchitez permanente es de 22%, lo cual arroja un porcentaje de agua útil del 14%. Si se considera una zona radicular de 50 cm y una densidad aparente de unos 1,4 g/cm, la capacidad máxima de almacenamiento o reserva del suelo estimada es de 100 mm.

El cálculo de la ETP diaria según Thornthwaite y Mather (1957) se obtuvo mediante la siguiente formulación:

$$ETP = K \cdot \mathcal{E}$$

$$\mathcal{E} = 16 \cdot (10t/l)^a$$

$$l = \sum_i i$$

$$i = (t/5)^{1,514}$$

$$a = 6.75 \cdot 10^{-9} l^3 - (7.71 \cdot 10^{-5}) l^2 + (1.792 \cdot 10^{-5}) l + 0.49239$$

$$K = N/12/30$$

Donde:

t: es la temperatura media diaria en °C del mes en que se calcula

N: es la duración media del día (horas)

l es un índice térmico que depende de las temperaturas medias anuales

Los balances hídricos fueron calculados de la siguiente manera:

$$ET = ETP \text{ si } P > ETP$$

$$ET = P + [\Delta R] \text{ si } P < ETP$$

$$P - ET = \Delta R$$

$$P - ET = Ex \text{ si } R \text{ alcanza } 100 \text{ mm}$$

Donde:

P: precipitación

ETP: evapotranspiración potencial

ET: evapotranspiración (real)

R: reserva de agua del suelo

ΔR : variación en la reserva del agua del suelo

Ex: excedentes

Posteriormente se graficaron conjuntamente las precipitaciones, la reserva de agua en el suelo y los excedentes, comparando estos datos con la presencia o ausencia de anegamientos determinadas en las imágenes satelitales.

Resultados

Las precipitaciones anuales entre 2008 y 2014 registraron un valor medio de 1089 mm siendo 2008 el año más seco con 662 mm y 2014 el año más lluvioso con 1500 mm. La realización de balances hídricos diarios en dicho periodo permitió estimar la variación en las reservas de agua en el suelo y en los excedentes hídricos, valores que fueron contrastados con las imágenes satelitales Landsat en base a una calificación cualitativa donde se reconocieron 4 situaciones diferentes (Figura N°2):

(b): situación de caudal base en los arroyos y canales de marea.

(i1): inundación reducida

(i2): inundación moderada

(i3): inundación extensa

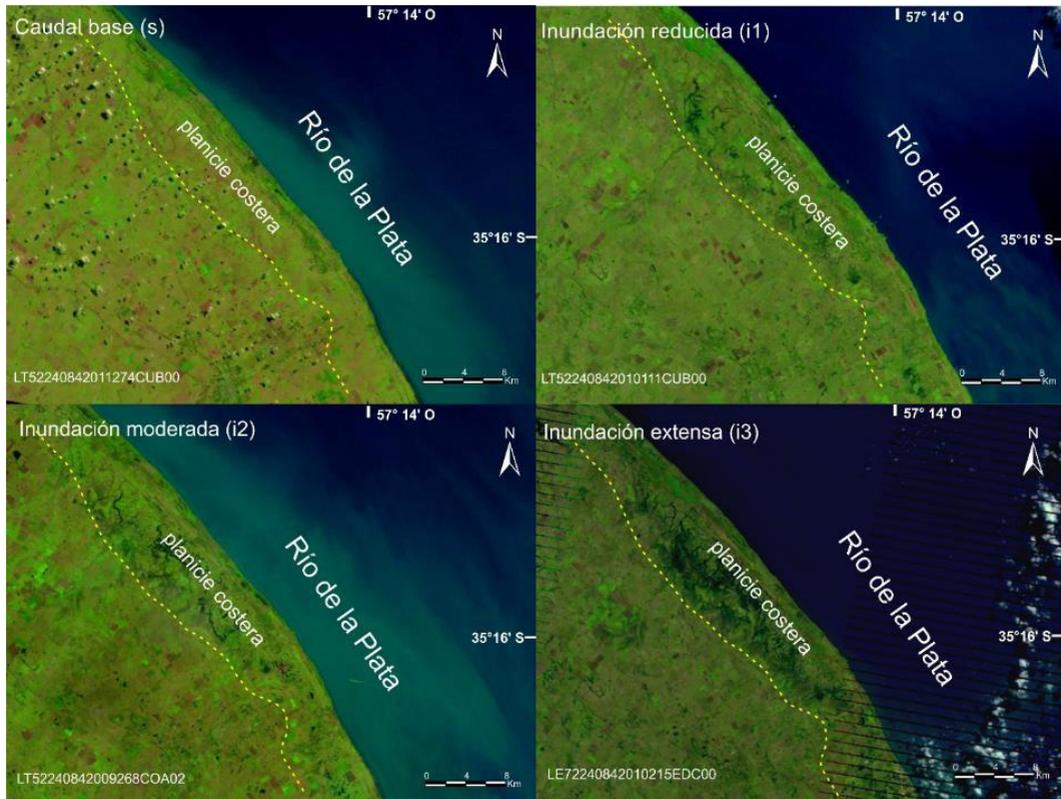
Las imágenes en donde la cobertura nubosa impidió la apreciación de la superficie del terreno fueron identificadas en los balances hídricos realizados como (n).

Se describirán a continuación los resultados de los balances hídricos diarios juntamente con los resultados del análisis visual de las imágenes Landsat para cada año del período 2008-2014.

Al analizar los balances diarios para el año 2008 (Figura N°3), si bien se trata de un año seco, se puede observar que durante los meses de junio, julio y agosto se producen excedentes hídricos que totalizan 107 mm. Estos excedentes se ven reflejados en las imágenes como una situación de

Figura N°2.

Imágenes Landsat con diferentes situaciones de inundación de la planicie costera del Río de la Plata.
Clasificación cualitativa de las inundaciones

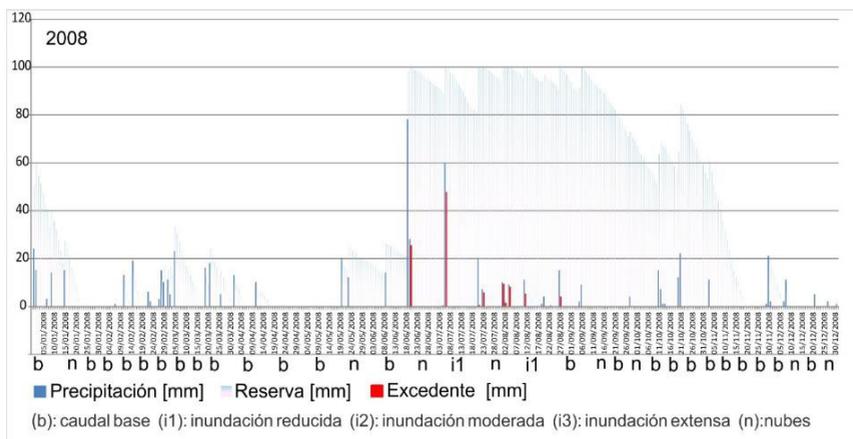


Fuente: Elaboración propia.

inundación reducida mientras que en el resto del año los cursos y la planicie presentan situación de caudal base.

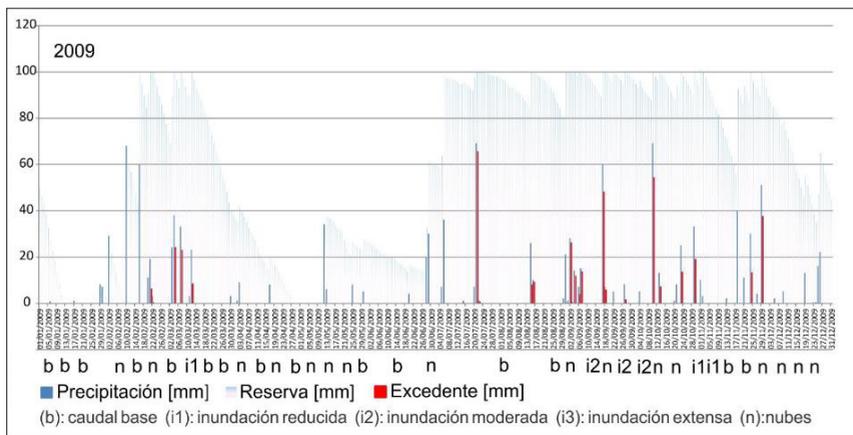
En el año 2009 se observa que las primeras condiciones de inundación se relacionan a los excedentes producidos durante los primeros días de marzo (Figura N°4), mientras que los eventos de precipitación previos de importante magnitud (precipitaciones mayores a 60 mm), ocurridos en los primeros meses del año, no alcanzan a producir una respuesta en la planicie costera. Luego, durante los meses de mayo y junio, dado que no se producen excedentes, no se registran anegamientos. Durante los periodos de julio y agosto no se registraron imágenes de la serie Landsat en los días inmediatamente posteriores a que se produjeran excedentes hídricos por lo que no pueden apreciarse las condiciones hídricas. Hacia los primeros días de septiembre se registran anegamientos (i2) que coinciden con condiciones de saturación del suelo e importantes excedentes hídricos. Finalmente, hacia noviembre de este año, y coincidiendo con una mayor evapotranspiración, el área presenta condiciones de caudal base.

Figura N°3.
Balances hídricos diarios para el año 2008 para el partido de Punta Indio



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°4.
Balances hídricos diarios para el año 2009 para el partido de Punta Indio



Fuente: Elaboración propia.

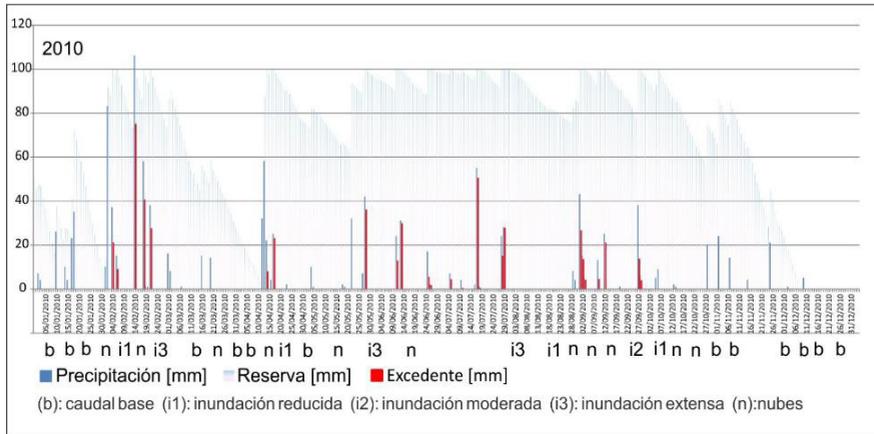
Al analizar el año 2010 (Figura N°5) los primeros excedentes registrados en febrero coinciden con situaciones de anegamiento (i1) (i3), produciéndose en el último caso una inundación extensa. Hacia marzo se registra nuevamente la ausencia de anegamientos y condición de caudal base coincidiendo con un descenso en la reserva del suelo. Durante el resto del año se registran excedentes significativos, y se ven reflejados en distintas condiciones de anegamiento. Hacia los primeros días de noviembre nuevamente el área no presenta anegamientos.

Por otro lado, durante la primera mitad del año 2011 (Figura N°6) no se registran condiciones de anegamiento, situación que coincide con escasas precipitaciones espaciadas en el tiempo que no produjeron excedentes. Los primeros anegamientos, de carácter reducido, se registran

en los meses de julio y agosto con posterioridad a que se produjeran excedentes. Luego el área permanece sin anegamientos hasta los últimos días de noviembre donde se producen nuevos excedentes como consecuencia de precipitaciones mayores a 100 mm.

Figura N°5.

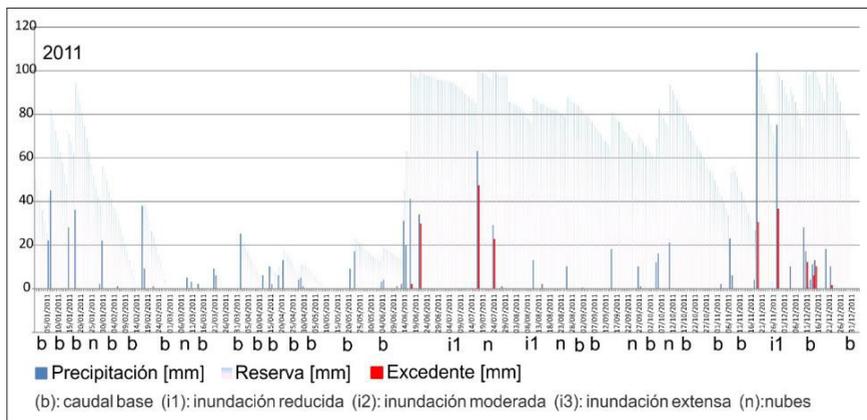
Balances hídricos diarios para el año 2010 para el partido de Punta Indio



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°6.

Balances hídricos diarios para el año 2011 para el partido de Punta Indio



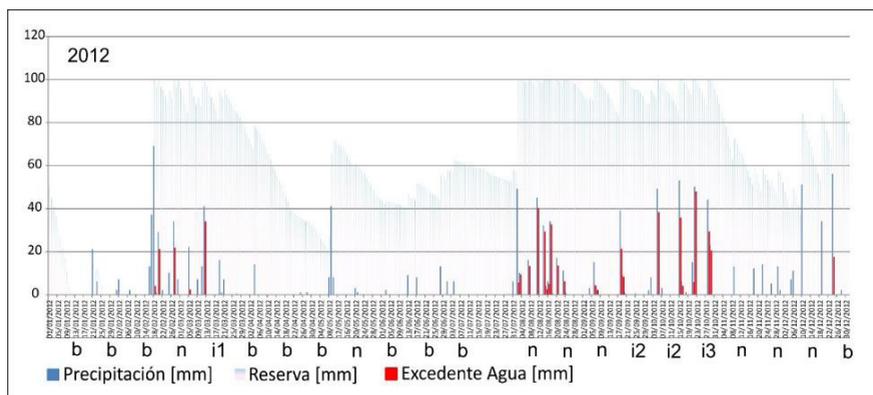
Fuente: Elaboración propia.

Distintas condiciones de anegamientos durante los meses de marzo, septiembre y octubre se observaron para el año 2012 (Figura N°7), las cuales pueden ser atribuidas a la previa existencia de excedentes hídricos. Durante el resto del año no se registran anegamientos, dado que las precipitaciones no son de la magnitud necesaria para producir excedentes, a excepción del 24 de diciembre que si bien se registran excedentes hídricos no se corresponden con anegamientos. Esto puede deberse a que la captura del satélite se realizó 6 días después, dando tiempo a la evaporación del agua.

Por otro lado, durante el año 2013 (Figura N°9) se producen algunas situaciones de anegamientos reducidos (durante los meses de marzo y mayo) que no coinciden con excedentes hídricos previos, aunque si con valores de reserva cercanos a la capacidad de campo del suelo. Sin embargo, las condiciones de anegamiento moderadas coinciden con excedentes producidos durante los meses de julio y septiembre. Durante el resto del año el área permanece sin anegamientos perceptibles.

Figura N°7.

Balances hídricos diarios para el año 2012 para el partido de Punta Indio

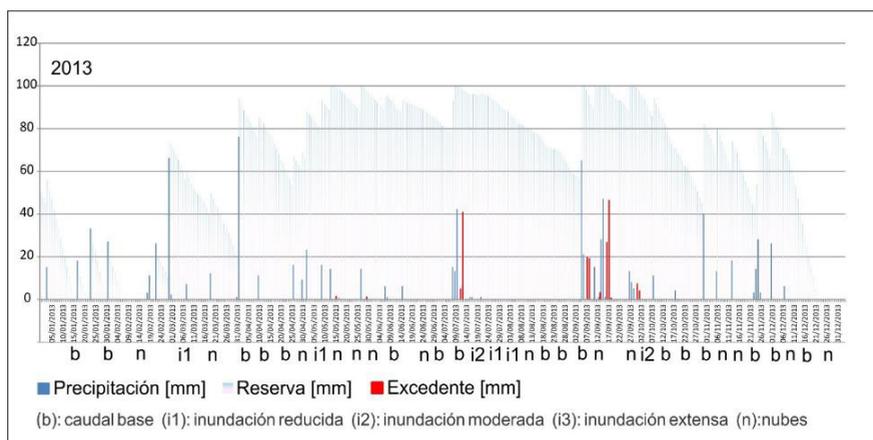


Fuente: Elaboración propia.

Por último, el año 2014 se caracteriza por ser el más lluvioso de la serie analizada (Figura N°9). Durante gran parte del año la planicie permanece anegada, alternando entre distintas situaciones de anegamiento. Esta situación no solo se da durante los meses de menores temperaturas sino también en aquellos que presentan los máximos valores de evapotranspiración. Los excedentes hídricos totalizan 826 mm y se distribuyen de manera relativamente homogénea a lo largo del año, siendo este el año que mayor volumen de excedentes presenta en la serie analizada.

Figura N°8.

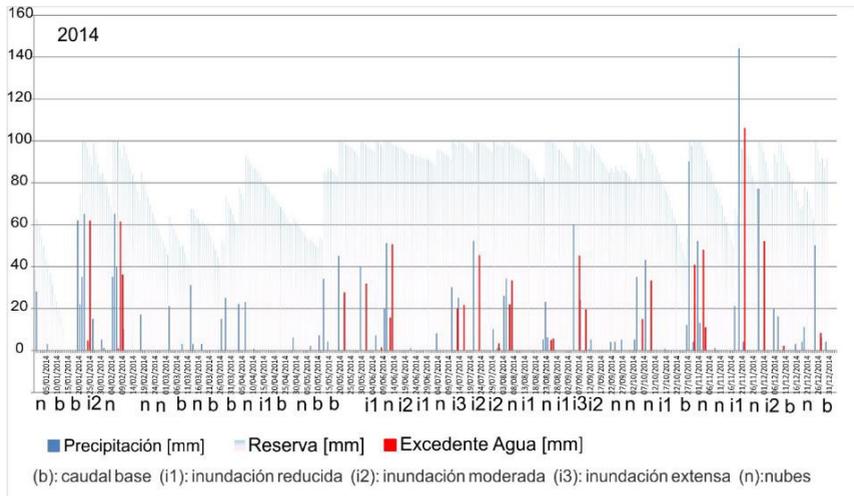
Balances hídricos diarios para el año 2013 para el partido de Punta Indio



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°9.

Balances hídricos diarios para el año 2014 para el partido de Punta Indio



Fuente: Elaboración propia.

Discusión y conclusiones

Los resultados del análisis de imágenes satelitales en conjunto con la realización de balances hídricos permiten comprender el comportamiento hidrológico en el área de planicie costera del Río de la Plata en el litoral de Punta Indio. De esta manera, se observa que la presencia de anegamientos está condicionada en gran medida por la previa existencia de excedentes hídricos y por las condiciones de humedad del suelo al momento de producirse los eventos de precipitación. Esta relación ha sido comprobada para otras áreas de la provincia, donde los eventos hidrológicos extremos han sido satisfactoriamente correlacionados con los excedentes hídricos, calculados a través de balances de agua en el suelo mediante formulaciones empíricas (Kruse et al., 2001; Forte-Lay et al., 2008; Scarpati y Capriolo, 2013; Borzi et al., 2017). La formulación de Thornthwaite and Mather (1957) es útil a la hora de realizar este tipo de balances en cuencas que poseen escasa información hidrometeorológica, situación común en Argentina y Sudamérica (de Castro Victoria et al., 2007) o bien en zonas que carecen de una red de drenaje integrada. Asimismo, la importancia de considerar el factor de la humedad del suelo como un desencadenante de los eventos de inundación está ampliamente documentado no solo para la Llanura Pampeana sino también para evaluar el comportamiento hidrológico en diferentes llanuras a lo largo del mundo (Kornelsen y Coulibaly, 2013; Grillakis et al., 2016).

En el área de estudio, los excedentes que se producen en la planicie continental, en la zona de cabeceras de las cuencas, se traducen en parte en escurrimiento superficial que es encausado en los arroyos que drenan el área. Una vez que estos cauces desembocan en la planicie costera el agua es parcialmente canalizada en los antiguos canales de marea que permanecen anegados durante algunos días. Dado que la pendiente del área es muy baja en el sector de planicie costera y el drenaje es deficiente, los excesos hídricos no son desagotados hacia el estuario. En estas condiciones la permanencia del agua en superficie se vería favorecida por la infiltración lenta y

por la recarga rechazada. Estos fenómenos están dados respectivamente por la baja permeabilidad que presentan los suelos del área de estudio (Salazar et al., 1980) y por la cercanía del nivel freático a la superficie. Respecto a esto último, se ha registrado que el nivel freático se encuentra muy próximo a la superficie, a profundidades cercanas a 1 m durante los meses de invierno y primavera, cuando predominan los excedentes hídricos (Cellone y Carol, 2018; Cellone et al., 2019).

La relación entre precipitación y escorrentía no resulta directa si no son consideradas las condiciones de humedad del suelo previas al evento de precipitación. Eventos de precipitación que superan los 60 mm en un día no llegan a producir una respuesta en la red de drenaje si previamente el suelo no se encontraba cercano a la capacidad de campo. Esta situación es registrada mayoritariamente durante los meses de verano, donde la evapotranspiración aumenta a raíz de las mayores temperaturas y del aumento de la duración del día. Sin embargo, si bien la mayor parte de los anegamientos se producen durante los meses de invierno y primavera, se han observado anegamientos durante los meses de verano cuando luego de varios días de precipitación los suelos alcanzaron la capacidad de campo. Esta situación se da particularmente en los años húmedos, donde la frecuencia de las precipitaciones es mayor, situación que provoca que los suelos se encuentren cercanos a la capacidad de campo incluso durante los meses de verano (Figura N°10).

El desarrollo urbanístico de la localidad de Punta Indio, al igual que el de otras localidades ubicadas sobre la planicie costera, está supeditado a la existencia de terrenos aptos para la construcción que no sean inundables. Un adecuado plan de ordenamiento territorial debe entonces tener en cuenta el funcionamiento hidrológico y la delimitación de áreas anegables para establecer zonas seguras para la ocupación urbana (Kourgialas y Karatzas, 2011). Por otro lado, el área de estudio constituye una zona de humedales protegidos catalogada como reserva MAB de la UNESCO "Parque Costero del Sur", por lo que el análisis del comportamiento hidrológico de esta zona resulta relevante a la hora de garantizar la preservación de las comunidades florísticas y faunísticas autóctonas que alberga (Cagnoni et al., 1996).

El presente estudio constituye un aporte que contribuye a establecer cuáles son los factores que controlan el comportamiento hidrológico y los frecuentes anegamientos que ocurren en el área de la planicie costera del Río de la Plata ubicada en el litoral del partido de Punta Indio. A su vez es abordada una metodología que provee una herramienta de análisis hidrológico en áreas de llanura donde existen escasos datos hidrometeorológicos, o bien no se cuenta con una red de drenaje integrada y por lo tanto se dificulta la aplicación de técnicas de análisis tradicionales como el registro de caudales.

Referencias bibliográficas

ANTICO, P. L. & SABBIONE, N. C. Variabilidad temporal de la precipitación en la ciudad de La Plata durante el período 1909-2007: tendencias y fluctuaciones cuasi periódicas. *Geoacta*, 2010, N°35, p. 44-53.

AUGE M. & HERNÁNDEZ, M. Características geohidrológicas de un acuífero semiconfinado (Puelche) en la Llanura Bonaerense. Su implicancia en el ciclo hidrológico de las Llanuras dilatadas.

Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras. Buenos Aires – París, 1984. Actas (II): p. 1019-1041.

BARROS, V., DOYLE M. & CAMILLONI I. "Precipitation trends in southeastern South America: Relationship with ENSO phases and with low-level circulation". *Theoretical and Applied Climatology*, 2008, N°93, p. 19-33.

BORZI G., CELLONE F. & CAROL E. Balances hídricos y teledetección aplicados al estudio de inundaciones en la cuenca del río Samborombón, Buenos Aires, Argentina. PROIMCA – PRODECA, 2017, Bahía Blanca.

CAGNONI, M., FAGGI, A. M., & RIBICHICH, A. La vegetación de la Reserva "El Destino" (Partido de Magdalena, Provincia de Buenos Aires). *Parodiana*, 1996, N°9, p. 25-44.

CAVALLOTTO, J. L. Evolución holocena de la llanura costera del margen sur del Río de la Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 2002, N°57, Vol. 4, p. 376-388.

CELLONE F. & CAROL E. Hidrodinámica del agua subterránea en un humedal costero, Punta Indio, Buenos Aires, Argentina. XIV Congreso Latinoamericano de Hidrogeología, Salta, 2018.

CELLONE, F. A. Evaluación de los recursos hídricos en un sector de la planicie costera del Río de la Plata (Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata), 2019.

CELLONE, F., CAROL, E. & TOSI, L. Groundwater geochemistry in coastal wetlands: A case study in the Parque Costero del Sur biosphere reserve, Argentina. *Catena*, 2019, N°182, 104143.

DANGAVS, N. V. Los ambientes acuáticos de la provincia de Buenos Aires. En: Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, 2005, p. 219-236.

DE CASTRO VICTORIA, D., SANTIAGO, A. V., BALLESTER, M. V. R., PEREIRA, A. R., VICTORIA, R. L. & RICHEY, J. E. Water balance for the Ji-Paraná river basin, western Amazon, using a simple method through Geographical Information Systems and Remote Sensing. *Earth Interactions*, 2007, N°11, Vol. 5, p. 1-22.

FORTE LAY J. A.; KRUSE, E. & AIELLO, J. L. Hydrologic scenarios applied to the agricultural management of the northwest of the Buenos Aires Province, Argentina. *Geojournal*, 2007, N°70, Vol. 4, p. 263-271.

FORTE LAY, J., SCARPATI, O. & CAPRIOLO, A. Precipitation variability and soil water content in pampean flatlands (Argentina). *Geofísica internacional*, 2008, N°47, Vol. 4, p. 341-354.

FUCKS, E., PISANO, F., CARBONARI, J. & HUARTE, R. Aspectos geomorfológicos del sector medio e inferior de la Pampa Deprimida, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 2012, N°25.

FUSCHINI MEJÍA M. C. Hidrología de Grandes Llanuras. Actas del Coloquio de Olavarría. PHI – UNESCO, 1983.

GIRAUT, M. A., R. L. AGUGLINO, C. LUPANO, E. BOZZARELLO, J. M. CORNEJO & C. REY. Regiones hídricas superficiales de la provincia de Buenos Aires – Actualización cartográfica digital, Congreso de la Asociación Española de Teledetección, Mar del Plata, 2007.

GRILLAKIS, M. G., KOUTROULIS, A. G., KOMMA, J., TSANIS, I. K. & WAGNER, W., BLÖSCHL, G. Initial soil moisture effects on flash flood generation—A comparison between basins of contrasting hydro-climatic conditions. *Journal of Hydrology*, 2016, N°541, p. 206-217.

JOHNSON, N. C. Atmospheric science: A boost in big El Niño. *Nature Climate Change*, 2014 N°4, Vol. 2, p. 90-91.

KORNELSEN, K. C. & COULIBALY, P. Advances in soil moisture retrieval from synthetic aperture radar and hydrological applications. *Journal of Hydrology*, 2013, N°476, p. 460-489.

KOURGIALAS, N. N. & KARATZAS, G. P. Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas—a case study. *Hydrological Sciences Journal—Journal des Sciences Hydrologiques*, 2011, N°56, Vol. 2, p. 212-225.

KRUSE, E., LAY, J. F., AIELLO, J. L., BASUALDO, A. & HEINZENKNECHT, G. Hydrological processes on large flatlands: case study in the northwest region of Buenos Aires Province (Argentina). *IAHS PUBLICATION*, 2001, N°267, p. 531-535.

MINETTI, J. L., VARGAS, W. M., POBLETE, A. G., ACUÑA, L. R. & CASAGRANDE, G. Non-linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-1999. *Atmósfera*, 2003, N°16, Vol. 2, p.119-135.

RUSTICUCCI, M. & PENALBA, O. Interdecadal changes in the precipitation seasonal cycle over Southern South America and their relationship with surface temperature. *Climate Research*, 2000, N°16, Vol. 1, p. 1-15.

SALA, J., GONZÁLEZ, N. & HERNÁNDEZ, M. Efectos de una barrera hidráulica natural en las aguas subterráneas del litoral de la Bahía de Samborombón. Obra del Centenario del Museo de La Plata, 1978, N° 4, p. 153-166.

SALA, J. M., GONZALEZ, N. & KRUSE, E. Generalización hidrológica de la Provincia de Buenos Aires. Comité Nacional Para el Programa Hidrológico Internacional, Coloquio Internacional Sobre Hidrología de Grandes Llanuras, 1983, p. 966-1009.

SALAZAR J., MOSCATELLI G., CUENCA M., FERRAO R., GODAGNONE R., GRIMBERG H. & SÁNCHEZ J. Carta de suelos de la provincia de Buenos Aires, Argentina. 1: 500.000. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires, Argentina, 1980, p. 505.

SAXTON, K. E. & RAWLS, W. J. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil Science Society of America Journal*, 2006, N°70, Vol. 5, p. 1569-1578.

SCARPATI, O. E. & CAPRIOLO, A. D. Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2013, N°82, p. 38-51.

SPESCHA, L., LAY, J. F., SCARPATI, O. L. G. A. & HURTADO, R. Los excesos de agua edáfica y su relación con el ENSO en la Región Pampeana. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 2004, N°24, Vol. 2, p. 161-167.

THORNTHWAITE, C. W. & MATHER, J. R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance. 1957.

ZÁRATE, M. A. El Cenozoico tardío continental de la provincia de Buenos Aires. En *Geología y Recursos Minerales de la provincia de Buenos Aires, Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*, 2005, p. 139-158.