

# ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ESPACIO TEMPORAL ENTRE LA PRECIPITACIÓN ESTIMADA POR EL SATÉLITE TRMM Y LA ALTURA HIDROMÉTRICA OBSERVADA EN LA CUENCA DEL RÍO IGUAZÚ.

Gonzalo M. Díaz<sup>1,2</sup>, Carolina G. Cerrudo<sup>1,2</sup>, Sabrina H. Juárez<sup>1</sup>, Lorena J. Ferreira<sup>1</sup>  
[gdiaz@smn.gov.ar](mailto:gdiaz@smn.gov.ar), [ccerrudo@smn.gov.ar](mailto:ccerrudo@smn.gov.ar),

<sup>1</sup> Departamento de Hidrometeorología, Servicio Meteorológico Nacional

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. FCEyN UBA

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es analizar la relación espacio temporal entre la precipitación diaria estimada por el satélite TRMM Versión 3B42RT en la cuenca del río Iguazú y la altura hidrométrica diaria registrada en el puerto Iguazú durante el período 2001 - 2013. Asimismo se realiza un estudio para los eventos de crecida del río Iguazú ocurridos en junio de 2013 y junio de 2014, con el objetivo de analizar el impacto de la precipitación estimada sobre la altura hidrométrica observada en el puerto Iguazú. En general, se observa que el registro de alturas hidrométricas diarias del puerto Iguazú se encuentra mayormente influenciado por la precipitación estimada ocurrida en gran parte de la cuenca alta, entre 4 y 6 días después de ocurridos los eventos de precipitación. Esto está en acuerdo con resultados obtenidos por otros autores empleando la red pluviométrica de superficie. Por otra parte, del análisis de los dos casos particulares de crecidas, los resultados son coherentes con lo mencionado anteriormente.

## ABSTRACT

The aim of this study is to analyze the spatio-temporal relationship between daily precipitation estimated by the TRMM satellite Version 3B42RT in Iguazu River Basin and the daily hydrometric height recorded in the Iguazú Port during the period 2001- 2013. Also, two cases of Iguazú River floods are analyzed, one occurred in June 2013 and the other one in June 2014. In general, it is found that the record of daily hydrometric heights of Iguazú Port is mostly influenced by the estimated precipitation in much of the upper basin, between 4 and 6 days after precipitation events occurred. This is in agreement with results obtained by other authors using the surface rainfall network. Moreover, from the analysis of the two particular cases of floods, the results are consistent with the above mentioned.

**Palabras clave:** precipitación estimada, altura hidrométrica, Cuenca del Río Iguazú.

## 1) INTRODUCCIÓN

La precipitación es una de las variables meteorológicas más influyentes en el sistema hidroclimático. Es una de las componentes más importante y determinante en los eventos hidrológicos de fuerte impacto como pueden ser las inundaciones por crecidas. Es un parámetro de ingreso “input” fundamental para los sistemas hidrológicos (cuencas y/o subcuencas hídricas), influenciando de forma local o remota en la altura hidrométrica observada para un punto de cierre específico de la cuenca hídrica. Un registro continuo de la precipitación, así como también del nivel hidrométrico, es relevante para determinar el comportamiento de un sistema hidrológico. Por lo tanto, conocer la relación entre la precipitación en cada punto de una cuenca hídrica y la altura hidrométrica en un punto de cierre específico es una tarea de gran importancia para determinar el grado de impacto de los eventos precipitantes en un sistema hidrológico. En Argentina, las poblaciones asentadas en las regiones

riberañas son las más vulnerables ante la ocurrencia de este tipo de eventos (Latrubesse y Brea 2010). El impacto social y económico que tienen en la sociedad es muy alto y por ello es de importancia su continuo estudio, monitoreo y predicción para atenuar dichos impactos.

Para determinar la precipitación areal en una cuenca se emplea frecuentemente la red de pluviómetros disponibles instalados en superficie, la cual puede ser convencional o automática. En muchas situaciones esta red es escasa o no funciona en los tiempos operativos para la determinación de situaciones de desastres. Si bien hay muchas iniciativas tendientes a mejorar este aspecto, una alternativa viable es la utilización de estimaciones satelitales. Uno de los productos más utilizados es el de la misión TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission, por sus siglas en inglés), el cual es generado a partir de información extraída de las bandas visible, infrarrojo, microondas pasivo y del radar a bordo del satélite. En la actualidad existen numerosos trabajos que emplean estimaciones satelitales de precipitación en lugar de observaciones convencionales y automáticas debido al beneficio de su gran cobertura espacial. Para un empleo adecuado de dicha información, es muy importante la verificación y evaluación del error. Análisis sobre los errores en las estimaciones se presentan en los trabajos de Hobouchian y otros, 2012; Cerrudo y otros, 2013.

En este trabajo se analiza la relación espacio temporal entre la precipitación estimada por el satélite TRMM Versión 3B42RT en la cuenca del río Iguazú y la altura hidrométrica en el puerto Iguazú. Además, con el objetivo de verificar los resultados obtenidos se diagnostican los casos de crecidas ocurridas en el puerto Iguazú en junio 2013 y junio 2014.

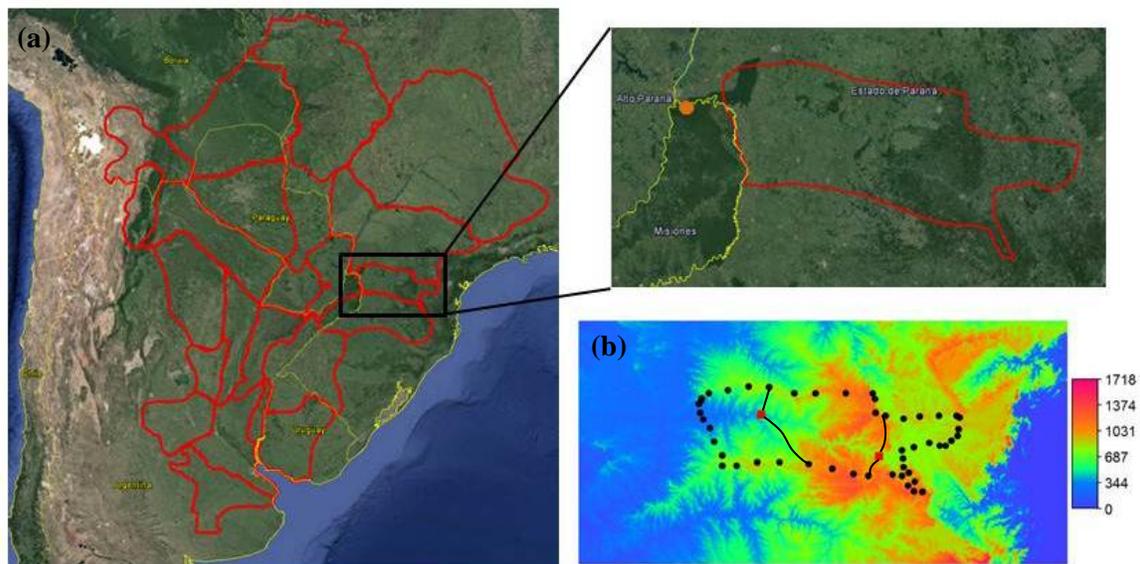
## 2) DATOS Y METODOLOGÍA

La región de estudio es la correspondiente a la subcuenca hídrica de río Iguazú, perteneciente al sistema hidrológico de la Cuenca del Plata (**Figura 1**). La mayor parte de la cuenca del Iguazú se encuentra en el territorio de Brasil. El río Iguazú nace en el cordón montañoso brasileño denominado Serra do Mar en el estado de Paraná, donde comienza su recorrido de aproximadamente 1300 kilómetros hasta su desembocadura en el río Alto Paraná. La **Figura 1 (b)** muestra el modelo de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés) con una resolución espacial de 1 km de la misión SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, por sus siglas en inglés). A partir de este, puede apreciarse que gran parte de la cuenca media (definida entre Salto Osorio y Uniao da Vitoria, indicados con un punto rojo en **Figura 1 (b)**) se encuentra aproximadamente 500 mts más elevados sobre el nivel del mar que la cuenca baja. Las secciones de la cuenca consideradas en el trabajo (baja, media y alta) son las aplicadas por el INA (Instituto Nacional del Agua) en función de la distribución de embalses que se encuentran en la zona (Goniadzki y Borús 2015)

Los datos utilizados para el trabajo son las estimaciones de precipitación acumulada en 24 horas a partir del satélite TRMM Versión 3B42RT para la cuenca Iguazú y las alturas hidrométricas observadas del puerto Iguazú (54° 34' 47.5'' O y 25° 35' 35.7'' S) para el período 2001 – 2013 obtenidas de la base hidrológica de la Subsecretaría de Recursos Hídricos ([http://www.hidricosargentina.gov.ar/acceso\\_bd.php](http://www.hidricosargentina.gov.ar/acceso_bd.php)). Las características principales del satélite TRMM son: resolución espacial de 0.25° x 0.25°, resolución temporal de 3 hrs, dominio global de 50°N-50°S y se encuentra disponible desde el año 1998. La serie correspondiente al dato de altura hidrométrica se definió a partir del máximo valor diario disponible en los registros realizados por la estación. Cabe aclarar que en algunos casos los registros diarios contaban únicamente con uno o dos datos, mientras que otros días tenían un registro mayor a quince datos. Los datos faltantes en dicha serie fueron completados realizando el promedio entre el día anterior y posterior. La cantidad de datos faltantes corresponde aproximadamente a un 1% del total de la serie. Sin embargo, en los casos en donde hubo cantidad de días sucesivos con dato faltante, se verificó que en ninguno de esos días se

hubieran producido abundantes precipitaciones que pudieran haber afectado el nivel hidrométrico del puerto. En los casos particulares de junio del 2013 y 2014, también se utilizaron las observaciones pluviométricas provenientes de la red de monitoreo del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para la estación Iguazú Aero.

Cabe señalar que se realizó una evaluación del desempeño de la precipitación acumulada en un período de 10 días (valor decádico) calculada a partir de las estimaciones satelitales en los puntos más cercanos a las estaciones del SMN pertenecientes a la cuenca del río Iguazú para el período 1998 - 2012. Con este propósito se calculó el error cuadrático medio (ECM) en las estaciones Iguazú y Bernardo de Irigoyen, teniendo como referencia los datos decádicos obtenidos a partir de las observaciones diarias realizadas por la red operativa del SMN. Dicho cálculo arroja un ECM de precipitación cada 10 días de entre 36 y 28.9 mm para cada una de las estaciones respectivamente.



**Figura 1: Región de estudio: (a) Sistema hidrológico de la Cuenca del Plata junto con la subcuenca del río Iguazú. En naranja se indica la posición del puerto Iguazú. (b) DEM de la región de la cuenca Iguazú con el límite aproximado de la cuenca (puntos negros). Los puntos rojos y líneas negras llenas indican aproximadamente los límites de cada una de las secciones de la cuenca Iguazú. Desde la región este de la cuenca hasta el primer punto rojo (Uniao da Vitoria) se define la cuenca alta, desde esta ubicación hasta el siguiente punto rojo (Salto Osorio) se encuentra la cuenca media y finalmente, entre esta locación y la zona oeste se limita la cuenca baja.**

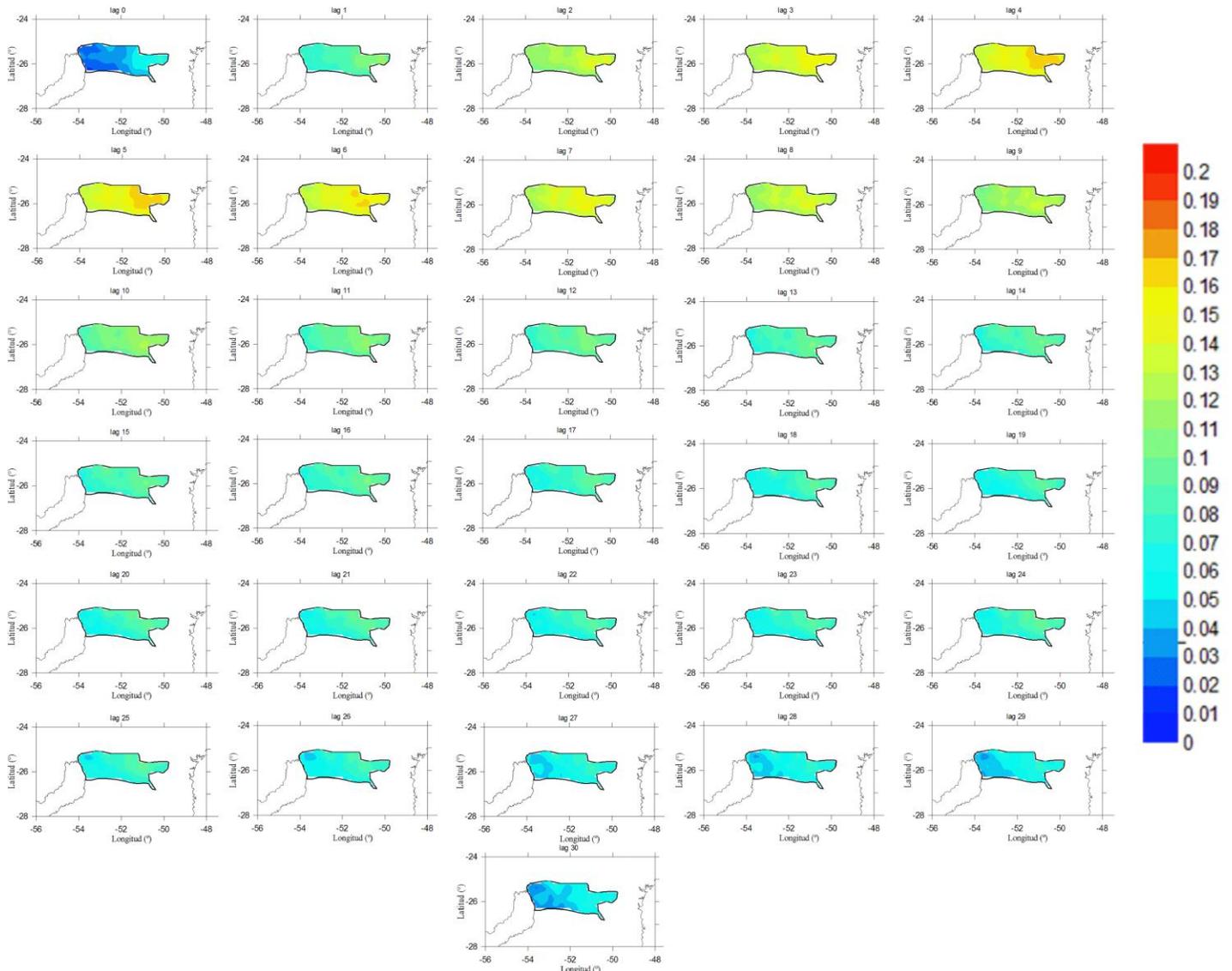
Con el objetivo de encontrar una relación espacio temporal entre la precipitación ocurrida en la cuenca del río Iguazú y la altura hidrométrica observada en el puerto, se realizó la correlación entre la precipitación diaria estimada en cada punto de retículo del satélite TRMM contenido dentro de la cuenca del río Iguazú y el máximo valor diario de altura hidrométrica disponible en los registros del puerto Iguazú, el cual es tomado como punto de cierre de la cuenca. Por otra parte, para evaluar el tiempo de respuesta hidrológica de la cuenca a la ocurrencia de precipitación, se analizó la correlación cruzada y desfasada (lags) temporalmente entre las variables mencionadas anteriormente. De esta manera, se obtuvieron distintos campos de correlación desfasada a paso diario (desde lag 0 hasta lag 30).

Por último, a raíz de los resultados obtenidos, se realiza un estudio para dos eventos particulares de importante crecida del río Iguazú, como fueron los ocurridos en junio de 2013 y junio de 2014, con el objetivo de corroborar el impacto de la precipitación sobre la altura hidrométrica observada en el

puerto Iguazú. Para ello se analizó la distribución espacial y temporal de la precipitación estimada y observada en relación al momento del pico de crecida en cada caso.

### 3) RESULTADOS

La **Figura 2** representa los campos de correlación desde lag 0 hasta lag 30 entre la precipitación estimada en los puntos de retículo del satélite TRMM pertenecientes a la cuenca del Iguazú y el registro de máxima altura hidrométrica diaria disponible en el puerto Iguazú.



**Figura 2:** Campos de correlación entre la precipitación estimada en cada punto de retículo del satélite TRMM dentro de la cuenca del Iguazú y la altura hidrométrica en el puerto Iguazú. Las correlaciones van desde lag 0 (superior izquierda) hasta lag 30 (inferior). El rango de valores de correlación se define entre 0 y 0.2.

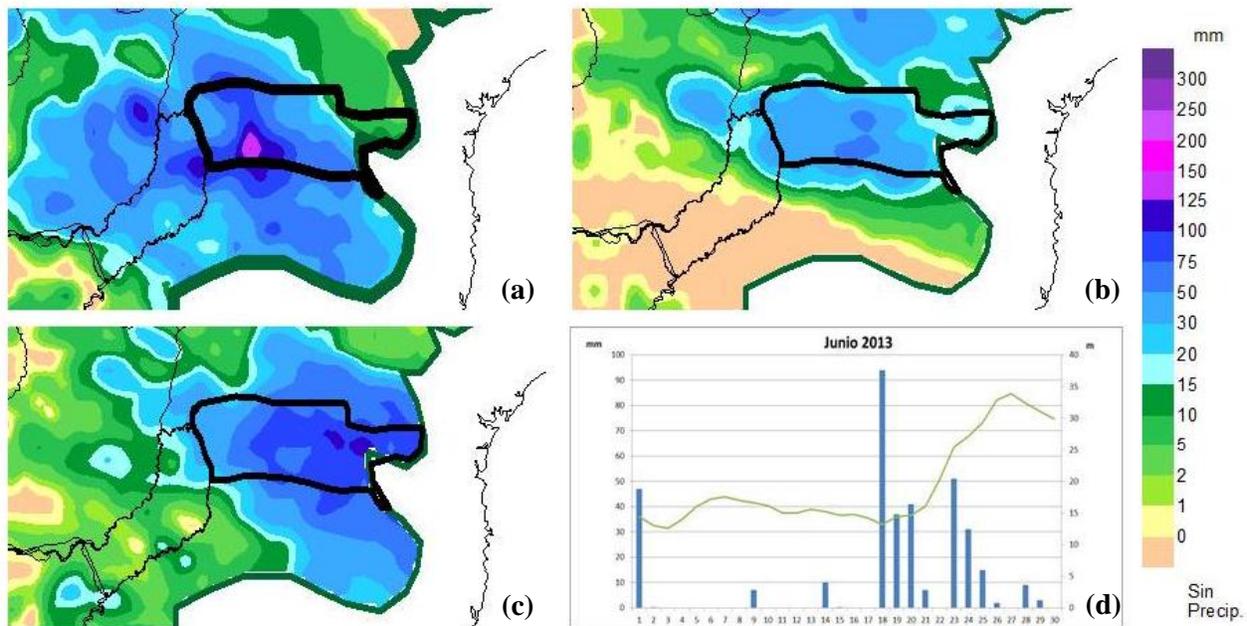
A partir de la **Figura 2** se puede observar que las máximas correlaciones se dan principalmente en la cuenca media/alta y en los lag 4, 5 y 6 con valores que llegan a 0.17. También se observa un importante cambio entre el lag 0, 1 y 2, ya que entre el lag 0 y 2 hay un aumento del doble en la correlación espacio temporal. Por último, entre los lags 11 y 25 no se observan muchas diferencias y la

correlación se estabiliza en valores del orden de 0.1. A partir del lag 25 comienzan a generarse valores cada vez menores de correlación, principalmente en la cuenca baja, a tal punto que el campo de lag 0 es muy similar al campo de lag 30. Cabe aclarar que los valores del coeficiente de correlación superiores a 0.028 y 0.037 son significativos al 95% y 99% respectivamente.

En función de lo observado en la **Figura 2**, se puede concluir que el registro de alturas máximas diarias del puerto Iguazú se encuentra mayormente influenciado por la precipitación estimada ocurrida en gran parte de la cuenca alta y parte de la media y entre 4 y 6 días después de ocurridos los eventos de precipitación. Sin embargo, vale destacar que las mayores correlaciones comienzan a aparecer a partir del lag 2, momento en el cual los valores se duplican con respecto al lag 0.

A continuación, se lleva a cabo el análisis de las crecidas ocurridas en junio del 2013 y junio del 2014. El evento de crecida en el caso del 2013 ocurrió en la segunda mitad del mes, mientras que en el caso del 2014, en la primera mitad del mes. Vale la pena destacar que en ambos casos hay ciertos patrones de circulación atmosférica, como ser la existencia de trenes de ondas de Rossby y una importante actividad de la Oscilación de Madden Julian (MJO, por sus siglas en inglés) intensificando la variabilidad intraestacional (<http://cawcr.gov.au/staff/mwheeler/maproom/RMM/phasediag.list.htm>) en la región de estudio.

La **Figura 3 (a), (b) y (c)** muestra los campos diarios de precipitación estimada por el satélite TRMM para los días 18, 19 y 20 de junio 2013. La **Figura 3 (d)** muestra la evolución temporal de la precipitación diaria observada en la estación Iguazú Aero (en barras) y la marcha de altura hidrométrica en el puerto Iguazú (en línea) para el mes de junio de 2013.

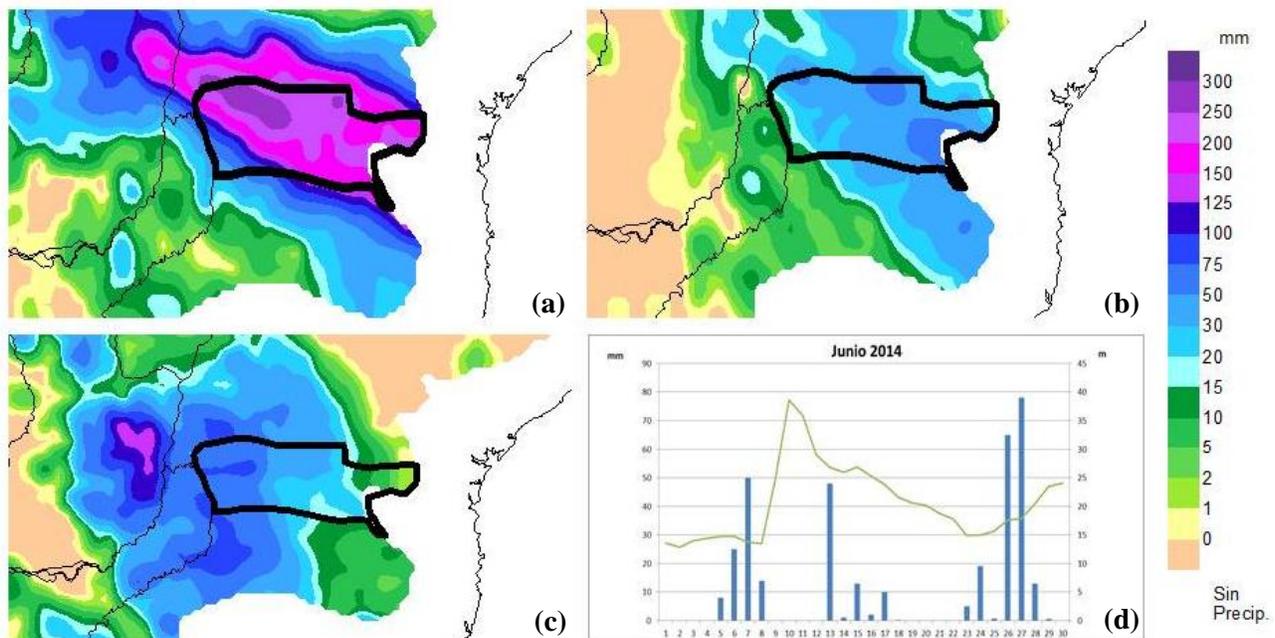


**Figura 3:** Campos de precipitación estimada por el satélite TRMM en la cuenca del Iguazú y alrededores: (a) 18 de junio 2013, (b) 19 de junio 2013, (c) 20 de junio 2013. (d) Precipitación diaria (barras azules) en mm y altura hidrométrica (línea llena verde) en metros, en la estación Iguazú Aero y el puerto Iguazú respectivamente, para junio 2013.

A partir de la **Figura 3 (d)** se observa que, a pesar de que la estación Iguazú Aero registró precipitaciones de aproximadamente 100 mm para el día 18 de junio, el registro hidrométrico del puerto Iguazú no muestra un importante cambio hacia el día siguiente y lo mismo sucede entre los días

19 y 20 de junio. Observando la **Figura 3 (a)** se puede apreciar que la mayor cantidad de precipitación ha ocurrido en la cuenca baja, mientras que en la **Figura 3 (b)** el máximo de precipitación se presenta en la cuenca media. Por otro lado, el campo del 20 de junio (**Figura 3 (c)**), muestra un máximo generalizado de precipitación en la cuenca alta y media. A partir del día 20 de junio se observa un aumento importante del nivel hidrométrico en el puerto Iguazú (**Figura 3 (d)**), el cual se mantiene hasta llegar a su pico máximo de crecida aproximadamente el día 27, una semana después de las precipitaciones registradas en la cuenca alta el día 20.

Análogamente se analizó el evento ocurrido en junio del 2014 (**Figura 4**). Las precipitaciones máximas que se produjeron en la cuenca alta y media sucedieron los días 07 y 08 de junio (**Figura 4 (a)** y **(b)**). A partir del día 08 se observa un importante aumento en la altura del río en puerto Iguazú, hasta alcanzar su pico máximo el día 10 de junio (**Figura 4 (d)**), cuatro días después de ocurridas las precipitaciones mencionadas anteriormente en la cuenca el día 07. Luego, el nivel hidrométrico disminuye. Por otra parte, cabe destacar que a pesar de que el día 13 de junio se produjeron precipitaciones de casi igual magnitud que el día 07 en la estación Iguazú Aero, la altura del río en el puerto no refleja una importante respuesta a las mismas. Por último, al observar el campo de precipitación del día 13 (**Figura 4 (c)**), se puede apreciar que las máximas precipitaciones se ubicaron en la parte más baja de la cuenca, sin contribuir a un aumento de la altura del río.



**Figura 4:** Campos de precipitación estimada por el satélite TRMM en la cuenca del Iguazú y alrededores: (a) 07 de junio 2014, (b) 08 de junio 2014, (c) 13 de junio 2014. (d) Precipitación diaria (barras azules) en mm y altura hidrométrica (línea llena verde) en metros, en la estación Iguazú Aero y el puerto Iguazú respectivamente, para junio 2014.

#### 4) CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en la sección anterior se desprende que la altura hidrométrica registrada en el puerto Iguazú es más sensible a la precipitación diaria ocurrida en la región alta y parte de la región media de la cuenca entre 4 y 6 días antes del pico hidrométrico observado. Este efecto puede ser justificado por la topografía de la cuenca (ver **Figura 1 b**), que muestra una mayor altura del terreno en la zona de la cuenca alta, permitiendo un mayor escurrimiento del agua caída en esta zona.

Por otra parte, el análisis de los casos particulares de crecidas de junio 2013 y junio 2014, evidencian resultados consistentes con los obtenidos a partir del análisis de correlación espacio temporal entre la precipitación diaria estimada y la altura hidrométrica registrada en el puerto a partir de 13 años de datos.

Por último, se remarca el rol de la circulación atmosférica en la ocurrencia de estos eventos de crecida del río Iguazú. Según Alvarez y otros 2014, quienes estudian el patrón principal de variabilidad intraestacional para el trimestre junio – julio – agosto (índice SIS\_JJA), en la región del sudeste de Sudamérica y su relación con la precipitación diaria, encuentran para la estación Iguazú más de un 68.4% de probabilidad que durante una fase positiva del SIS\_JJA se produzcan eventos de 2 y 3 días consecutivos de lluvia. Este resultado de los autores mencionados podría estar asociado con los casos analizados en este trabajo.

A futuro se propone analizar esta misma metodología para distintas estimaciones satelitales de precipitación y para distintas cuencas. De esta manera, se busca obtener la respuesta hidrológica de otras cuencas y/o subcuencas de Argentina y por otro lado, realizar un estudio comparativo entre las estimaciones TRMM y otras estimaciones satelitales.

**AGRADECIMIENTOS:** Al Ing. Juan A. Borús, integrante del Área de Hidrología de la Dirección de Sistemas de Información y Alerta Hidrológico del INA, por proveer la información referente a la delimitación de las distintas secciones de la cuenca Iguazú.

## **REFERENCIAS**

**Alvarez, M., Vera C., Kiladis G., and Liebmann B., 2014:** Intraseasonal Variability in South America during the Cold Season. *Climate Dynamics*, 42, 3253-3269.

**Cerrudo C., Díaz G. y Ferreira L., 2013:** Evaluación preliminar de la precipitación estimada por satélite en un conjunto de subcuencas pertenecientes a la Cuenca del Plata. V Simpósio Internacional de Climatología. Florianópolis, Brasil.

**Goniadzki D. y Borús J., 2015:** Monitoreo hidrológico de la cuenca del río Iguazú. Dirección de Sistemas de Información y Alerta Hidrológico. Instituto Nacional del Agua - Ezeiza, Argentina.

**Hobouchian M. P., Salio P., Vila D. y García Skabar Y., 2012:** Validación de estimaciones de precipitación por satélite sobre Sudamérica utilizando una red de observaciones de alta resolución espacial. XI Congreso Argentino de Meteorología. Mendoza.

**Latrubesse E. y Brea D. 2010:** Floods in Argentina. *Developments in Earth Surface Processes* Volume 13, 2009, Pages 333–349. *Natural Hazards and Human-Exacerbated Disasters in Latin America*.