



VALIDACIÓN DE PRECIPITACIONES ESTIMADAS MEDIANTE SATÉLITES PARA DOS ESTACIONES DE LA PROVINCIA DE CORRIENTES (REPÚBLICA ARGENTINA)

SAUCEDO, Griselda I.¹; KURTZ, Ditmar B.^{1,2}; CONTRERAS, Félix I.^{3,4}

¹ Estación Experimental Agropecuaria Corrientes, INTA.

² Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE.

³ Centro de Ecología Aplicada del Litoral, CONICET – UNNE.

⁴ Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, UNNE.

saucedo.griselda@inta.gob.ar

RESUMEN

La precipitación desempeña un papel fundamental en el ciclo hidrológico, así como en diversas actividades humanas que dependen de su medición. Su gran variabilidad espacial y temporal sumada a las limitaciones de la red pluviométrica y a la falta de continuidad en la recopilación de datos representan un gran desafío. Por lo tanto, son imprescindibles modelos que permitan estimar esta variable y proporcionar información con un cierto grado de confianza. En este trabajo se validan las precipitaciones estimadas por las misiones *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS), *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) y *Global Precipitation Measurement* (GPM) con mediciones realizadas en las estaciones meteorológicas ubicadas en Bella Vista y Mercedes de la provincia de Corrientes, entre los años 2000 y 2019. Para cada producto, considerando datos anuales de precipitaciones, se analizaron los Coeficientes de Correlación y de Determinación. También, se calculó el Error Medio Absoluto y el Error Porcentual Absoluto Medio. Los resultados obtenidos indican que las misiones GPM y TRMM presentan un buen desempeño en las estimaciones de precipitaciones, con un grado de concordancia mayor al 83 %, una bondad de ajuste superior al 70% y un Error Porcentual Absoluto Medio inferior al 10 %. Estos hallazgos evidencian su utilidad como una fuente de datos complementaria a la red de estaciones meteorológicas existentes.

Palabras clave: Estaciones meteorológicas – CHIRPS – TRMM – GPM - Google Earth Engine

VALIDATION OF SATELLITE-ESTIMATED RAINFALL FOR THE PROVINCE OF CORRIENTES

ABSTRACT

Precipitation plays a key role in the hydrological cycle, as well as in various human activities that depend on its measurement. The great spatial and temporal variability of this variable, together with the limitations of the pluviometric network and the lack of continuity in data collection, represent a great challenge. Therefore, models that allow estimating this variable and providing information with a certain degree of confidence are essential. This paper validates the precipitation estimated by the *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS), *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) and *Global Precipitation Measurement* (GPM) missions with measurements taken at weather stations located in Bella Vista and Mercedes in the province of Corrientes, between 2000 and 2019. For each product, considering annual precipitation data, Correlation and Determination Coefficients analysis was performed, as well as the Mean Absolute Error and the Mean Absolute Percentage Error were calculated. The results obtained indicate that the GPM and TRMM missions have a degree of agreement higher than 83 %, a goodness of fit higher than 70% and a Mean Absolute Percentage Error lower than 10 %. These findings demonstrate their usefulness as a complementary data source to the existing network of meteorological stations.

Key words: CHIRPS – TRMM – GPM - Google Earth Engine - Meteorological stations

Introducción

El conocimiento de la variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones es fundamental para la climatología, la producción agrícola, el monitoreo de inundaciones, sequías y la gestión de recursos hídricos, entre otros aspectos (Brizuela et al., 2015; Gavilán et al., 2019). Actualmente, las mediciones de las precipitaciones se realizan directamente a través de pluviómetros o pluviógrafos, e indirectamente, a través de radares meteorológicos y misiones satelitales (Preatoni et al., 2016; Salvó et al. 2021).

Las mediciones directas representan la principal fuente de información. Sin embargo, sus datos presentan una baja cobertura espacial ya que proveen mediciones puntuales en el área circundante a la estación meteorológica, las cuales suelen ser de escasa densidad e irregular distribución. Asimismo, pueden presentar datos faltantes, períodos sin registros y errores de medición o de sistematización de los datos en el caso de estaciones manuales (Urrea et al., 2016).

Las mediciones indirectas ofrecen estimaciones cuantitativas de precipitación con resoluciones espaciales y temporales relativamente más altas, importantes para sistemas de alerta y pronóstico hidrometeorológico. No obstante, los datos pueden presentar errores debido a características propias del instrumento, de los eventos precipitantes, de los parámetros que definen la relación entre la reflectividad y la intensidad de precipitación, entre otros (Salvó, et al., 2021).

En el caso de las estimaciones a través de satélites, la precisión de los datos es afectada por limitaciones que surgen de errores de tiempo de muestreo, errores de calibración del dispositivo y errores de los algoritmos utilizados (Ayehu et al., 2018). Sin embargo, en las últimas décadas las estimaciones basadas en satélites se vienen utilizando cada vez más frecuentemente dado que proporcionan una cobertura casi mundial con una alta resolución temporal.

Existen antecedentes de que los datos de precipitaciones obtenidos de misiones satelitales han sido validados con datos de superficie para distintos lugares del planeta (Lavado et al. 2009; Roca et al. 2010; Behrangí et al., 2011; Prakash et al., 2016; Rozante et al., 2018; Zhang et al., 2019; Elnashar et al., 2020). En la Argentina las referencias son de estudios realizados para la llanura del noroeste de Buenos Aires (Campos et al., 2014), la provincia de Entre Ríos (Brizuela et al., 2015), las Sierras de Córdoba (Capone et al., 2018), la cuenca del arroyo Las Conchas en Entre Ríos (Gavilán et al. 2019), la cuenca del río Mendoza (Hinrichs et al., 2019, Rivera et al., 2022) y los Llanos de La Rioja (Garay, 2021), sin referencias para la provincia de Corrientes.

El objetivo del presente trabajo es validar las bases de datos de las misiones satelitales *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS), *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) y *Global Precipitation Measurement* (GPM) con mediciones directas (de pluviómetros) registradas en las estaciones meteorológicas ubicadas en Bella Vista y Mercedes de la provincia de Corrientes, entre los años 2000 y 2019.

Área de estudio

La provincia de Corrientes abarca aproximadamente 8.900.000 has (Fig. 1) y presenta un clima subtropical húmedo sin estación seca (Caf) según la clasificación climática de Köppen-Geiger. La temperatura media anual oscila alrededor de los 21° C al norte y 19° C al sur y las precipitaciones varían entre 1500 mm y 1000 mm, con un gradiente en sentido NE-SO (Carnevali, 1994; Bianchi et al., 2010).

Materiales y métodos

Fuentes de datos: Se utilizaron dos fuentes de datos de precipitaciones: 1) datos puntuales registrados en estaciones meteorológicas (EM) y 2) datos estimados a partir de satélites.

- 1) Los datos de precipitación in situ para el periodo 2000-2019 fueron medidos en las estaciones meteorológicas convencionales ubicadas en las Estaciones Experimentales Agropecuarias del INTA Bella Vista y Mercedes (Fig. 1). Los mismos fueron adquiridos del Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica del INTA.



Fig. 1. Localización de las Estaciones Meteorológicas y del área de estudio.

- 2) Los productos de precipitación satelital utilizados fueron:
- Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS)*: base de datos desarrollada por científicos del United States Geological Survey (USGS) y Climate Hazards Center (CHC) con el apoyo financiero de U.S. Agency for International Development (USAID), National Aeronautics and Space Administration (NASA) y National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Para las estimaciones utiliza cinco fuentes de datos: 1) CHPClim (*Climate Hazards Precipitation Climatology*); 2) Infrarrojo (IR) térmico geoestacionario; 3) TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*); 4) Modelo atmosférico de campos de precipitación del sistema de predicción climático de la NOAA y 5) Observaciones in situ de precipitación obtenidas de varias fuentes incluidos servicios meteorológicos (Funk et al., 2015).
 - Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)*: fue lanzado al espacio en 1997 por la NASA y la Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). El satélite utiliza los siguientes instrumentos: el TRMM Microwave Imager (TMI), el Radar de Precipitación (PR), y el Sistema de Radiómetro Visible e Infrarrojo (VIRS) (Barnes et al., 1997). A partir de esta misión se generan diversos productos. En este trabajo se utilizó el generado por el algoritmo 3B42 que produce las estimaciones en cuatro etapas: 1) se calibran y combinan las estimaciones de precipitación por microondas; 2) se crean estimaciones de precipitación IR utilizando la precipitación por

microondas calibrada; 3) se combinan las estimaciones IR con las microondas y 4) se re-escala a datos mensuales (Huffman et al., 2007).

- c) *Global Precipitation Measurement* (GPM): misión iniciada por la NASA y la JAXA como sucesor global de TRMM, presentando una mayor resolución espacial y temporal. El satélite mide la lluvia y la nieve utilizando dos instrumentos: el Microondas de Imágenes GPM (GMI) y el Radar de Precipitación de Frecuencia Dual (DPR). El GMI captura la intensidad y los patrones horizontales de la precipitación, mientras que el DPR ofrece una visión de la estructura tridimensional de las partículas de la precipitación (Huffman et al. 2019).

Estas misiones fueron seleccionadas porque presentan largas series de tiempo (Tabla 1) y están disponibles en *Google Earth Engine* (Gorelick et al., 2017). Por lo tanto, utilizando la API (interfaz de programación de aplicaciones) de la plataforma, basada en el lenguaje JavaScript, se generó un script para obtener la precipitación anual para el período y área de estudio establecida.

Tabla 1. Características de las misiones satelitales.

Misiones	Período	Resolución espacial	Banda	Unidad
CHIRPS	1981- presente	5566 metros	"precipitation"	mm/día
TRMM	1998-2019	27830 metros	"precipitation"	mm/hora
GPM	2000-presente	11132 metros	"precipitationCal"	mm/hora

Fuente: Datasets disponibles en *Google Earth Engine*.

3) Estadísticas de evaluación: para evaluar cuantitativamente el desempeño de los productos de precipitaciones estimadas mediante satélites se utilizaron varias medidas estadísticas. El Coeficiente de Correlación de Pearson (CC) se usó para medir el grado de concordancia existente con las observaciones directas y el Coeficiente de Determinación (R^2) para medir la bondad del ajuste. Para conocer la magnitud del error promedio se emplearon dos medidas de error: el Error Absoluto Medio (MAE) y el Error Porcentual Absoluto Medio. En general, cuanto mayor sea el Coeficiente de Correlación y de Determinación y menor el Error Absoluto Medio y el Error Porcentual Absoluto Medio mejor será la estimación de las misiones satelitales.

Resultados

Los montos pluviométricos anuales estimados por satélites presentan un patrón similar a los registros provenientes de las estaciones meteorológicas, aunque, en algunos años, las diferencias son mayores. En ambas estaciones se aprecia la subestimación de los datos CHIRPS siendo más notable en Bella Vista. Las menores diferencias entre los valores estimados por los tres satélites y las estaciones se registraron en el año 2008, considerado hidrológicamente un año seco (Figura 2a y 2b).

Las estimaciones de precipitación anual realizadas a partir de sensores remotos tienen una correlación superior al 80 % con respecto a los valores observados en las estaciones meteorológicas. Los mayores coeficientes de correlación se registraron con los datos de la misión GPM (87 %) tanto en Bella Vista como en Mercedes, presentando también esta última, el mismo porcentaje de correlación con los datos TRMM.

A partir del coeficiente de determinación se encontró que, en las dos estaciones existe una relación positiva entre datos medidos y los estimados. En Bella Vista se observó un mejor desempeño de las estimaciones GPM con un ajuste del 76 % (Fig. 3c) siendo superior al obtenido con TRMM (69 %) (Fig. 3b) y CHIRPS (67 %) (Fig. 3c). En Mercedes las estimaciones de GPM y TRMM presentaron un ajuste del 75 % (Fig. 3c y 3b) y CHIRPS del 64 % (Fig. 3a).

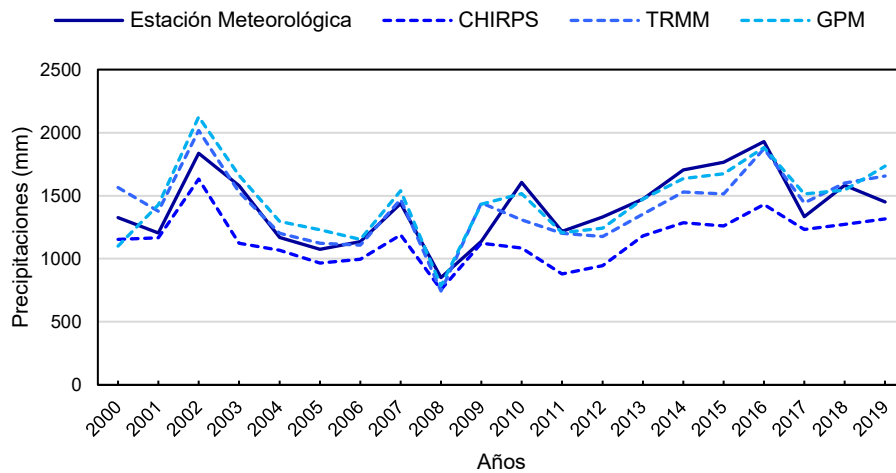
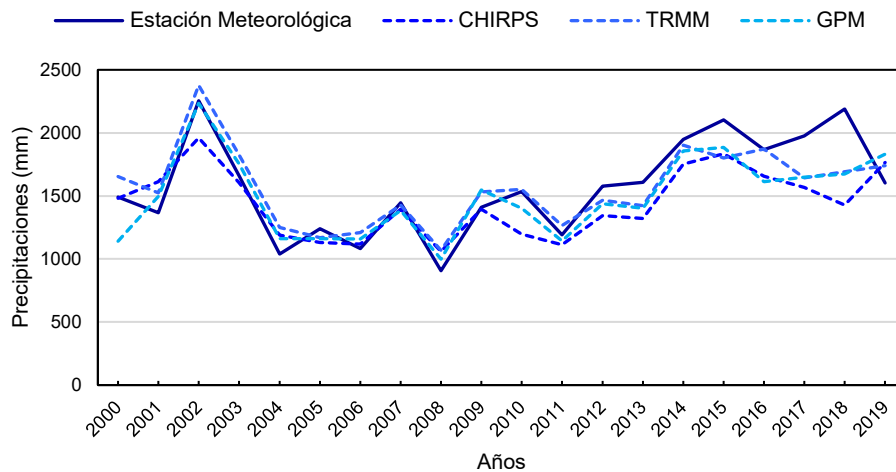
(a) Bella Vista**(b) Mercedes**

Fig. 2. Precipitación acumulada anual obtenida de misiones satelitales y las mediciones directas (a) Bella Vista y (b) Mercedes.

Tabla 2. Coeficiente de Correlación

Misiones satelitales	Bella Vista	Mercedes
CHIRPS	0,82	0,80
TRMM	0,84	0,87
GPM	0,87	0,87

Para las estimaciones CHIRPS los resultados del Error Absoluto Medio y del Error Porcentual Absoluto Medio en Bella Vista fueron los mayores con un valor de 255 mm, equivalente al 17,1 %. Los menores valores de errores de las precipitaciones estimadas por GPM fueron de 124 mm y por TRMM de 130 mm que representan el 9,2 % y el 9,4 % respectivamente. En el caso de Mercedes los mayores errores se registraron en CHIRPS con 203 mm (12,2 %) seguidamente de GPM con 166 mm (10,3 %) y el menor error lo presentan las estimaciones TRMM con 151 mm (9,7 %) los cuales se observan en la Fig. 4.

En Bella Vista las medidas estadísticas seleccionadas para evaluar entre las precipitaciones medidas y las estimadas presentan mejores valores para el producto GPM frente a los productos de TRMM y CHIRPS. En Mercedes, si bien los productos GPM y TRMM presentaron los mayores valores de los coeficientes de correlación y determinación, el menor error de estimación lo registró el producto TRMM. Por lo tanto,

a pesar de las diferencias observadas, los resultados demuestran que en la provincia de Corrientes el producto CHIRPS no muestra una buena estimación en comparación con GPM y TRMM.

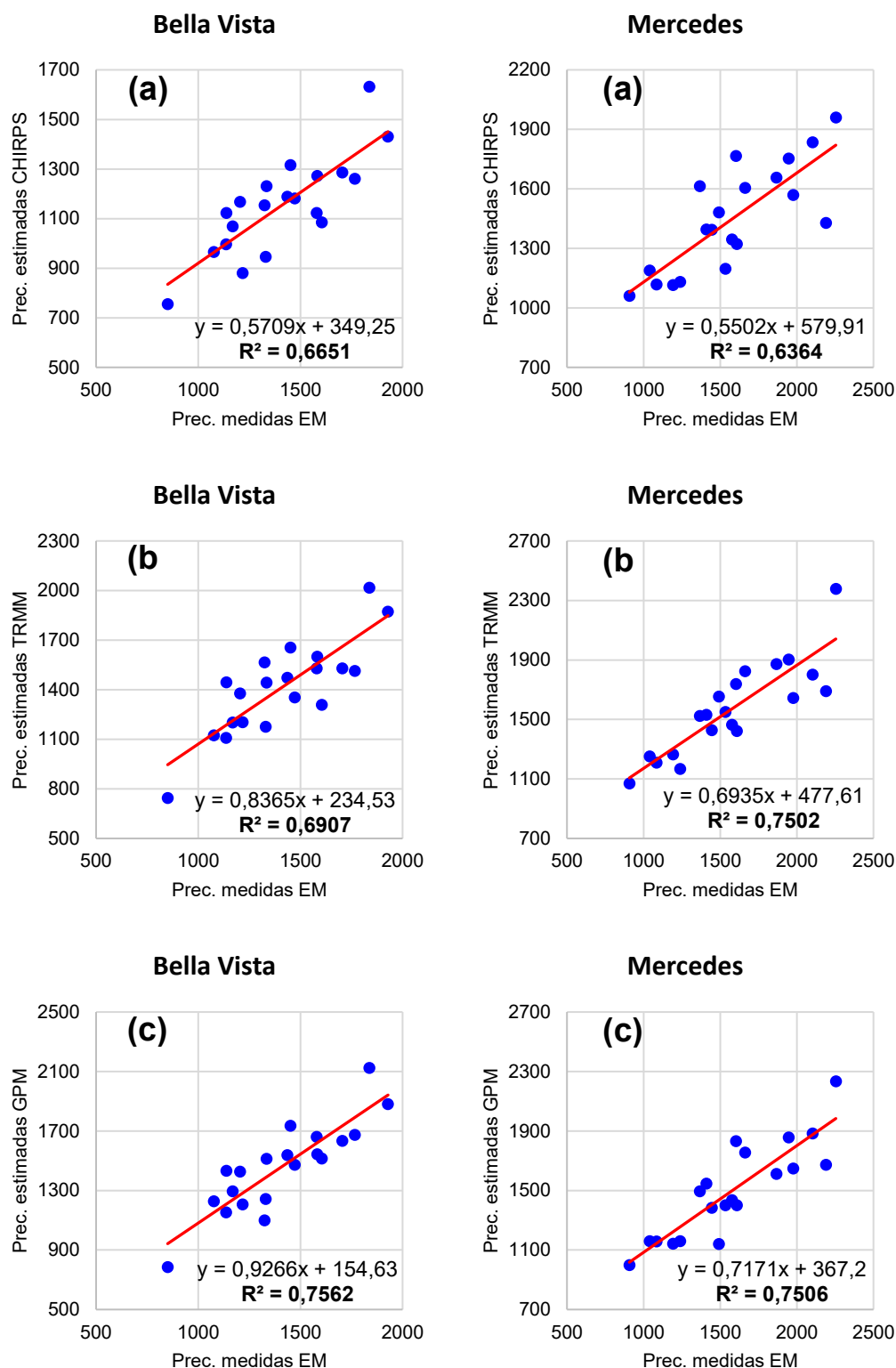


Fig. 3. Regresión lineal simple entre precipitaciones medidas en estaciones meteorológicas (Bella Vista y Mercedes) y precipitaciones estimadas (a) CHIRPS, (b) TRMM y (c) GPM.

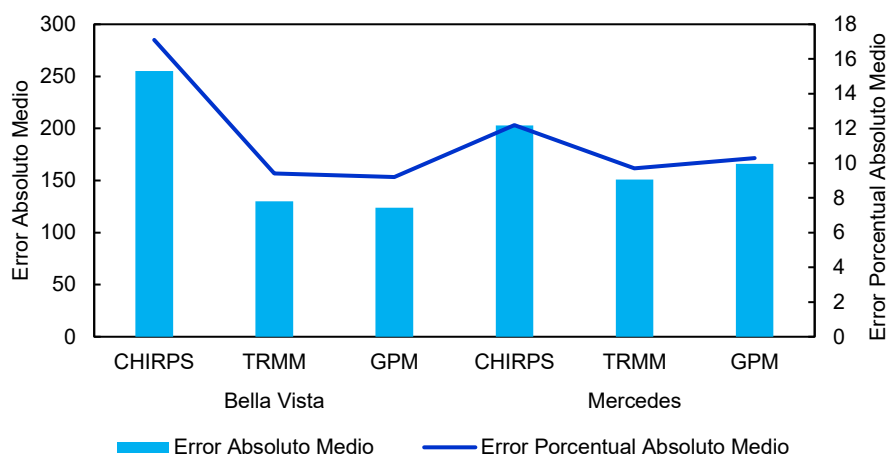


Fig. 4. Error Absoluto Medio y Error Porcentual Absoluto Medio de las estimaciones satelitales CHIRPS, TRMM y GPM para Bella Vista y Mercedes.

Conclusiones

La disponibilidad de datos precisos de precipitación con alta resolución espaciotemporal desempeña un papel fundamental en la gestión efectiva de la tierra y el agua. En este estudio, se evaluaron tres misiones diferentes para la estimación de las precipitaciones. Los resultados revelaron que tanto GPM como TRMM muestran excelentes estimaciones, con un grado de concordancia superior al 83 %, una bondad de ajuste mayor al 70 % y un Error Porcentual Absoluto Medio inferior al 10 %. La misión CHIRPS obtuvo los valores más bajos en términos de precisión de estimación de precipitaciones.

Estos hallazgos evidencian la utilidad de las misiones GPM y TRMM como fuentes confiables de datos para las estimaciones. Sin embargo, es importante tener en cuenta que en este estudio solo se utilizaron dos estaciones meteorológicas. Por lo tanto, como trabajo futuro se propone incrementar la cantidad de estaciones a evaluar para estimar adecuadamente la variabilidad de las precipitaciones en diferentes escalas espaciales y temporales, así como durante períodos de inundaciones y sequías. Al evaluar el rendimiento de los productos en escalas espaciales variadas, como regiones pequeñas o grandes cuencas hidrográficas, se puede verificar la consistencia y la calidad de los datos pluviométricos estimados. La validación en diferentes escalas temporales implica evaluar su desempeño en escalas diarias, mensuales y estacionales, lo que permite identificar posibles desviaciones o errores en la estimación de las precipitaciones en diferentes períodos.

El interés en estos productos derivados de sensores remotos radica en su capacidad para proporcionar información crucial a múltiples usuarios, especialmente en áreas donde la red de observaciones en superficie es escasa y poco uniforme. Además, estas misiones satelitales ofrecen una perspectiva global y una cobertura extensa lo que permite obtener información precisa y actualizada sobre las precipitaciones en todo el mundo. En este sentido, la plataforma *Google Earth Engine* proporciona una infraestructura robusta y una interfaz fácil de usar, lo que permite a los usuarios explorar y analizar datos de precipitaciones en cualquier área geográfica y en la frecuencia necesaria.

Referencias

- Ayehu, G.T.; Tadesse, T.; Gessesse, B.; Dinku, T. (2018). Validation of new satellite rainfall products over the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Atmospheric Measurement Techniques* 11:1921-1936.
- Behrangi, A.; Khakbaz, B.; Jaw, T. C.; AghaKouchak, A.; Hsu, K.; Sorooshian, S. (2011). Hydrologic evaluation of satellite precipitation products over a mid-size basin. *Journal of Hydrology* 397:225-237.
- Bianchi, A.; Cravero, S. (2010). Atlas climático digital de la República Argentina: Descripción climática. Mapas de temperatura media mensual y anual. Precipitación anual, evapotranspiración potencial mensual y anual, balance hídrico directo anual. Índice de aridez de De Martonne. Ediciones INTA. ISBN 978-987-1623-95-2

- Brizuela, A.; Nosetto, M.; Aguirre, C.; Bressán, M. (2015). Comparación de datos de precipitación estimada por Trmm con mediciones en estaciones meteorológicas de Entre Ríos, Argentina. *UD y la Geomática* 10:18-26.
- Campos, A.N.; Schibber, E.F.; García, A.G. (2014). Evaluación de la información satelital para el estudio de la dinámica hidrológica de la Llanura Pampeana. IFRH 2014. URL: <https://www.ina.gov.ar/ifrh-2014/Eje3/3.11.pdf>
- Capone, M.E.; Mortarino Martinez, N.; Dasso, C.M. (2018). Aproximación a una metodología para comparar datos pluviométricos de superficie y satelitales. IFRH 2018. URL: https://www.ina.gov.ar/ifrh-2018/pdf/IFRH_2018_paper_47.pdf
- Carnevali, R. (1994). Fitogeografía de la provincia de Corrientes, INTA. Gobierno de la provincia de Corrientes. ISBN 950-43-6059-9
- Elnashar, A.; Zeng, H.; Wu, B.; Zhang, N.; Tian, F.; Zhang, M.; Zhu, W.; Yan, N.; Chen, Z.; Sun, Z.; Wu, X.; Li, Y. (2020). Downscaling TRMM Monthly Precipitation Using Google Earth Engine and Google Cloud Computing. *Remote Sensing* 12:3860.
- Funk, C.; Peterson, P.; Landsfeld, M.; Pedreros, D.; Verdin, J.; Shukla, S.; Husak, G.; Rowland, J.; Harrison, L.; Hoell, A.; Michaelson, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations-a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data* 2:150066.
- Garay, D. (2021). Análisis comparativo entre datos anuales de precipitación estimada por satélite y observaciones pluviométricas de los Llanos de La Rioja. Estación Experimental Agropecuaria La Rioja, INTA.
- Gavilan, S.; Pastore, J.I.; Uranga, J.; Ferral, A.; Lighazzolo, A.; Aceñolaza, P. (2019). Metodología operativa para la obtención de datos históricos de precipitación a partir de la misión satelital Tropical Rainfall Measuring Mission. Validación de resultados con datos de pluviómetros. *Revista de la Facultad de Agronomía* 118:111-121.
- Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D.; Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment* 202:18-27.
- Hinrichs, S.; Marianetti, G.; Rivera, J.; Mulena, C.; Greco, F. (2019). Uso de las estimaciones CHIRPS como complemento de las observaciones de precipitación en la cuenca del río Mendoza. XI Jornadas de Investigación UMaza.
- Huffman, G.J.; Adler, R.F.; Bolvin, D.T.; Gu, G.; Nelkin, E.J.; Bowman, K.P.; Hong, Y.; Stocker, E.F.; Wolff, D.B. (2007). The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis: Quasi-Global, Multi-Year, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scale. *Journal of Hydrometeorology* 8:38-55.
- Huffman, G.J.; Stocker, E.F.; Bolvin, D.T.; Nelkin, E.J.; Tan, J. (2019). GPM IMERG Final Precipitation L3 Half Hourly 0.1-degree x 0.1 degree V06, Greenbelt, MD, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC). URL: https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/GPM_3IMERGHH_06/summary
- Prakash, S.; Mitra, A.K.; Pai, D.S.; AghaKouchak, A. (2016). From TRMM to GPM: How well can heavy rainfall be detected from space? *Advances in Water Resources* 88:1-7.
- Preatoni, V.; Pazos, F.; Campos, A.; Verrastro, S. (2016). Corrección de mapas satelitales de precipitación mediante el uso de pluviómetros. *Proyecciones* 14:49-63.
- Salvó, C.S.; Baldassini, P.; Di Bella, C. (2021). Identificación de campos de precipitación mediante el uso de radares meteorológicos: una alternativa para mejorar las estimaciones espaciales de las lluvias. *RIA* 47:240-248.
- Rivera, J. A.; Marianetti, G.; Scaglione, M. (2022). Análisis de los eventos de precipitación que afectan la distribución de agua potable en el Gran Mendoza, Argentina. *Cuadernos Geográficos* 61:204-222.
- Roca, R.M.; Chambon, P.; Jobard, I.; Kirstetter, P.E.; Gosset, M.; Bergás, J.C. (2010). Comparing Satellite and Surface Rainfall Products over West Africa at Meteorologically Relevant Scales during the AMMA Campaign Using Error Estimates. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 49:715-731.
- Rozante, J.R.; Vila, D.A.; Barboza Chiquetto, J.I.; Fernandes, A.D.A.; Souza Alvim, D.B. (2018). Evaluation of TRMM/GPM Blended Daily Products over Brazil. *Remote Sensing* 10:882.
- Urrea, V.; Ochoa, A.; Mesa, O. (2016). Validación de la base de datos de precipitación CHIRPS para Colombia a escala diaria, mensual y anual en el periodo 1981-2014. XXVII Congreso Latinoamericano De Hidráulica.
- Zhang, Z.; Tian, J.; Huang, Y.; Chen, X.; Chen, S.; Duan, Z. (2019). Hydrologic Evaluation of TRMM and GPM IMERG Satellite-Based Precipitation in a Humid Basin of China. *Remote Sensing* 11:431.

Cronología:

Recibido: 26 de junio de 2023; Aceptado: 25 de julio de 2023

Cómo citar este artículo:

Saucedo, G.I., Kurtz, D.B. & Contreras, F.I. (2023). Validación de precipitaciones estimadas mediante satélites para dos estaciones de la provincia de Corrientes (República Argentina). *Contribuciones Científicas GÆA* 35(1), 46-53.