

ESTIMACION DE PRECIPITACIONES EXTREMAS A TRAVES DE IMÁGENES GSMaP Y APLICACIÓN HIDROLOGICA DE LA CRECIDA DEL ARROYO TELSEN, CHUBUT, PATAGONIA ARGENTINA.

Colombani Erica¹, Behr Santiago¹, Brandizi Laura², Rodriguez Andrea³
colombani.eric@inta.gob.ar

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Chubut
²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Alto Valle

RESUMEN

Durante los primeros días del mes de abril del 2014 se registraron tormentas de variada intensidad sobre la parte norte de la Patagonia donde en muchos casos, tuvieron la característica de superar los valores históricos. Las técnicas de estimación de precipitación mediante imágenes de satélite podrían ser una fuente de información valiosa para obtener una representación continua de la lluvia para toda la superficie analizada y apoyar la modelación hidrológica en regiones donde los datos de precipitación en tierra son escasos. El objetivo de este trabajo fue evaluar las características de las precipitaciones y estimar la crecida extraordinaria de la cuenca del arroyo Telsen mediante la utilización de datos GSMaP (Global Satellite Mapping of Precipitation) y datos de pluviómetros terrestres. Los estadísticos analizados para comparar la precipitación observada y las estimadas arrojaron coeficientes altamente significativos, lo cual permitiría alta confiabilidad en los datos estimados para ajustar las precipitaciones en sitios que no cuentan con datos meteorológicos de campo. A través de ésta técnica facilitaría la elaboración de mapas de distribución de precipitaciones. Esta metodología permitiría, además, utilizar las estimaciones de precipitación en aplicaciones hidrológicas ampliando los análisis de las problemáticas regionales respecto a los recursos hídricos, aún en los casos en donde no se disponen de datos medidos in situ.

ABSTRACT

During the first days of April 2014 a number of storms were recorded on the northern part of Patagonia. In many cases, the intensity of these storms exceeded historical values. Precipitation estimation techniques using satellite imagery is a source of valuable information for continuous representation of precipitation in particular for areas where available rainfall data is scarce. The rain for all the analyzed surface and hydrological modeling support in regions where rainfall data are few. The objective of this study is to evaluate the characteristics of precipitation and estimate the extension of the flooded area in the Telsen subbasin using GPSMAP data (Global Satellite Mapping of Precipitation) and data from ground rain gauges. Data was statistical analyzed. Observed and estimated precipitation were compared and found to be strongly and significantly correlated. These results suggest that satellite estimations of precipitation can potentially produce reliable estimated rainfall data

for places where there is not available meteorological field data. The use of this technique would facilitate the mapping of rainfall distribution. This methodology also allows for the use of estimates of precipitation in hydrological applications extending the analysis of regional issues regarding water resources, even in cases where there is no available data measured in situ.

Palabras clave: sensores remotos, modelo hidrológico, precipitaciones.

1) INTRODUCCIÓN

El clima de un lugar se describe por aquellos fenómenos meteorológicos que se dan normalmente en una región. Para realizar su descripción se utilizan valores medios o normales de diferentes variables meteorológicas. La superación de los valores medios puede indicar la presencia de algún fenómeno extremo que puede implicar un riesgo para la sociedad.

La precipitación varía temporal y estacionalmente. Ambas variaciones son muy importantes en estudios hidrológicos y en la planificación del uso del agua. Las variaciones temporales en la intensidad de precipitación (cantidad de precipitación por unidad de tiempo, mm/h) son extremadamente importantes en el proceso de precipitación-escorrentía, sobre todo en áreas urbanas, así como su distribución espacial respecto a la evacuación del agua caída.

Cantidades elevadas de precipitación en un espacio corto de tiempo pueden generar avenidas e inundaciones, pero además de tener en cuenta el agua que entra en una zona en forma de lluvia, también es importante ver las características del espacio receptor de esta lluvia. Así, desde un punto de vista del medio natural, se tendrá en cuenta la pendiente, la permeabilidad del terreno y la presencia de vegetación. Es muy importante considerar el grado de antropización del territorio y los usos del suelo.

Los sistemas de recursos hídricos son sensibles a las variabilidades climáticas y tanto el pronóstico a corto y largo plazo de variables meteorológicas son fundamentales para la planificación del uso de estos recursos y la mitigación de eventos de sequía y exceso de lluvia. Es fundamental avanzar en el conocimiento de técnicas para determinar las anomalías de precipitación y desarrollar una mayor capacidad de pronóstico que permita atenuar las consecuencias de sus variabilidades en diferentes escalas temporales.

Los modelos hidrológicos permiten simular, evaluar y pronosticar los daños que pueden causar inundaciones y sequías; resolver problemas prácticos de inventario y planear, diseñar, administrar y tomar decisiones sobre los recursos hídricos en una cuenca.

A través de la adecuada cuantificación de las variables que intervienen en el balance hídrico mediante modelos hidrológicos ad hoc, se puede evaluar el funcionamiento hidrológico actual y pronosticar su comportamiento futuro. Esto colabora directamente en la planificación de actividades de manejo de los recursos y la toma de decisiones de un modo racional.

La lluvia es también el parámetro de entrada más importante en los modelos de escorrentía de precipitaciones (Beven, 2001; Croke y Jakeman, 2007), los modelos de recarga de aguas subterráneas (Abdulla y Al-Assa'd, 2006; Merkel y Sperling, 1993), los escenarios de cambio climático (Dolman y Gregory, 1994) y los modelos hidro-químicos (Brezonik y Stadelmann, 2002) citado de Abushandi y Merkel, 2011).

Las técnicas de estimación de precipitación mediante imágenes de satélite podrían ser una fuente de información valiosa para apoyar la modelación hidrológica en regiones en donde los datos de precipitación en tierra sea escasa, tal como lo expresa Rainbird (1967), la formulación de un buen plan de predicción, requiere de información fiable de la cuenca hidrográfica en cuanto a mediciones hidrológicas y meteorológicas, las cuales en la mayoría de las cuencas se miden puntualmente con limitantes por baja densidad espacial de la red, disponibilidad del personal y por el costo de la transferencia de datos. Los satélites meteorológicos son capaces de ver cada punto de la tierra periódicamente y así hacer una rápida captura de datos, siempre que la variable se pueda medir directamente por los sensores transportados, evitando la necesidad de interpolar datos entre la red de estaciones convencionales de información. De acuerdo con esto, la hipótesis que se plantea inicialmente es: la predicción y simulación de un sistema hidrológico se puede mejorar con la utilización de componentes meteorológicos estimados por técnicas de teledetección o percepción remota.

El objetivo de este trabajo fue evaluar las características de las precipitaciones ocurridas en abril del 2014 sobre las provincias de La Pampa, Río Negro, Neuquén, y Chubut y estimar la crecida extraordinaria de la cuenca del arroyo Telsen mediante la utilización de datos GSMaP y datos de pluviómetros terrestres. Por otra parte, este estudio tiene como objetivo desarrollar una técnica para ajustar los datos de las imágenes GSMaP por medio de los datos de pluviómetros y técnicas de interpolación estándar para percibir una buena comprensión de la variabilidad de las precipitaciones en las regiones áridas, reducir los errores potenciales de estimaciones pluviométricas, y producir mapas con una mejor distribución de las precipitaciones a escala.

2) METODOLOGÍA

El área de estudio abarca cuatro provincias de la región Patagónica: La Pampa, Neuquén, Río Negro y Chubut. Se analizaron datos de lluvia diarios, del 1 al 15 de abril, abarcando días sin precipitaciones y los días con las máximas ocurridas en el evento del 2014. Se recopiló información pluviométrica de 61 estaciones meteorológicas distribuidas en forma no homogénea en las diferentes provincias del área de estudio. Los datos se extrajeron de diferentes fuentes oficiales, particulares y de la red de estaciones del INTA.

El sistema de estimación de precipitaciones mediante imágenes satelitales se realizó con imágenes GSMaP desarrollado en conjunto entre las agencias espaciales norteamericana (NASA) y japonesa (JAXA). Para la estimación de la precipitación, se utilizan los datos de varios radiómetros (GMI, TMI, AMSR2, AMSR-E, SSM/I, SSMIS y AMSU-A/MHS) emplazados en diversas plataformas satelitales, los cuales obtienen información acerca de contenido de vapor de agua, nieve, hielo y temperatura de las

nubes, humedad del suelo y temperatura de los océanos. Con todo lo anterior, se aplican algoritmos que filtran la información no deseada, luego se separan los píxeles donde se considera que no ha habido precipitación, y en los que sí hubo se estima la tasa de precipitación en mm/hora. El sistema funciona en tiempo casi real (sólo 4 horas de retraso) y con una resolución espacial de 0.1 grados decimales (aprox. 11km). El dato de precipitación corresponde al acumulado horario entre las 00 y las 23:59 hs.

Para realizar la evaluación y comparación entre los datos pluviométricos y los estimados por satélite, se calcularon diferentes estadísticos clásicos: el sesgo Bias, que es la relación entre la precipitación estimada por satélite y la cantidad de precipitación observada y el coeficiente de correlación, que representa el grado de asociación lineal entre la estimación y las observaciones.

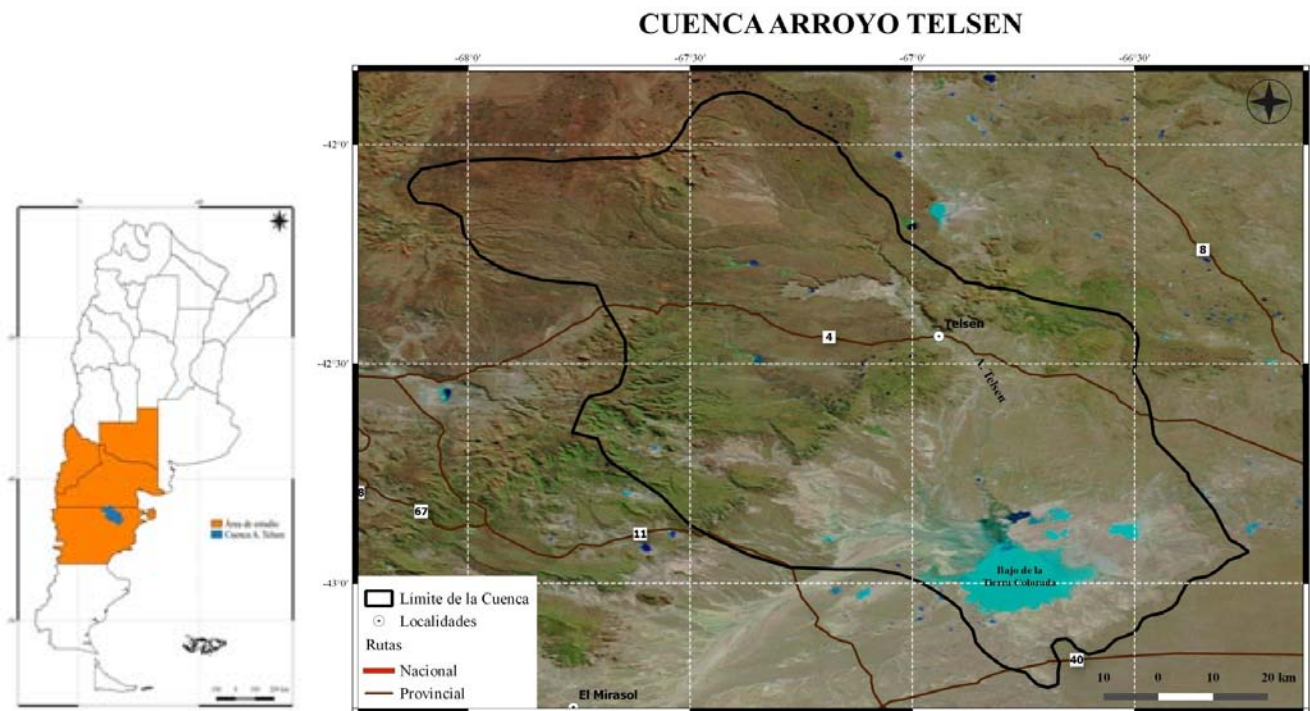


Figura 1: ubicación geográfica del área de estudio.

El estudio hidrológico se realizó en la cuenca del arroyo Telsen, ubicado en el centro norte de la provincia de Chubut (Figura 1). Este arroyo irriga un pequeño valle, cuyo aporte de agua se debe a cañadones intermitentes que colectan agua en épocas de lluvia. La cuenca del arroyo Telsen tiene una superficie total de 52.572 Ha (525.72 Km²) desde sus nacientes cerca del límite de Chubut con la provincia de Río Negro, en la meseta de Somuncurá, sierras Apas y Talagapa, transitando posteriormente las aguas por la meseta aterrazada, a cuyo límite se forman cañadones que al unirse constituyen el valle del arroyo Telsen propiamente dicho. Esta extensa cuenca situada a más de 600 msnm, presenta un clima árido propio de la estepa patagónica, rodeada por sierras de más de 1000 metros de altura.

Se utilizó el modelo hidrológico HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) para estimar el caudal

máximo ocurrido por el evento de precipitación extrema registrado. El modelo está diseñado para simular la respuesta hidrológica de una cuenca a la precipitación, permitiendo establecer componentes interconectados que modelan cada aspecto del proceso lluvia-escurrimiento. El componente de tránsito de caudales se utiliza para representar el movimiento de las ondas de crecida a lo largo del cauce principal proporcionando el hidrograma de salida de la cuenca.

Para estimar el caudal generado por las sub-cuencas de aporte se utilizó el método del Número de Curva del Servicio de Conservación de Suelos (S.C.S) complementado con el respectivo hidrograma sintético triangular Campos (1982, 1991) y se seleccionó el modelo de propagación de onda de Muskingum - Cunge (Ponce, 1989). Los parámetros hidrológicos e hidráulicos necesarios para realizar la simulación se recopilaron de diferentes bases de datos incluyendo el informe de Coronel (2002) del cual se obtuvieron las características geomorfológicas de la cuenca.

3) RESULTADOS

El evento meteorológico estudiado fue uno de los más intensos registrados en los últimos años en la región Patagónica. La persistencia de una masa de aire relativamente cálido y húmedo sumado a un sistema de baja presión provocó intensas lluvias en dos centros de tormenta, uno ubicado en la región pampeana, desplazándose hacia la costa sur bonaerense y otro centro ubicado en la provincia de Neuquén y la zona oeste de Río Negro, desplazándose hacia el sudeste. En la provincia de La Pampa las precipitaciones comenzaron el día 1 de abril intensificándose hacia el día 3, con valores acumulados diarios superiores a los 50 mm. El día 5 la ciudad de General Pico presentó los registros máximos del día, con un acumulado de 83 mm. La ciudad de Dorila fue la que presentó los mayores registros pluviométricos, con un total de 260 mm en el período de estudio.

El centro de tormenta ubicado en las provincias de Neuquén y Río Negro comenzó a intensificarse el día 2, con precipitaciones diarias que superaron los 20 mm en las localidades de Maquinchao y Jaccobaci.

La evolución diaria de éste fenómeno se llevó a cabo a través de la digitalización de las precipitaciones observadas en los diferentes sitios y la interpolación de los mismos. El día 4 las lluvias comenzaron a intensificarse, con registros que superaron los 64 mm en Villa Regina y 53 mm en San Antonio Oeste. El día 7 y 8 los registros superaron los 87 mm en la ciudad de Cipolletti y Maquinchao provocando pérdidas económicas en los sistemas productivos y gran parte de las ciudades afectadas por inundaciones, más de 1500 evacuados y el registro de un fallecido. El registro máximo acumulado fue en Cipolletti con 199 mm. Según el informe del Servicio Meteorológico Nacional del 30 de abril de 2014, la ciudad de Neuquén se posicionó en segundo lugar del ranking mensual histórico, con una precipitación acumulada para el mes de abril de 229 mm, datos correspondientes al período 1947-2014.

Las lluvias en la provincia de Chubut se manifestaron intensamente el 7 de abril por la noche y durante la madrugada del 8 con un centro de tormenta en el noreste de la provincia y una cobertura total de 150 km de radio aproximadamente.

La localidad de Telsen fue la más afectada de la provincia de Chubut, con un acumulado de 248 mm, las intensas precipitaciones ocasionaron una crecida repentina y extraordinaria del arroyo homónimo que desbordó hacia ambos márgenes.

Según el informe realizado por el INTA en una recorrida de la zona luego del desastre, el ancho de cauce en algunos sectores alcanzó valores superiores a los 800 metros cuando habitualmente corre por un cauce que escasamente supera los 3 metros. Según el relato de los pobladores más antiguos del lugar, fue un hecho nunca antes visto, el agua comenzó a desplazarse conformando una pared que arrasaba con toda estructura que se encontrara en el camino.

La zona quedó incomunicada con el resto de la provincia por anegación en las rutas, más de 30 familias evacuadas y dos fallecidos. Las ciudades de Puerto Madryn, Trelew y Gaiman también sufrieron graves consecuencias por las intensas lluvias, con zonas anegadas, evacuados y daños materiales.

En el día 1 se registraron en promedio precipitaciones no mayores a 0,9 mm. Los datos estimados analizados con las imágenes fueron en promedio de 2,5 mm con un coeficiente de correlación de 0,86 y un valor de Bias de 1,53 mm.

Según los datos de precipitaciones estimados por las imágenes satelitales y las lluvias registradas para el día 2, coinciden en gran medida, principalmente el centro de la tormenta (Figura 2). Los valores máximos de precipitaciones para ese día fueron de 23,6 mm para la Aldea Escolar de Sepaual a unos 35 km de la localidad de Telsen y los estimados fueron de 20 mm. El coeficiente de correlación fue de 0,57 con un Bias de -0,25 mm, lo cual nos estaría

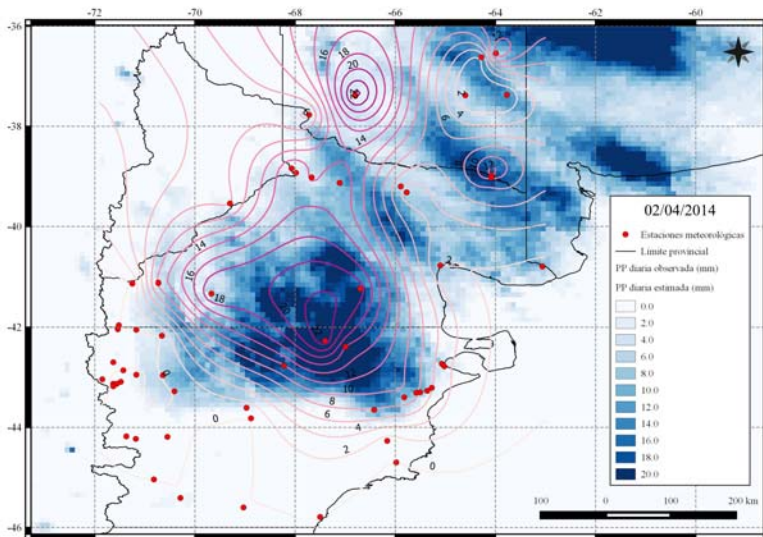


Figura 2: precipitación diaria acumulada estimada y observada (mm).

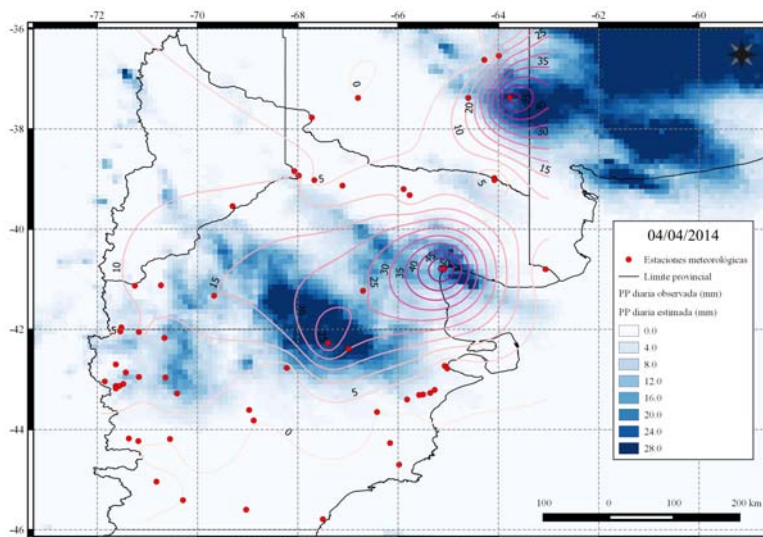


Figura 3: precipitación diaria acumulada estimada y observada (mm).

indicando que las lluvias ocurridas fueron superiores a las estimadas por satélite.

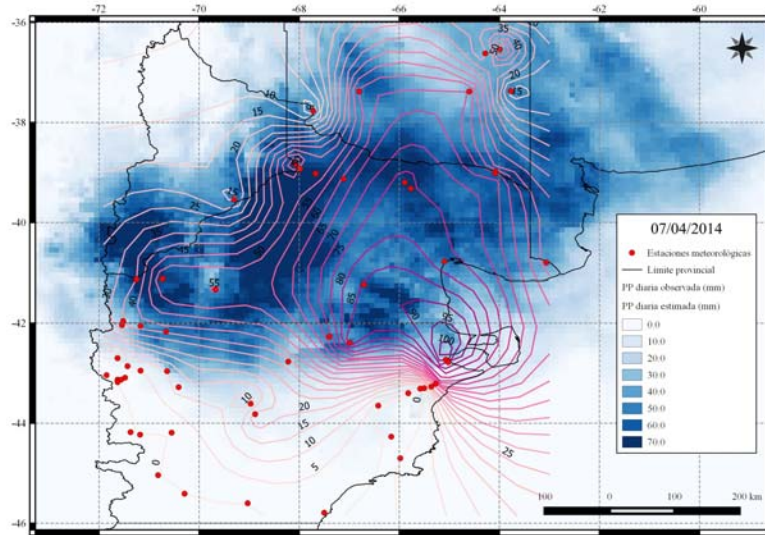


Figura 4: precipitación diaria acumulada estimada y observada (mm).

En el día 3 se registraron precipitaciones en San Antonio Oeste y algunos puntos de La Pampa, en estos últimos el centro de tormenta coincidió con lo estimado en las imágenes satelitales, no ocurriendo lo mismo con los registros para la localidad costera. El coeficiente de correlación encontrado fue de 0,73 con un Bias de -2,67 mm.

En la figura 3 se puede observar que los centros de mayores registros pluviométricos del día 4 coincidieron mayormente con lo estimado en las imágenes, el coeficiente de correlación calculado para ese día fue de 0,6 y el Bias de -4,1 mm, remarcando una subestimación del valor pluviométrico estimado por las imágenes satelitales.

Los días 5 y 6 presentaron valores máximos promedio para todos los puntos de precipitaciones de 8,4 y 7 mm, con valores estimados de 5 y 5,1 mm respectivamente. El coeficiente de correlación encontrado fue de 0,78 y 0,56 con un Bias de -3,36 y -1,91 mm respectivamente.

El día 7, con la intensificación de las lluvias en todos los centros de tormenta, las precipitaciones estimadas no superaban los 70 mm, sin embargo se registraron valores superiores a los 100 mm (Puerto Madryn con 109 mm) (Figura 4). El coeficiente de correlación encontrado fue de 0,59 y el Bias de 0,15 mm.

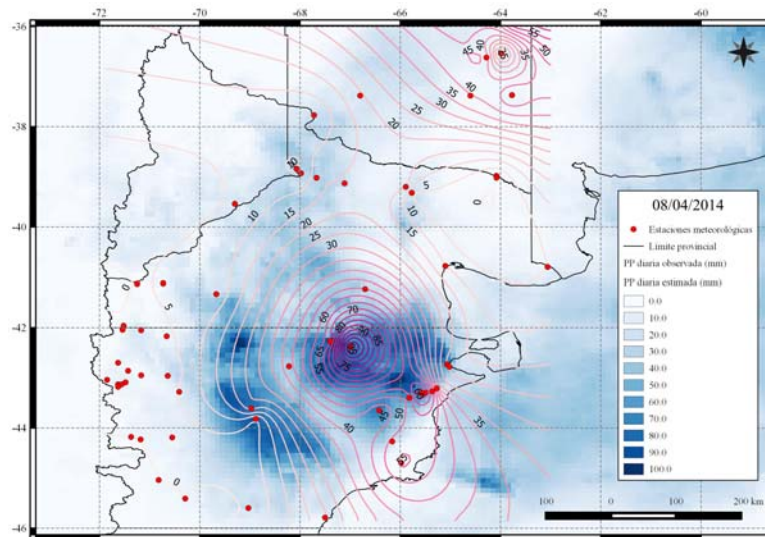


Figura 5: precipitación diaria acumulada estimada y observada (mm).

Las precipitaciones ocurridas en el día 8 también fueron intensas en varios de los puntos analizados. Telsen fue la localidad que reportó los valores más altos, con 109,7 mm. El valor estimado era de 73 mm. El Bias promedio para todos los puntos registró un valor de -0,52 mm y un coeficiente de correlación de 0,42. En el mapa realizado (Figura 5) se puede

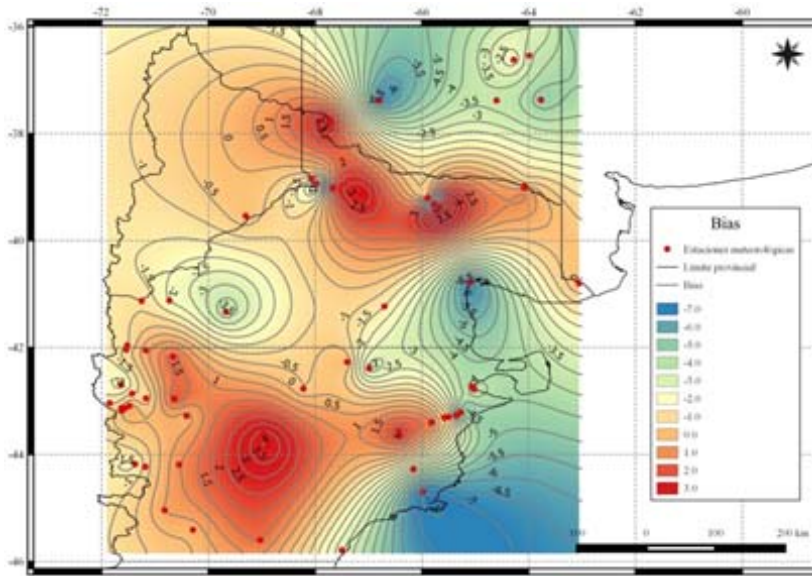


Figura 6: distribución espacial del Bias (mm).

observar una gran coincidencia entre los valores observados y el centro de tormenta del noreste de la provincia de Chubut, con precipitaciones estimadas de 100 mm en algunos pixel.

Del día 9 al 15 los valores de Bias fueron de -1,15; -0,84; -1,75; -0,21; 0,20; -0,03 y -0,89 respectivamente, observando que existe una tendencia a la subestimación de los datos calculados por las imágenes satelitales. Estimando un Bias promedio de -1.05 mm para todos

los puntos analizados, se puede considerar que los datos estimados por las imágenes satelitales subestiman los datos observados de las precipitaciones. Datos similares fueron reportados por Vila *et al.*, 2005, encontrando valores de Bias del orden de los -3,5 mm subestimando los valores observados por datos pluviométricos de campo con respecto a datos estimados por imágenes satelitales.

Si bien, son resultados de 15 días de precipitaciones, los datos diarios de Bias encontrados en éste estudio, no parece existir una relación entre altas o nulas precipitaciones observadas y el dato estimado por las imágenes, ya que en días con bajas precipitaciones existió un valor de Bias positivo y lo mismo el día 7 de abril con el máximo registro de precipitaciones. En la figura 6 se puede observar la distribución del valor de Bias en el área de estudio, donde la mayor superficie está representada por un

valor estimado negativo, es decir que subestima la precipitación diaria observada.

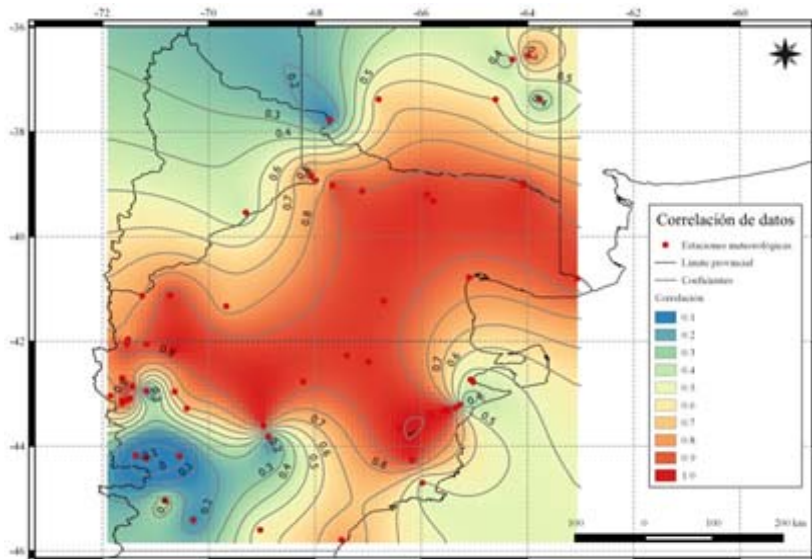


Figura 7: distribución espacial del coeficiente de correlación del área de estudio.

Los coeficientes de correlación obtenidos del área se pueden observar en la figura 7, el 42,6% de los sitios de estudio presentan valores mayores a 0,9 y el 31% presenta coeficientes entre 0,5 y 0,89 entre los datos observados y los estimados.

El caudal pico se registró el día 8 de abril. Los caudales máximos simulados por el modelo HEC

resultaron de 444,8 m³/seg utilizando los datos de estaciones meteorológicas y 377,1 m³/seg utilizando los datos de las imágenes satélites (Figura 8). La diferencia en la estimación se debe a que los datos de precipitación obtenidos de las imágenes son menores que los registrados por las estaciones meteorológicas en la región de Telsen (Figura 6). Los caudales simulados son comparables a los caudales de diseño utilizados para calcular obras de infraestructura en el año 2002: 378 m³/seg para un tiempo de retorno de 25 años y 453 m³/seg para un tiempo de retorno de 50 años.

En el año 1998 se registró un evento extremo de precipitación con un total de lluvia caída de 164 mm y un caudal pico de 360 m³/seg. En el año 1992 se registró el mismo caudal pico con un total de lluvia de 103 mm caída en 72 horas. En este evento se registraron 130 mm durante las 48 horas antes del pico máximo de caudal, aguas arriba de la localidad de Telsen. El caudal simulado es coherente con los registros obtenidos en años anteriores.

En la simulación se consideró el aporte aguas arriba de la localidad de Telsen sin tener en cuenta el potencial aporte a la escorrentía producto de la precipitación registrada en la estación meteorológica (198 mm en 48 horas).

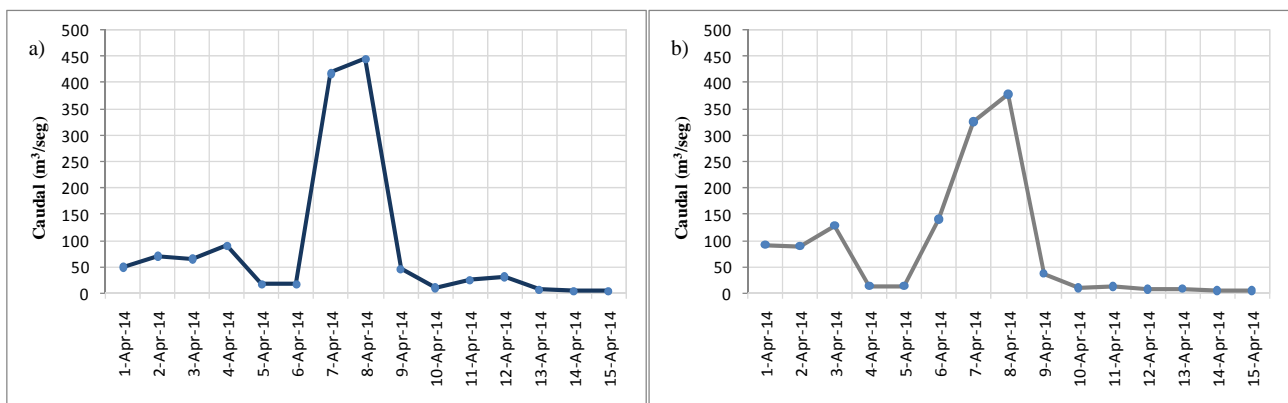


Figura 8: Caudal máximo simulado con el modelo HEC-HMS en la localidad de Telsen. a) Simulado con datos de estaciones meteorológicas b) Utilizando datos de satélite.

4) CONCLUSIONES

Las estimaciones de precipitación derivadas de sensores remotos, específicamente las imágenes GSMaP, tienen suma importancia en zonas con una red de observaciones poco densa e irregular, ya que cubren regiones desprovistas de información, resultando de gran utilidad en numerosas áreas de la meteorología y sus aplicaciones. Las correlaciones llevadas a cabo entre la precipitación observada y las estimadas arrojaron coeficientes altamente significativos, lo cual permitiría alta confiabilidad en los datos estimados para ajustar las precipitaciones en sitios que no cuentan con datos meteorológicos de campo. A través de ésta técnica facilitaría la elaboración de mapas de distribución de precipitaciones.

Utilizar las estimaciones de precipitación en aplicaciones hidrológicas permite ampliar los análisis de las problemáticas regionales respecto a los recursos hídricos, aún en los casos en donde no se disponen

de datos medidos in situ. Los caudales obtenidos de la simulación hidrológica en la localidad de Telsen brindan una primera estimación de la crecida que originó la tormenta extraordinaria. La magnitud de los daños ocurridos en esta región requieren de estudios hidrológicos e hidráulicos más detallados del evento teniendo en cuenta los diversos factores que afectan el funcionamiento del sistema hidrológico como por ejemplo el arrastre de sedimentos provocado por la crecida.

5) REFERENCIAS

- Abushandi, E. y Merkel, B. 2011.** Rainfall estimation over the Wadi Dhuliel arid catchment, Jordan from GSMaP_MVK+. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 8, 1665-1704.
- Campos, A.D.F. 1982.** Manual para la estimación de avenidas máximas en cuencas y presas pequeñas. Cuarta Sección, capítulo 4: Métodos hidrológicos. pp. 85–114. Dirección General de Obras Hidráulicas e Ingeniería Agrícola para el Desarrollo Rural, S.A.R.H. México. 225 pp.
- Campos, A.D.F. 1991.** Programa para el método del hidrograma unitario triangular de estimación de crecientes. Memoria del XVII Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería, A. C. 18 al 20 de Septiembre de 1991. Monterrey, México. pp. 109–113.
- Coronel, O.F. 2002.** Control de inundaciones y mejora del sistema de riego valle de Telsen provincia de Chubut, Argentina. Proyecto, informe final. SAGPyA-PROSAP.
- INTA. 2014.** Informa de la recorrida por sitios afectados por las precipitaciones torrenciales de abril de 2014. Informe interno. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. EEA Chubut.
- Us Army Corps of Engineers. 2007.** Hydrologic Modeling System.
- Ponce, V.M. 1989.** Engineering Hydrology, Principles and practices. Prentice Hall. ISBN 0-13-277831-9, 640pp.
- Rainbird, A.F. 1967.** Some potential applications of meteorological satellites in flood forecasting. Queensland, Australia: World Meteorological Organization. 1967. Technical note No. 92.
- Vila, D., Irigoyen, M., Simonet, D., & Zamanillo, E.** Evaluación del uso operativo de las estimaciones satelitales de precipitación. Citado de: <http://www.aprh.org.py/>, vigente al 09/02/2015.