

Metodología operativa para la generación de datos históricos de precipitación a partir de la misión satelital *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)* y validación de los resultados

Sebastian Gavilán¹, Juan Ignacio Pastore², Andrés Lighezzolo³, Anabella Ferral³, Javier Uranga³ y Pablo Aceñolaza¹

¹ Centro de Investigaciones Científicas y Transferencia Tecnológica a la Producción
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
Matteri y España s/n, CP E3105BWA, Diamante, Entre Ríos.
www.cicytp.org.ar
gavilan@agro.uba.ar, pacenolaza@gmail.com

² Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas en Electrónica.
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
Juan B. Justo 4302, CP B7608FDQ, Mar del Plata, Buenos Aires.
juan.pastore@gmail.com

³ Instituto de Altos Estudios Espaciales “Mario Gulich”.
Consejo Nacional de Actividades Espaciales – Universidad Nacional de Córdoba.
Ruta Provincial C45 a 8 km, Falda del Cañete. Pcia. Córdoba.
<http://ig.conae.unc.edu.ar/>
([juranga](mailto:juranga@conae.gov.ar), [aferral](mailto:aferral@conae.gov.ar), [alighezzolo](mailto:alighezzolo@conae.gov.ar))@conae.gov.ar

Resumen. La información de precipitación es crítica para la comprensión del equilibrio hidrológico a escala global. En este trabajo se propone presentar una metodología para generar, visualizar y descargar datos históricos de precipitación a partir de la misión satelital TRMM y validar sus resultados. Para ello, se generó un set de datos de 15 años de precipitación para el área de influencia de la estación meteorológica de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Paraná. Los datos satelitales fueron validados con datos medidos con pluviómetros en dicha estación meteorológica. La validación estadística de los valores estimados muestra la estrecha relación entre los datos medidos y estimados. Este resultado permitirá generar sets de datos históricos de precipitación para la cuenca del Arroyo Las Conchas para utilizarse en modelos hidrológicos. Esta metodología puede aplicarse a regiones de difícil acceso o a cuencas extensas y poco pobladas del territorio argentino en escenarios de cambio climático.

Palabras Claves: Remote Sensing, Precipitaciones, TRMM, Google Earth Engine

1 Introducción

La información de precipitación es crítica para la comprensión del equilibrio hidrológico a diferentes escalas y para la comprensión de las interacciones complejas que existen entre los componentes del ciclo hidrológico. La lluvia, en combinación con otras condiciones ambientales (radiación, temperatura, humedad y viento), con las características de los suelos y de los cultivos, representa un factor principal en la producción agrícola. Es muy común observar en la literatura referencias a los efectos de los eventos meteorológicos extremos sobre la producción agrícola [1]. Este interés se debe a la magnitud de las pérdidas económicas, por los inconvenientes con la planificación de las prácticas agronómicas y con las oportunidades de comercialización [2][3]. Es por eso que la variabilidad temporal y espacial del agua precipitada condiciona la productividad potencial de granos y de pasturas [4]. El conocimiento de la distribución de la precipitación es crucial para mejorar el diagnóstico climático a partir de modelos de pronóstico del tiempo y del clima. También es importante para la gestión del agua en actividades de agricultura, generación de energía eléctrica, control de inundaciones y sequía [5]. En nuestro país diversos autores han realizado investigaciones sobre las variaciones climáticas ocurridas durante el siglo veinte poniendo énfasis en las variaciones de la precipitación, variabilidad interanual, cantidad, intensidad y número de días con precipitación [6][7][8]. En 2002, Barros et al. Encontraron que los patrones de circulación y precipitación, al sur de los 20° S, están asociados a anomalías de la temperatura del mar en el oeste de la región subtropical del Atlántico Sur en diferentes zonas de la Argentina. También se han hecho estudios relacionados al impacto de las anomalías en el régimen de lluvias para la producción de soja, de maíz en condiciones de sequía y sobre los eventos hídricos extremos [9][10][11].

Sobre la base de estos antecedentes, y tomando en consideración el efecto de las anomalías en la producción de granos en la provincia de Entre Ríos, se hace evidente la necesidad de llevar adelante estudios que posibiliten comprender mejor la variabilidad espacial y temporal de las lluvias. Por eso, en la última década se incrementó notablemente la cantidad de estaciones meteorológicas que miden la precipitación en la provincia. La Dirección de Hidráulica de Entre Ríos y la Bolsa de Cereales de Entre Ríos son los organismos (estatal y privado, respectivamente) que cuentan con redes de estaciones meteorológicas que miden principalmente precipitación y temperatura. También se lograron avances significativos en el desarrollo de productos de precipitación obtenidos por satélite. Con una mejor resolución espacial y temporal, de los sistemas satelitales y ajuste con mediciones pluviométricas, se logran estimaciones de precipitación disponibles para casi todo el globo en tiempo real o cercano [4]. Esta información puede ser analizada en conjunto con otras variables que intervienen en el ciclo hidrológico, como la evapotranspiración, utilizadas en balances hidrológicos para estimar el almacenaje de agua en el suelo y el monitoreo de los cultivos mediante índices de vegetación. Los satélites de microondas proveen información de base física para relacionar datos de precipitación medidos por hidrómetros e hidrógrafos [12]. Por el contrario, los satélites con canales infrarrojos, por sus características físicas, no disponen de buena información para realizar estimaciones pero sus datos están mayormente disponibles. Esta mayor disponibilidad se debe a la mayor revisita de los

satélites ópticos meteorológicos dispuestos en órbitas geosincrónicas a diferencia de los radares que están en órbitas polares. Los medidores terrestres de precipitación tienen diferentes problemas de muestreo ya que su distribución es deficiente para caracterizar con alta resolución la variable en estudio. Esto genera una subestimación de las precipitaciones debido, principalmente, a los efectos del viento sobre los medidores [13][14]. Finalmente, los modelos de predicción meteorológica proveen una completa cobertura basándose en leyes físicas, partiendo de observaciones iniciales. El problema de estos modelos se encuentra en el hecho de que la ocurrencia de una precipitación no es únicamente dependiente de las condiciones iniciales medidas. Esto se debe a que existen muchos otros procesos físicos (advección, evaporación, etc.), no incorporados a los modelos, que pueden manifestarse en la ocurrencia de lluvia. Todos estos posibles errores aleatorios, generan incertidumbre en las predicciones [12].

La Misión de Medición de Precipitaciones Tropicales (TRMM) es una misión conjunta entre la NASA y la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA) diseñada para monitorear y estudiar las lluvias tropicales. El producto 3B42 contiene una precipitación (mm/hr) de sensores infrarrojos fusionados con microondas, junto con una estimación del error, con una resolución temporal de 3 horas y una resolución espacial de 0.25 grados. Las estimaciones 3B42 se producen en cuatro etapas; (1) se calibran y combinan las estimaciones de precipitación de microondas, (2) se crean estimaciones de precipitación infrarroja utilizando el dato calibrado de microondas, (3) se combinan las estimaciones de microondas e IR y (4) se aplica el reajuste a datos mensuales. Cada campo de precipitación se interpreta mejor como la tasa de precipitación efectiva en el tiempo de observación nominal[15]. Un algoritmo desarrollado para mediciones diarias es el IMERG (Integrated Multi-satellitE Retrievals) generado para calcular estimaciones de precipitación en el marco de la misión GPM (Global Precipitation Measurement). Este modelo de integración multisatélite está planificado para el período de actividad de TRMM y GPM en conjunto. La cobertura se extenderá a todo el mundo y se buscará ganar experiencia en el difícil entorno de alta latitud [16]. Las precipitaciones del producto 3B43 TRMM han sido usados con buenos resultados en distintas partes del mundo [17][18][19][20][21][22] en estudios donde se comparan con valores in situ de lluvias observadas y, además, se ha documentado la asimilación de productos del TRMM en modelos hidrológicos [23]. Un enfoque más actual es el que se describe en el análisis de precipitación mensual del Proyecto de Climatología de Precipitación Global (GPCP). Este proyecto es un componente clave del Experimento Global de Energía y Ciclo del Agua (GEWEX) dedicado a producir análisis comunitarios de la precipitación global [5]. El objetivo actual del GPCP es proporcionar una serie de análisis de precipitación de resolución de tiempo mensuales a una escala global. Este análisis tiene una resolución espacial de $2,58^\circ$ de latitud x $2,58^\circ$ de longitud y está disponible desde enero de 1979 hasta el 2002 [24]. Un segundo producto es un análisis global cada 5 días ajustado por el análisis mensual descrito por Xie et al. (1997). Un tercer producto es un análisis diario (18° latitud x 18° longitud) desde el 1 de enero de 1997 hasta el presente [25]. Este conjunto de productos coordinados proporciona a la comunidad de investigación información sobre precipitación global útil para un gran número de aplicaciones. Estos productos se archivan y distribuyen a través del World Data Center A en el Centro Nacional de Datos

Climáticos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA). Estos análisis antes mencionados incorporan estimaciones de precipitación a partir de datos de microondas de satélites de órbita baja, datos de infrarrojos de satélites en órbita geosincrónica y observaciones de pluviómetros en superficie. El enfoque de fusión utiliza la mayor precisión de las observaciones de microondas en órbita baja para calibrar las observaciones infrarrojas geosincrónicas que son más frecuentes. Luego, el producto combinado por satélite se ajusta mediante el análisis del pluviómetro [5]. Recientemente, Villanueva y colaboradores realizaron una evaluación de diferentes productos de precipitación basados en información satelital en Latinoamérica (entre ellos TRMM 3B42v7, TRMM 3B42RT, CHIRPSv2, CMORPHv1, PERSIANN-CDR, MSWEPv2) y concluyeron que la validación con datos pluviométricos de la zona de estudio es necesaria [26].

2 Objetivos

Los objetivos de este trabajo son dos: i) generar una metodología que permita automatizar la descarga de series temporales de datos de precipitación de TRMM desde la plataforma Google Earth Engine y ii) validar los datos obtenidos con una serie de datos históricos de una estación meteorológica del INTA ubicada en la cuenca de estudio. El propósito de esta propuesta es desarrollar una metodología práctica para obtener datos históricos de precipitación en cuencas de llanura utilizando como caso de estudio la cuenca del Arroyo Las Conchas, Provincia de Entre Ríos.

3 Materiales y Métodos

3.1 Datos satelitales de precipitación

Los datos históricos de precipitación para el área de estudio (Cuenca del Arroyo Las Conchas) fueron obtenidos a partir del producto 3B42 provisto por la misión TRMM. Se generó un script utilizando la API Google Earth Engine, basada en el lenguaje JavaScript, con el cual se puede obtener y visualizar colecciones de datos para ventanas de tiempo seleccionadas, generar gráficos temporales de precipitación y exportar los datos en formato “csv”.

3.2 Datos de campo

El set de datos de precipitación medida “in situ” contiene datos de lluvia diarios para un período de tiempo que va desde el 01/01/2000 hasta el 31/12/2015. Estos fueron medidos en la Estación Experimental Agropecuaria (E.E.A.) del INTA Paraná, ubicado en la localidad de Oro Verde. Para el registro del régimen pluvial, el observatorio posee un pluviómetro tipo "B" y un pluviógrafo Casella. Este instrumental posibilita el conocimiento detallado de las lluvias en la zona, es decir, el total de milímetros, duración de la tormenta, momento de la ocurrencia e intensidad de la misma. El

pluviómetro tipo "B" es el adoptado por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y por la red de Observatorios del INTA.

3.3 Área de Estudio

La cuenca del Arroyo Las Conchas comprende una superficie aproximada de 2.184 kilómetros cuadrados ubicada al sur del departamento Paraná, provincia de Entre Ríos (polígono gris, figura 1). Dentro de esta superficie se extiende una importante red hidrográfica que converge en el arroyo de nombre homónimo, el cual tributa finalmente al Río Paraná. Dentro de esta cuenca (punto azul, figura 1) se encuentra ubicada la E.E.A. INTA Paraná. La validación estadística del producto 3B42 se realizó tomando datos de un buffer de 10 km circundante a la estación meteorológica (círculo rojo, figura 1).

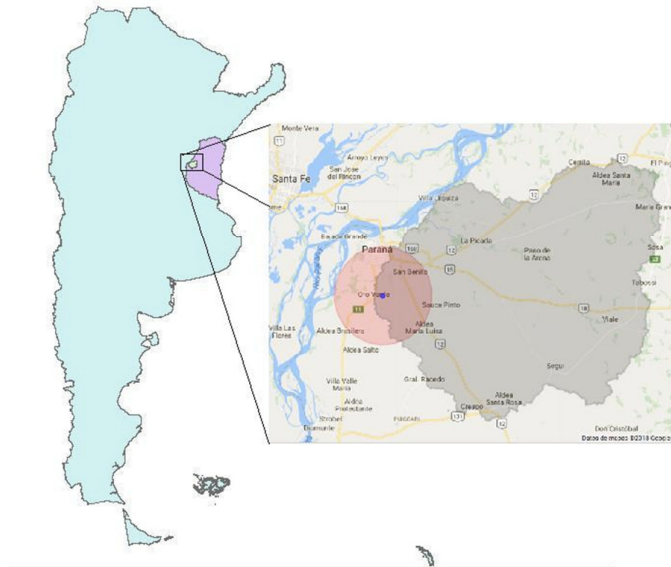


Fig. 1. Ubicación de la Cuenca del Arroyo Las Conchas dentro del límite Nacional y Provincial y del buffer de la E.E.A INTA Paraná utilizado para validar los datos.

3.4 Script Google Earth Engine

En la siguiente figura, gráfico conceptual en UML (Unified Modelling Language: <http://www.uml.org/>), se muestra el procesamiento distribuido en el que se basa Google Earth Engine, para ejecutar el script propuesto (Figura 2). Se destaca un procesamiento del lado del cliente, otro del lado del servidor y la presencia de un objeto Proxy que tiene como función, encaminar los requerimientos de proceso en el servidor ocultando los detalles de la comunicación. El Script comienza definiendo una

geometría, en nuestro caso particular es un punto, caracterizado por las coordenadas latitud, longitud en la proyección EPSG:4326 y el establecimiento de un área circular de 10 km con centro en el punto. Luego crea una colección de imágenes utilizando el catálogo de TRMM y lo filtra por fecha y espacialmente lo recorta aplicando la geometría definida con el punto y el área. Por último se crea un gráfico de línea (chart) que trabaja con la banda de precipitación del TRMM y con un objeto Reducer en el lado del Servidor, el cual genera un dato resumen (promedio) para cada imagen.

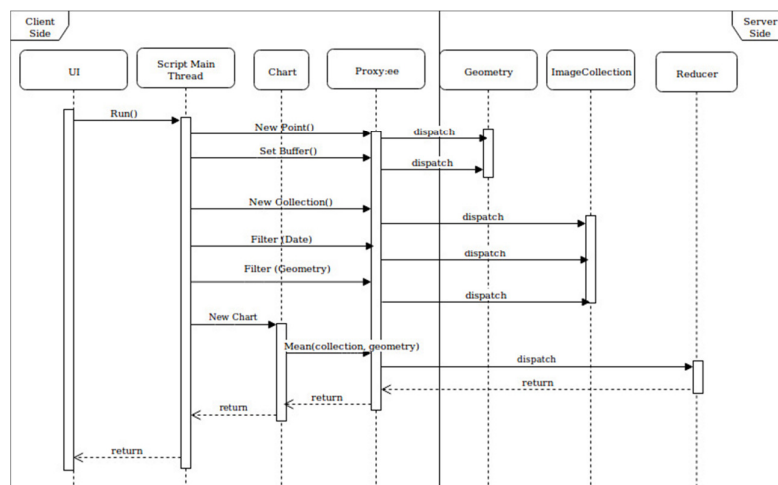


Fig. 2. Gráfico conceptual en UML (Unified Modelling Language)

4 Resultados

4.1 Datos obtenidos

Utilizando el script anterior se analizaron los 16 años que componen el período 2000-2015 y se extrajeron registros cada 3 horas (8 mediciones por día) componiendo un set de datos anual de 2.904 valores, 46.464 datos para el período seleccionado (Figura 3). Para comparar los valores horarios de TRMM con los valores diarios registrados en la estación meteorológica se decidió multiplicar el dato del producto 3B42 por 3 ya que esa es la separación temporal, en horas, que hay entre registros sucesivos y luego sumar los registros del mismo día.

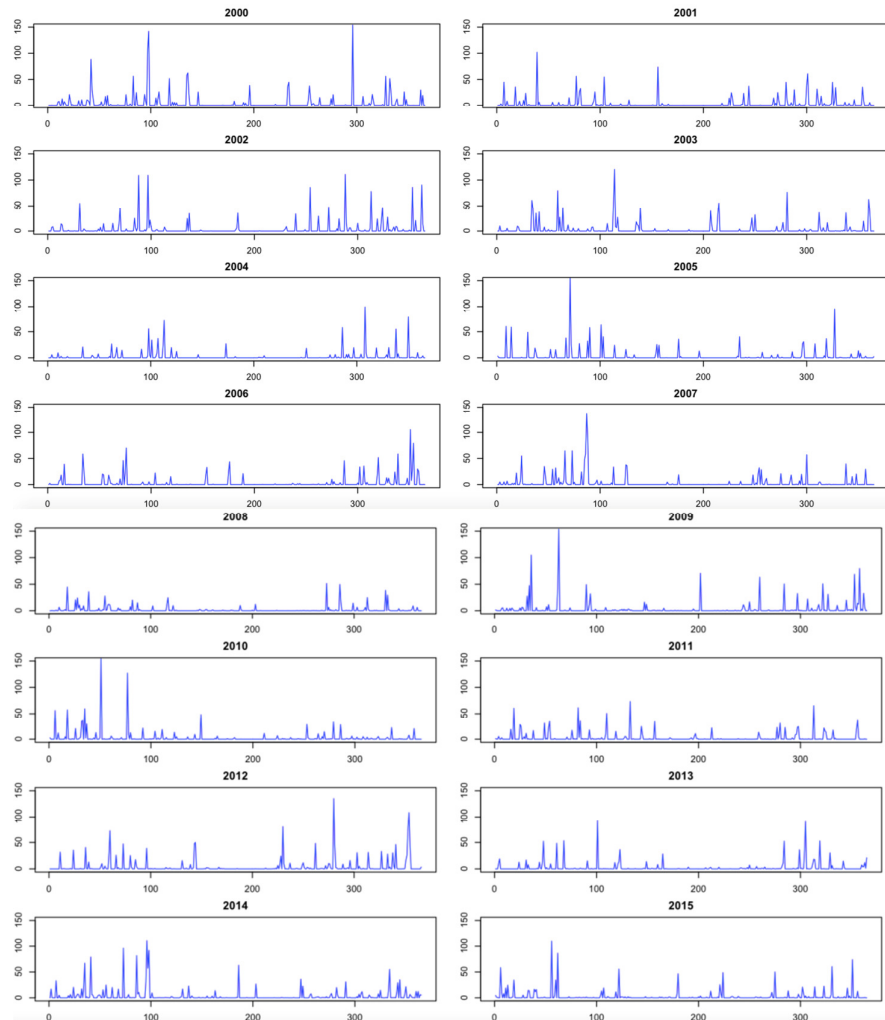


Fig. 3. Gráficos de distribución anual de las precipitaciones horarias obtenidos a partir de la TRMM para el período 2000-2015.

4.2 Análisis estadístico

Comparando valores anuales se observa un patrón similar en la evolución de ambas fuentes, sin embargo, pueden verse años donde las diferencias sean mayores. La diferencia absoluta promedio es de 8,47 mm anuales siendo el año 2014 el de mayores diferencias con 32 mm (Figura 4).

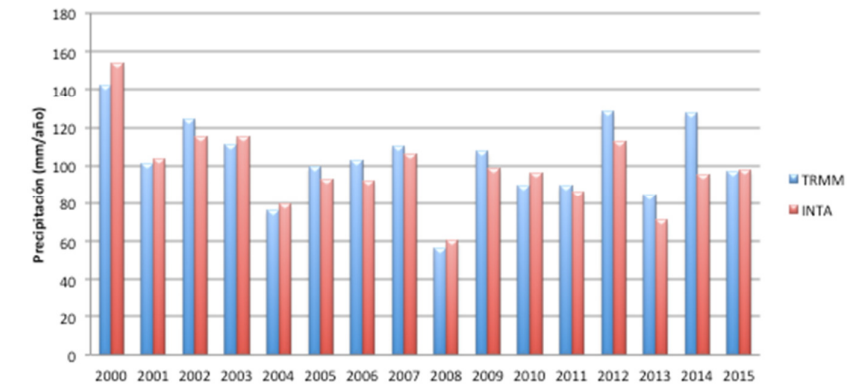


Fig. 4. Precipitación acumulada anual obtenida de la estación meteorológica y de datos TRMM.

A pesar de las diferencias observables, el diagrama de dispersión muestra un buen ajuste entre las dos variables ($R^2 = 0,767$) (Figura 5).

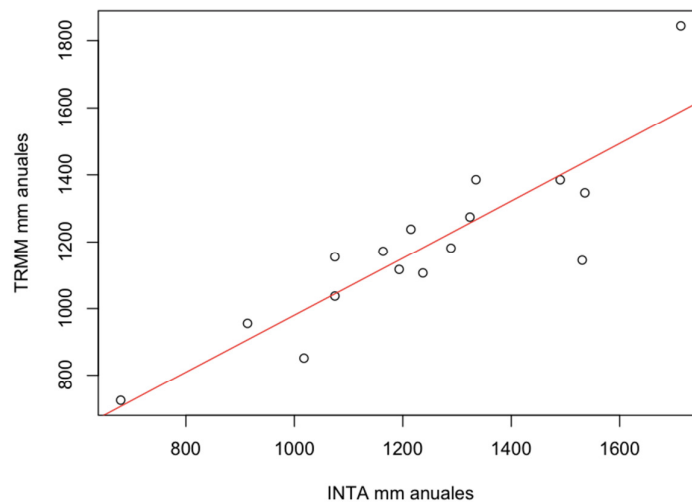


Fig. 5. Diagrama de dispersión de la precipitación anual estimada por TRMM versus la medida en la Estación INTA Oro Verde ($R^2=0,767$) y medidas de ajuste de la regresión lineal entre TRMM e INTA para valores anuales.

La precipitación mensual promedio muestra una relación estrecha entre las estimaciones a partir del TRMM y los datos medidos por el INTA en estación meteorológica (Figura 6). Según las dos fuentes de información, el mes que registra mayores precipitaciones promedio es marzo con 182,84 mm y 172,24 mm (TRMM e INTA respecti-

vamente). El mes con menores registros es Julio y también coincide para ambas fuentes con valores de 28,64 mm y 24,36 mm (TRMM e INTA). Independientemente de la fuente, la etapa del año correspondiente a las estaciones de primavera/verano son las que acumulan la mayor parte de las precipitaciones, aproximadamente el 80%.

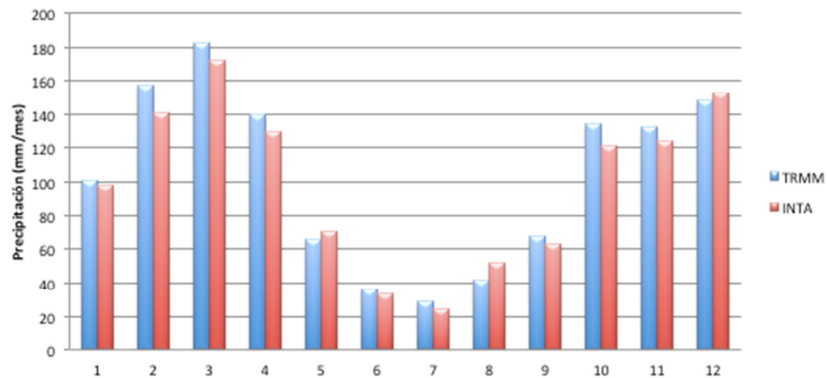


Fig. 6. Precipitación mensual promedio para datos TRMM e INTA

Posteriormente se analizó la precipitación mensual estimada y medida, en la figura 7 a modo de ejemplo se muestra la evolución en el tiempo de las dos variables para los años 2000, por separado.

En la siguiente tabla pueden verse las medidas de ajuste estadístico entre las variables para cada año estudiado (Tabla 1). En la misma, pueden verse altas correlaciones para todos los años, excepto para el 2002 y 2008 ($R^2=0,66$ y $R^2=0,42$, respectivamente).

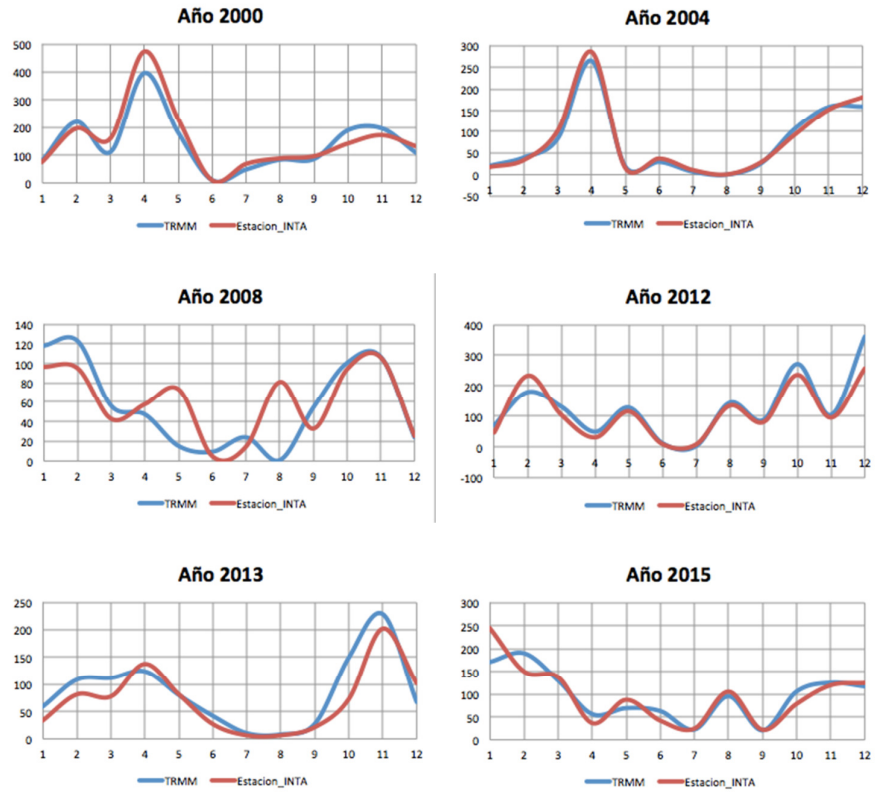


Fig. 7. Diagramas de evolución anual de la precipitación mensual estimada (TRMM) y medida (INTA).

Table 1. Medidas de ajuste de la regresión lineal entre TRMM e INTA para valores mensuales.

Año	R	R ²	R ² Ajustado	E.E.	F	G.L
2000	0,958	0,917	0,909	31,09	110,413	11
2001	0,934	0,873	0,86	21,681	68,432	11
2002	0,831	0,691	0,66	49,595	22,331	11
2003	0,994	0,988	0,987	9,299	809,976	11
2004	0,993	0,986	0,985	9,957	727,801	11
2005	0,978	0,957	0,953	20,323	223,747	11
2006	0,976	0,952	0,948	24,11	199,71	11
2007	0,998	0,997	0,996	8,709	2916,173	11
2008	0,689	0,475	0,422	33,89	9,046	11
2009	0,957	0,916	0,908	26,825	109,216	11
2010	0,986	0,972	0,969	16,323	345,781	11
2011	0,953	0,909	0,9	16,702	99,646	11
2012	0,945	0,892	0,881	35,78	82,776	11
2013	0,902	0,814	0,795	28,985	43,746	11
2014	0,883	0,78	0,757	47,197	35,354	11
2015	0,895	0,801	0,781	24,957	40,31	11

Se realizó un análisis de regresión lineal para ver la relación entre la precipitación diaria estimada (“TRMM”) y la medida (“INTA”). El gráfico de ajuste se puede ver en la Figura 8.

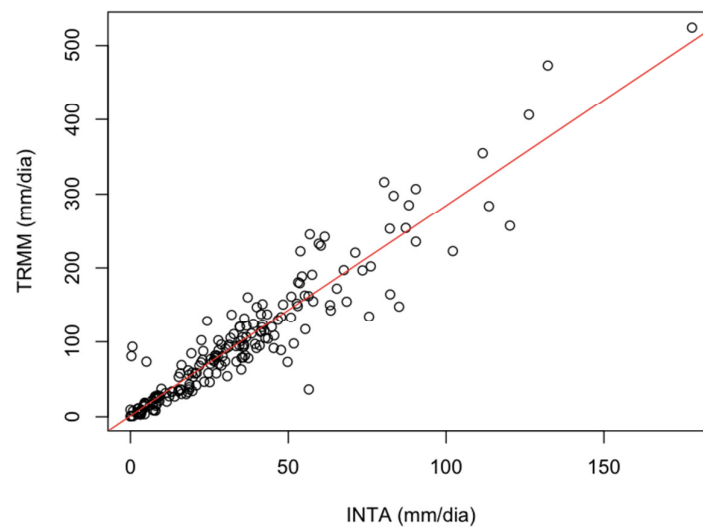


Fig. 8. Diagrama de dispersión de la precipitación diaria estimada por TRMM versus la medida en la Estación INTA Oro Verde ($R^2=0,88$) y medidas de ajuste de la regresión lineal entre TRMM e INTA para valores diarios

5 Discusión y Conclusión

La metodología propuesta permite automatizar la descarga de datos de precipitación a escala global para cualquier sitio de interés a partir del uso de información satelital y herramientas geoespaciales de acceso libre. Esto permite el análisis histórico de patrones de comportamiento de la precipitación en una zona de interés. La validación de las series temporales de precipitación con datos medidos in situ en estaciones pluviométricas permite utilizar la información satelital como variable de entrada de modelos hidrológicos cuantitativos. Por otro lado, se pudo comprobar que la herramienta utilizada, Google Earth Engine, es de gran utilidad en el área de la hidrología ya que presenta baja dificultad operativa, posee una amplia librería de imágenes disponibles y permite el procesamiento en la nube. Se espera que este procedimiento pueda aplicarse a regiones de difícil acceso en cuencas extensas y poco pobladas del territorio Argentino donde los datos de estaciones meteorológicas son escasos o poseen poca historia. Además, el uso de esta información es necesaria para la caracterización del régimen hídrico en el contexto de cambio climático. Los resultados de las pruebas estadísticas muestran una estrecha correlación entre las variables medidas y estimadas, estas correspondencias pueden verse en los valores diarios, mensuales y anuales. Se concluye que es posible utilizar el producto 3B42 de la misión TRMM para tener datos pluviométricos en lugares donde no se encuentran estaciones meteorológicas disponibles, para la región de estudio. A partir de este conocimiento, pueden redefinirse las zonificaciones que se utilizan para decidir fechas de siembra, tipos de cultivos, variedades y grupos de madurez, entre otras variables agronómicas.

Referencias

1. O. E. Scarpati, J. A. Forte Lay, and A. D. Capriolo, "La inundación del año 2001 en la provincia de buenos aires, argentina," *Mundo agrario*, vol. 9, no. 17, pp. 00–00, 2008.
2. R. Casas, "Un problema recurrente: una situación difícil en forma periódica el agua cubre extensas superficies. las inundaciones del noroeste bonaerense constituyen una verdadera catástrofe. la geografía impide el libre movimiento de las aguas," *La Nación*, vol. 21, 2001.
3. O. E. Scarpati, L. Spescha, and A. Capriolo, "Occurrence of severe floods in the salado river basin, buenos aires province, argentina," *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 7, no. 3, pp. 285–301, 2002.
4. A. B. Brizuela, M. D. Nosetto, C. A. Aguirre, and M. P. Bressán, "Comparación de datos de precipitación estimada por trmm con mediciones en estaciones meteorológicas de entre ríos, argentina," *UD y la geomática*, no. 10, pp. 18–26, 2015.
5. R. F. Adler, G. J. Huffman, A. Chang, R. Ferraro, P.-P. Xie, J. Janowiak, B. Rudolf, U. Schneider, S. Curtis, D. Bolvin, et al., "The version-2 global precipitation climatology project (gpcp) monthly precipitation analysis (1979–present)," *Journal of hydrometeorology*, vol. 4, no. 6, pp. 1147–1167, 2003.
6. M. B. Marino, Variabilidad de la precipitación en Argentina en diferentes escalas temporales, relacionada con actividad convectiva observada: Documentación de la metodología para el tratamiento de la información.
7. Verificación del desempeño de un modelo regional de pronóstico de precipitación. PhD thesis, Universidad de Buenos Aires, 2007.

8. E. Pérez, "La variabilidad de las precipitaciones en el nordeste argentino durante el período 1951/1990," *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*, 2004.
9. J. Hoffmann, "Las variaciones climáticas ocurridas en argentina desde fines del siglo pasado hasta el presente, el deterioro del ambiente en la argentina," *Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura*, pp. 275–290, 1988.
10. J. Minetti, W. Vargas, A. Poblete, L. De la Zerda, and L. Acuña, "Regional droughts in southern south america," *Theoretical and applied climatology*, vol. 102, no. 3-4, pp. 403–415, 2010.
11. J. Minetti, W. Vargas, B. Vega, and M. Costa, "Las sequías en la pampa húmeda: Impacto en la productividad del maíz," *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol. 22, no. 2, pp. 218–232, 2007.
12. O. C. Penalba, M. L. Bettolli, and W. M. Vargas, "The impact of climate variability on soybean yields in argentina. multivariate regression," *Meteorological Applications: A journal of forecasting, practical applications, training techniques and modelling*, vol. 14, no. 1, pp. 3–14, 2007.
13. G. J. Huffman, R. F. Adler, B. Rudolf, U. Schneider, and P. R. Keehn, "Global precipitation estimates based on a technique for combining satellite-based estimates, rain gauge analysis, and nwp model precipitation information," *Journal of Climate*, vol. 8, no. 5, pp. 1284–1295, 1995.
14. E. L. Neff, "How much rain does a rain gage gage?," *Journal of Hydrology*, vol. 35, no. 3-4, pp. 213–220, 1977.
15. D. R. Legates and C. J. Willmott, "Mean seasonal and spatial variability in gauge-corrected, global precipitation," *International Journal of Climatology*, vol. 10, no. 2, pp. 111–127, 1990.
16. G. J. Huffman, D. T. Bolvin, E. J. Nelkin, D. B. Wolff, R. F. Adler, G. Gu, Y. Hong, K. P. Bowman, and E. F. Stocker, "The trmm multisatellite precipitation analysis (tampa): Quasi-global, multiyear, combinedsensor precipitation estimates at fine scales," *Journal of hydrometeorology*, vol. 8, no. 1, pp. 38–55, 2007.
17. G. J. Huffman, D. T. Bolvin, D. Braithwaite, K. Hsu, R. Joyce, P. Xie, and S.-H. Yoo, "Nasa global precipitation measurement (gpm) integrated multi-satellite retrievals for gpm (imerg)," *Algorithm theoretical basis document*, version, vol. 4, p. 30, 2015.
18. F. Su, Y. Hong, and D. P. Lettenmaier, "Evaluation of trmm multisatellite precipitation analysis (tampa) and its utility in hydrologic prediction in the la plata basin," *Journal of Hydrometeorology*, vol. 9, no. 4, pp. 622–640, 2008.
19. B. Collischonn, W. Collischonn, and C. E. M. Tucci, "Daily hydrological modeling in the amazon basin using trmm rainfall estimates," *Journal of Hydrology*, vol. 360, no. 1-4, pp. 207–216, 2008.
20. M. N. Islam and H. Uyeda, "Use of trmm in determining the climatic characteristics of rainfall over bangladesh," *Remote Sensing of Environment*, vol. 108, no. 3, pp. 264–276, 2007.
21. T. Dinku, P. Ceccato, E. Grover-Kopec, M. Lemma, S. Connor, and C. Ropelewski, "Validation of satellite rainfall products over east africa's complex topography," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 28, no. 7, pp. 1503–1526, 2007.
22. J. Wilk, D. Kniveton, L. Andersson, R. Layberry, M. C. Todd, D. Hughes, S. Ringrose, and C. Vanderpost, "Estimating rainfall and water balance over the okavango river basin for hydrological applications," *Journal of Hydrology*, vol. 331, no. 1-2, pp. 18–29, 2006.
23. L. S. Chiu, Z. Liu, J. Vongsaard, S. Morain, A. Budge, P. Neville, and C. Bales, "Comparison of trmm and water district rain rates over new mexico," *Advances in Atmospheric Sciences*, vol. 23, no. 1, pp. 1–13, 2006.

24. W. S. L. Casimiro, D. Labat, and J. L. Guyot, "Validación de lluvia utilizando trmm en dos cuencas amazónicas peruanas y su aplicación en modelos mensuales de balance hídrico. validation of rainfall using the trmm for two peruvian amazon basins and its inclusion in monthly wáter balance models," *Revista Peruana Geo-Atmosférica Rpga* (1), pp. 11–19, 2009.
25. R. F. Adler, A. J. Negri, and I. M. Hakkarinen, "Rain estimation from combining geosynchronous ir and low-orbit microwave data," *Global and Planetary Change*, vol. 4, no. 1-3, pp. 87–92, 1991.
26. P. Xie and P. A. Arkin, "Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs," *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 78, no. 11, pp. 2539–2558, 1997.
27. G. J. Huffman, R. F. Adler, M. M. Morrissey, D. T. Bolvin, S. Curtis, R. Joyce, B. McGavock, and J. Susskind, "Global precipitation at one-degree daily resolution from multisatellite observations," *Journal of hydrometeorology*, vol. 2, no. 1, pp. 36–50, 2001.
28. O. M. B. Villanueva, M. Zambrano-Bigiarini, L. Ribbe, A. Nauditt, M. Rebolledo Coy, N. Xuan Thinh, and T. Bartz-Beielstein, "Temporal and spatial evaluation of satellite rainfall estimates over different regions in latin-america.," in *AGU Fall Meeting Abstracts*, 2017.