

# BALANCES HÍDRICOS Y TELEDETECCIÓN APLICADOS AL ESTUDIO DE INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO SAMBOROMBÓN, BUENOS AIRES, ARGENTINA

BORZI, GUIDOE.<sup>1\*</sup>; CELLONE, FRANCISCO A.<sup>1</sup> Y CAROL, ELEONORA S.<sup>1</sup>

1: Centro de Investigaciones Geológicas, UNLP-CONICET  
Diagonal 113 #275, La Plata, Buenos Aires.  
gborzi@fcnym.unlp.edu.ar

**Resumen.** *Las llanuras constituyen ambientes hidrológicos particulares donde los movimientos verticales del agua cobran una dimensión preponderante en el comportamiento hidrológico de las cuencas. La reserva útil del agua del suelo y el agua evapotranspirada e infiltrada pueden jugar un rol importante dentro de las variables que controlan anegamientos e inundaciones. La cuenca del Río Samborombón, localizada en el noreste de la provincia de Buenos Aires posee características como las definidas previamente y escasos datos hidrometeorológicos. El objetivo del trabajo es establecer una relación entre eventos de precipitación e inundaciones en la cuenca del Río Samborombón, mediante balances hídricos y teledetección. Fueron utilizadas imágenes satelitales Landsat desde sus inicios a la actualidad para identificar inundaciones. Posteriormente fueron seleccionados algunos años donde se observaban sectores inundados, y se realizaron balances hídricos mediante la metodología de Thornthwaite–Mather, obteniendo valores de agua evapotranspirada, reserva útil del suelo y excedentes hídricos. Los resultados indicarían que las inundaciones en la cuenca del Río Samborombón se ven influidas por las condiciones hídricas previas del suelo. El presente estudio contribuya a generar avisos tempranos en sectores anegables. Por último, esta metodología provee una herramienta en cuencas de llanura donde existen escasos datos hidrometeorológicos.*

**Palabras clave:** Anegamientos, Precipitación, Evapotranspiración, Excedentes hídricos, Hidrología de llanuras

## 1. INTRODUCCIÓN

Una de las principales características de los ambientes de llanura, y en particular de la llanura pampeana, es la baja energía morfológica que presentan. Como consecuencia, el almacenamiento del agua, tanto en depresiones superficiales como en el subsuelo, y los movimientos verticales, como evapotranspiración e infiltración, dominan sobre los movimientos horizontales [1] [2] [3].

Las inundaciones y anegamientos se encuentran entre las problemáticas ambientales más comúnmente citadas para los ambientes de llanura. Si bien las sequías causan aún mayores y cuantiosos daños económicos y materiales, son las inundaciones las que mayor notoriedad reciben de parte de la opinión pública y las autoridades gubernamentales. Esto se debe en parte a que estos fenómenos suelen ser más fácilmente perceptibles, a su capacidad de generar

víctimas fatales y a que los efectos que producen pueden evidenciarse aún mucho tiempo después del evento en cuestión.

El cambio climático ha traído aparejado el aumento de las precipitaciones en algunos lugares el mundo [4], constituyendo la provincia de Buenos Aires, en el centro este de Argentina, un ejemplo de dicho fenómeno [5]. Como consecuencia del aumento en los volúmenes de agua que reciben las cuencas, áreas anteriormente poco anegables pueden pasar a serlo. Si bien esta problemática podría afectar viviendas que se encontraban en áreas que normalmente no se anegaban, viéndose afectadas actualmente por el aumento de las precipitaciones, existe también una tendencia a ocupar áreas potencialmente anegables [6]. 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 estas variables 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 tendientes a dilucidar bajo qué condiciones se producen anegamientos e inundaciones.

La cuenca del Río Samborombón (Fig. 1), localizada en el noreste de la provincia de Buenos Aires, posee las características descritas anteriormente, por lo que frecuentemente se ve afectada por inundaciones. Su extensión es de 5400 km<sup>2</sup>, la pendiente regional varía entre 0,01 a 0,3 %, y posee sectores que se anegan regularmente, afectando a algunos municipios como San Vicente y Brandsen. Esta cuenca no cuenta actualmente con estaciones que registren caudales mientras que los registros históricos poseen una medición esporádica insuficiente para realizar un análisis de recurrencia. Si bien estos análisis suelen sustentarse en datos históricos de caudales, se utilizan otras metodologías que tienen en cuenta la precipitación y su correlación con la ocurrencia de anegamientos e inundaciones [7]. Sin embargo, trabajos previos realizados en el área descartan una correlación evidente entre dichas variables [8]. El objetivo del trabajo es establecer una relación entre eventos de precipitación e inundaciones en la cuenca del Río Samborombón mediante balances hídricos y el uso de teledetección.

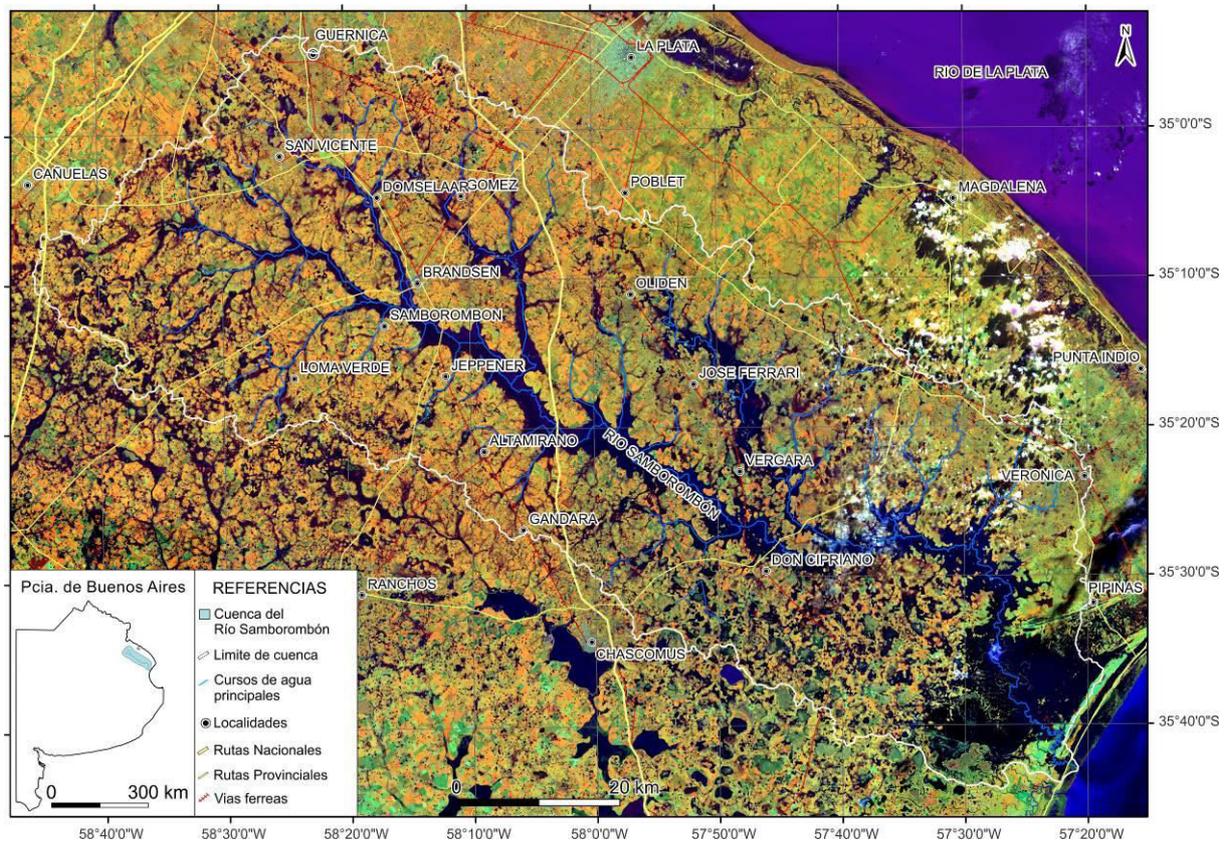


Figura 1. Ubicación de la cuenca del Río Samborombón.

## 2. METODOLOGÍA

Inicialmente se utilizó la estación meteorológica de Ezeiza del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para realizar un diagrama bivariado de precipitación acumulada anual con respecto al año. Este diagrama permite observar si los años relativamente más lluviosos se corresponden con extensos anegamientos observados en imágenes satelitales de la serie Landsat en los respectivos años. Por otra parte, se utilizó la antigua estación meteorológica de Brandsen cuyos registros se extienden solamente hasta el año 1992, completándose la serie con los registros del cuerpo de Bomberos Voluntarios de la misma localidad. Los datos de ambas estaciones fueron comparados en el análisis de inundación. Cabe aclarar que si bien la estación de Ezeiza no se encuentra dentro de la cuenca, se halla próxima a la misma y presenta una ubicación geográfica similar respecto al Río de la Plata que la antigua estación meteorológica de Brandsen. Otra característica relacionada a la elección de esta estación es que posee registros históricos de extensa duración, no existiendo una estación meteorológica dentro de la cuenca con estos requisitos.

Se analizaron imágenes satelitales del programa Landsat desde 1972 a la actualidad, identificando inundaciones en la cuenca, como así también condiciones en donde no se registraban anegamientos. Los anegamientos fueron clasificados cualitativamente en función

de la superficie inundada en tres categorías de mayor a menor anegamiento.

Posteriormente fueron seleccionados algunos años donde la cuenca presentaba sectores inundados, para los cuales se realizaron balances hídricos diarios mediante la metodología de Thornthwaite – Mather [9] con los datos de las estaciones anteriormente descritas. A partir de los balances hídricos diarios se obtuvieron milímetros de agua evapotranspirados, reserva útil del suelo y excedentes hídricos. Los balances hídricos de ambas estaciones fueron comparados con las imágenes de la serie Landsat para observar la correspondencia entre excesos de masas de agua respecto a la visualización de inundaciones en la imagen. Si bien el análisis se realizó para toda la serie de años, en este trabajo se presentan los resultados obtenidos en los años más representativos para observar el comportamiento en distintos periodos.

### 3. RESULTADOS

La precipitación acumulada anual de ambas estaciones utilizadas, no siempre presenta una clara correspondencia entre años relativamente más húmedos y los anegamientos extensos (i) observados en las imágenes Landsat (Fig. 2)

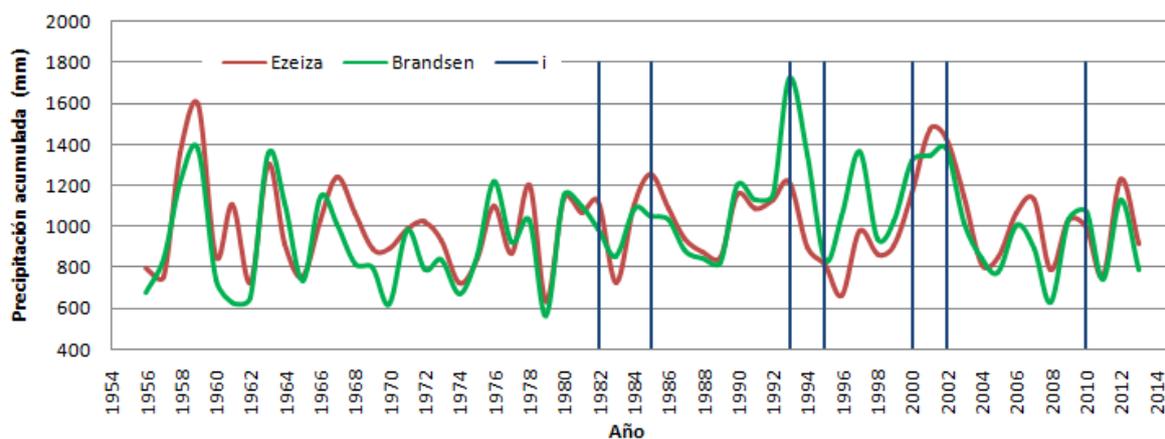


Figura 2. Precipitación acumulada anual de la estación de Ezeiza (línea roja) y la estación de Brandsen (línea verde) en los años de registro. La línea azul representa el año en que se registra una inundación extensa en la serie Landsat.

La comparación de las imágenes Landsat con presencia de anegamientos con los balances hídricos diarios muestra que existe una correspondencia con los excedentes hídricos y no con las precipitaciones. Dicha correspondencia es registrada en el sector de cabecera en los días siguientes a los excedentes, mientras que para el sector de desembocadura los anegamientos son registrados de 7 a 8 días posteriormente al último excedente hídrico. Si se analizan en detalle los balances obtenidos para las dos estaciones meteorológicas, los resultados para la estación de Brandsen presentan una mejor correspondencia que los obtenidos utilizando la estación de Ezeiza. No obstante, el menor registro de la primera de las estaciones ocasiona que esta observación no pueda constatar en los siguientes años analizados.

Respecto a la intensidad de las inundaciones, se realizó una clasificación cualitativa observando distintas condiciones denominadas “i”, “i2” e “i3” y clasificadas respectivamente como inundación extensa, inundación moderada e inundación reducida (Fig.3).

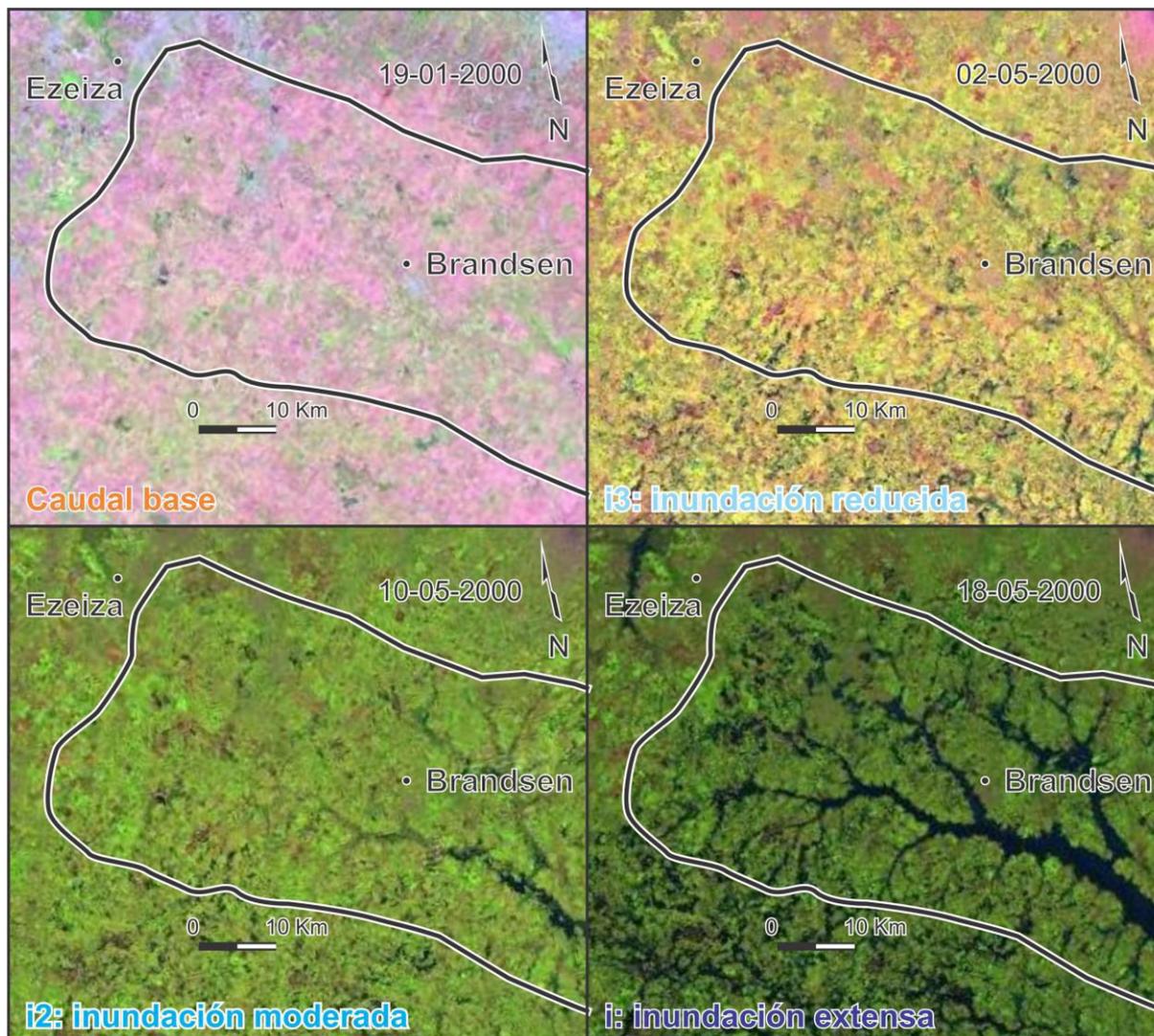


Figura 3. Clasificación cualitativa de las inundaciones de la cuenca.

Por otro lado, cuando en las imágenes no se registraban señales evidentes de inundación se interpretaron condiciones de caudal base (Fig.3). Además se señalaron aquellas imágenes en que la cobertura de nubes no permitía una identificación correcta de las condiciones en que se encontraba la cuenca.

En el análisis comparativo de los balances hídricos con las imágenes satelitales para los años 1982, 1985, 1990 y 2000 (Fig. 4 a 10) se observó que la inundación extensa (i) ocurre con los valores de excedentes más altos, superando aproximadamente los 50 mm, sin embargo, el

tiempo transcurrido entre los excedentes y las imágenes satelitales no permite aseverar con certeza este resultado. Por su parte, la inundación reducida (i3) ocurre con excedentes cercanos a 10 mm o menores, e inclusive sin excedentes pero con una reserva cercana a 100 mm. La inundación moderada (i2) se registró como un caso intermedio entre i3 e i. A su vez se observa que en algunos períodos del año se producen precipitaciones importantes, algunas de ellas incluso con valores cercanos a los 100 mm en donde la reserva del suelo es baja, la evapotranspiración es alta y no se alcanza a colmar la capacidad de depósito del terreno por lo que no se producen excedentes hídricos (Fig.8). La respuesta de la cuenca a estas precipitaciones observada en las imágenes satelitales es nula y el río mantiene condiciones de caudal base o “i3” eventualmente. En general es durante los meses de otoño e invierno, con la disminución de la evapotranspiración donde se satura la capacidad de depósito del terreno (reserva) y se producen la mayor cantidad de excedentes hídricos. La mayor parte de las inundaciones se producen durante este período aunque también han ocurrido inundaciones en noviembre (Fig. 6 y 7) y en el mes de febrero (Fig. 8 y 9), lo cual reforzaría la idea de que las inundaciones no son exclusivas de una época del año en particular.

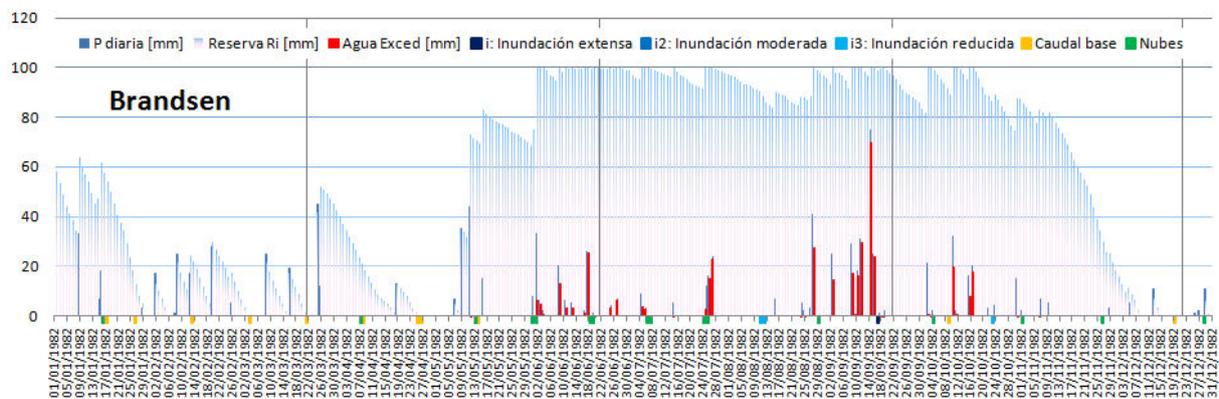


Fig. 4. Balance diario del año 1982 de la estación meteorológica de Brandsen.

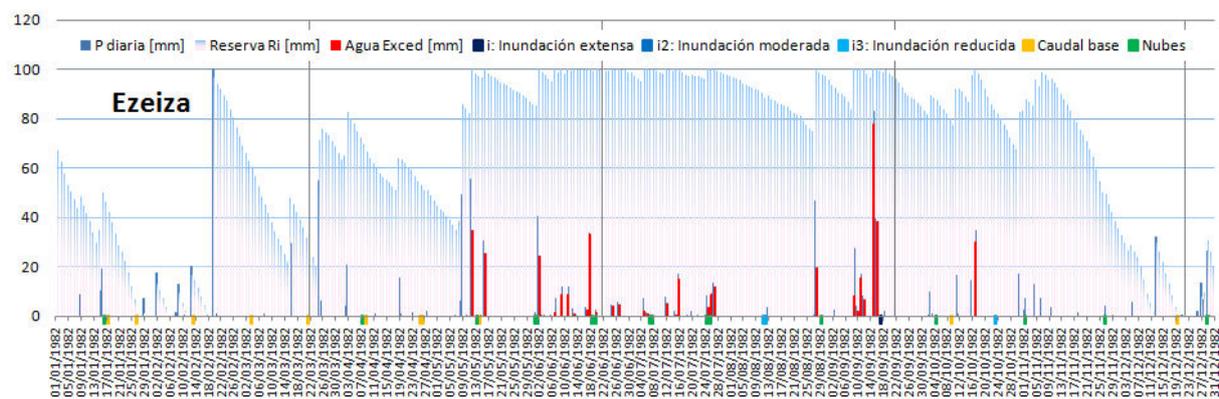


Fig.5. Balance diario del año 1982 de la estación meteorológica de Ezeiza.

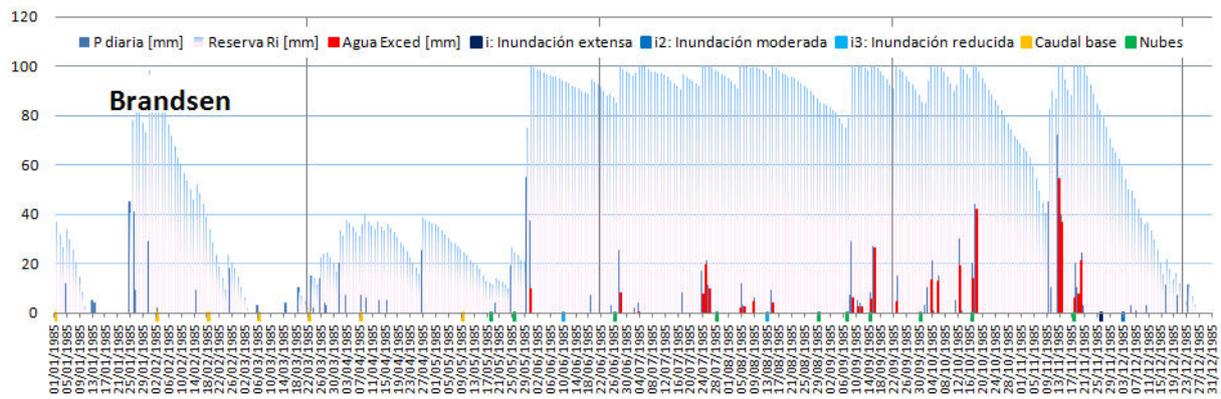


Fig. 6. Balance diario del año 1985 de la estación meteorológica de Brandsen.

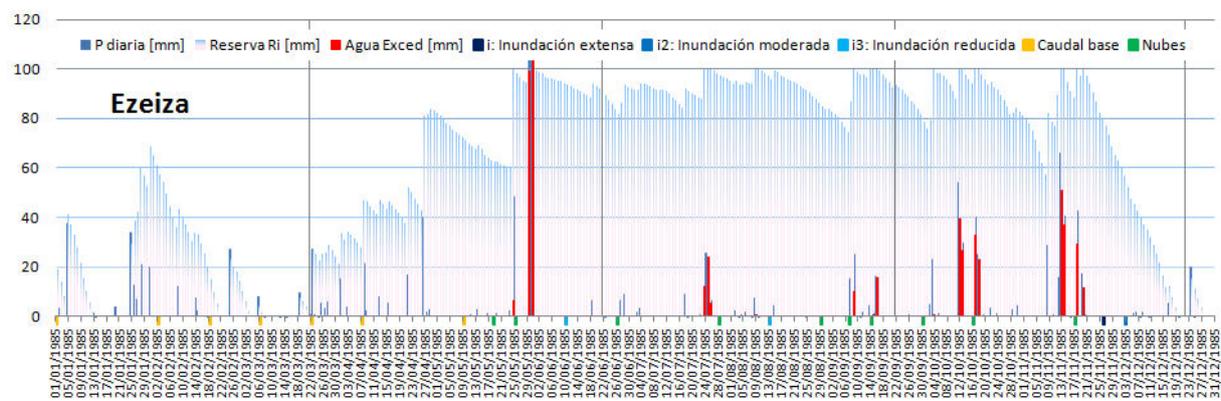


Fig. 7. Balance diario del año 1985 de la estación meteorológica de Ezeiza.

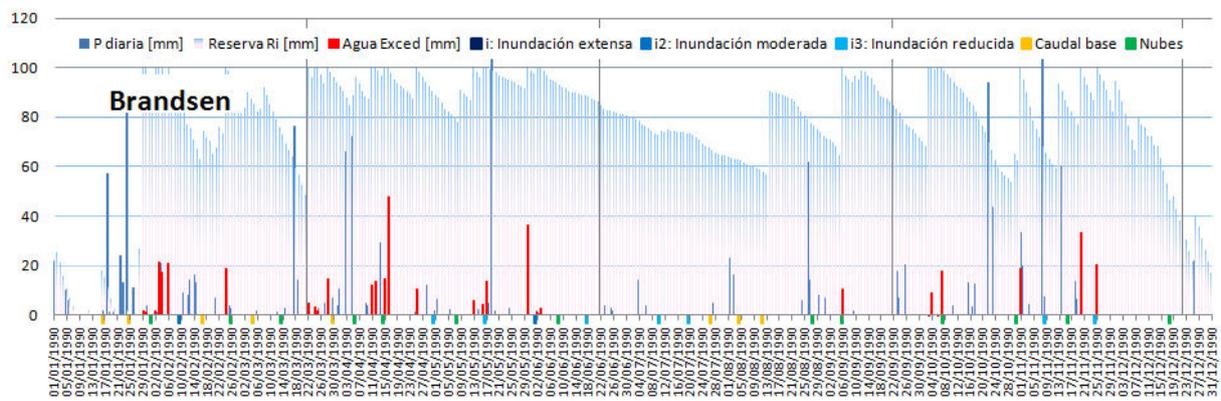


Fig. 8. Balance diario del año 1990 de la estación meteorológica de Brandsen.

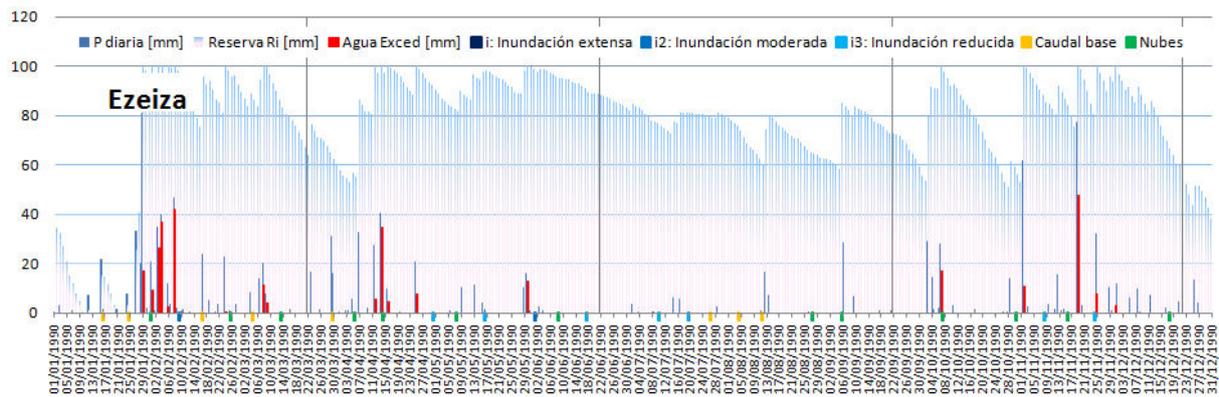


Fig. 9. Balance diario del año 1990 de la estación meteorológica de Ezeiza.

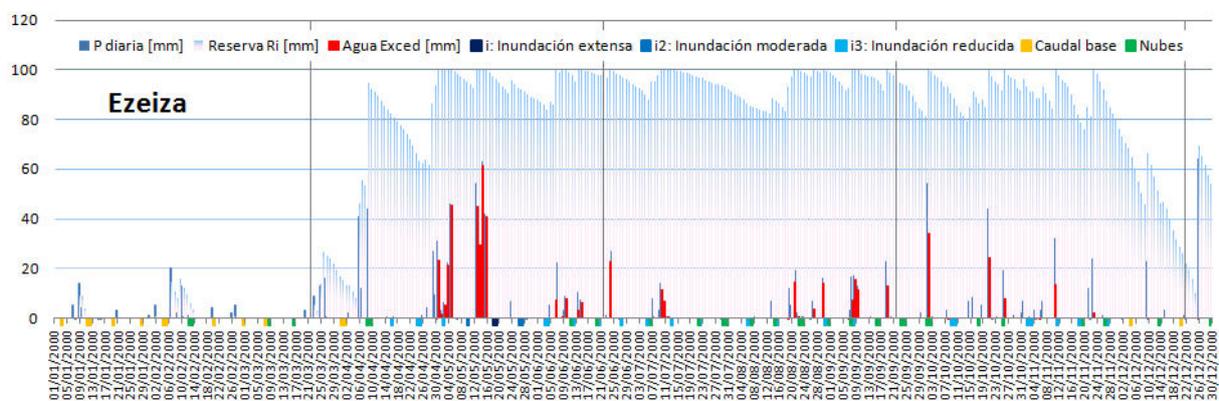


Fig. 10. Balance diario del año 2000 de la estación meteorológica de Ezeiza.

### 3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos evidencian que las inundaciones en la cuenca del Río Samborombón se ven influidas en gran medida por las condiciones hídricas previas del suelo. Este mismo comportamiento también se registra en áreas lindantes a la cuenca [10], donde si bien la morfología del terreno es diferente y no hay ríos con un caudal semejante al del área de estudio, los anegamientos se corresponden con los excedentes hídricos. La limitación que implica la interrupción de los registros de la estación de Brandsen hace que no puedan corroborarse las predicciones de anegamientos con dicha estación posteriormente al año 1992. Los años utilizados como representativos en donde se encontraba activa la estación de Brandsen mostraron una mayor correspondencia que aquellos en donde se utilizó la estación de Ezeiza. Estas leves discrepancias que se observan entre la estaciones de Ezeiza y Brandsen, podrían explicar anegamientos en la cuenca ocurridos con posterioridad al año 1992, cuando solo se cuenta con los registros de Ezeiza, pudiéndose interpretar como una variación en la precipitación respecto a la ubicación de ambas estaciones.

Si bien el área de cabecera puede corresponderse con los excedentes obtenidos en los balances, se pudo observar que la cuenca baja se presenta gravemente anegada de 7 a 8 días

posteriormente a los últimos excedentes registrados. La escasa pendiente de la misma dificulta la evacuación de los excesos hídricos sumado a las obras viales que la dificultan aún más [11] [12].

El presente estudio constituye un aporte tendiente a dilucidar cuáles son los factores que controlan las inundaciones en la cuenca del Río de Samborombón, pudiendo generar avisos tempranos en sectores potencialmente anegables. Por su parte, el cuerpo de Bomberos Voluntarios de Brandsen ha incorporado recientemente una estación meteorológica automática en dicha localidad. Pese a que esta estación no posee un extenso registro de datos, la metodología aquí propuesta podría ser igualmente aplicable, pudiendo generar evacuaciones tempranas cuando los excedentes hídricos comiencen a evidenciarse. Por último, esta metodología provee una herramienta de análisis de inundaciones en cuencas de llanura donde existen escasos datos hidrometeorológicos, pudiéndose aplicar a cuencas vecinas.

## REFERENCIAS

- [1] Fuschini Mejía M. C. *Hidrología de Grandes Llanuras. Actas del Coloquio de Olavarría*. PHI – UNESCO. Olavarría, (1983).
- [2] Auge M. y 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. Actas (II)*: 1019-1041. Buenos Aires – París, (1984).
- [3] Forte Lay J. A.; Kruse, E. y Aiello, J. L. “Hydrologic scenarios applied to the agricultural management of the northwest of the Buenos Aires Province, Argentina”. *Geojournal*, 70 (4), 263-271, (2007).
- [4] Zhang X., Zwiers F. W., Hegerl G. C., Lambert, F. H., Gillett, N. P., Solomon, S., y Nozawa, T. “Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends”. *Nature*, 448(7152), 461-465, (2007).
- [5] Kruse E., y Laurencena P. Aguas superficiales. “Relación con el régimen subterráneo y fenómenos de anegamiento”. *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata, Argentina*, (2005).
- [6] Montz B. E. The generation of flood hazards and disasters by urban development of floodplains. *Floods, 1*, 116-127, (2000).
- [7] Vázquez P., Masuelli S., Platzeck G., y Boolsen O. “Recurrencia de anegamiento en la depresión del río Salado: subcuenca B4”. *Revista de Teledetección de la Asociación Española de Teledetección*, 30, 47-59, (2008).
- [8] Borzi G., Tanjal C., Kruse E. “Recurrencia de anegamiento en la cuenca del Río Samborombón, Provincia de Buenos Aires”. *Las Jornadas de Hábitat y Ambiente*. Mar del Plata, (2016).
- [9] Thornthwaite C. W. & Mather J. R. “Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance”, (1957).
- [10] Cellone F., Borzi G., Carol E., “Balances hídricos y teledetección aplicados al estudio de inundaciones en la planicie costera del Río de la Plata, Punta Indio, Argentina”. 2°

Congreso Latinoamericano de Estudios Urbanos Ambientales y Gestión de Riesgos - 2° Jornada Nacional de Riesgo Urbano, (2016).

- [11] Borzi G., Carol E. S. “Las obras viales como condicionantes del drenaje en eventos de tormenta extrema. Cuenca del Río Samborombón, Buenos Aires” *E-ICES 10*, (2014).
- [12] Borzi G., Carol E. S., Santucci L. “Simulación de inundación mediante HEC-RAS en el sector medio de la cuenca del Río Samborombón, Provincia de Buenos Aires.” *Segundas Jornadas de Geociencias para la Ingeniería*. CABA, (2015).