

Validación de datos satelitales de precipitación en cuencas seleccionadas de Panamá

Validation of satellite precipitation data in selected basins of Panama

(Recepción 01/02/2022; Aceptación 05/01/2023)

Rodríguez-Sucre, A.¹; Castrellón, M. G.²; Tejedor-Flores, N.⁴

¹Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá

²Hydroinformatics Chair Group, IHE Delft Institute for Water Education

³Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas, Universidad Tecnológica de Panamá

⁴Sistema Nacional de Investigación (SNI)

Teléfono: +507 63783720

Email: sucre2629@gmail.com

Resumen. Los productos satelitales de precipitación son estimaciones que, por su disponibilidad, son una opción para estudios hidrológicos, especialmente en Panamá en donde no se puede acceder de forma libre a datos de estaciones pluviométricas. En este trabajo, se validarán datos de precipitación satelital con datos de estaciones pluviométricas, utilizando parámetros estadísticos y matrices de contingencia, para determinar la incertidumbre de los productos CHIRPS 2.0 e IMERG en las 3 cuencas hidrográficas de estudio (La Villa, Chiriquí Viejo y Santa María). IMERG tiene mayor correlación en temporalidad diaria y mejor detección de eventos, mientras que CHIRPS es recomendable para temporalidad mensual.

Palabras clave. CHIRPS; GPM IMERG; Panamá

Abstract. Satellite precipitation products are estimates that, due to their availability, are an option for hydrological studies, especially in Panama, where data from pluviometric stations cannot be freely accessed. In this work, satellite precipitation data were validated with data from pluviometric stations, using statistical parameters and contingency matrices, to determine the uncertainty of the CHIRPS 2.0 and IMERG products in the 3 study area watersheds (La Villa, Chiriquí Viejo and Santa María). IMERG has a higher correlation in daily timing and better event detection, while CHIRPS is recommended for a monthly accumulated precipitation period.

Keywords. CHIRPS; GPM IMERG; Panama

1. Introducción

Centroamérica ha experimentado un incremento en eventos extremos adversos relacionados al cambio climático. Este produce aumentos en los niveles del mar y en la temperatura global causando cambios en los patrones de lluvia y que, por preocupación científica, se considera continua y la principal causa de la intensificación o reducción de los eventos de precipitación (Calderón, 2021).

Los eventos que provocan afectaciones y que son una amenaza climática continua en Panamá, son las lluvias intensas y las sequías prolongadas. Estas condiciones adversas impactan negativamente a distintos sectores socioeconómicos, como el sector agropecuario y la generación de electricidad. El principal factor en la vulnerabilidad creciente de Panamá ante fenómenos extremos es la precipitación, que debe ser analizada para generar planes y tomas de decisiones (Ministerio de Ambiente, 2019). Sin embargo, los datos de precipitación no están disponibles de forma libre y abierta para los investigadores y el público en general. Por tal motivo, es imperativo buscar alternativas para la obtención de dichos datos.

Una de esas alternativas consiste en las estimaciones de precipitación de productos satelitales, los cuales

brindan una cobertura espacial de precipitación mayor que las estaciones pluviométricas y radares. (Hsu, Huang, Liu, & Li, 2021), y se pueden acceder a ellos de forma libre y gratuita.

No obstante, los productos satelitales de precipitación distan mucho de ser una solución perfecta al problema de la falta de datos ya que varios estudios del mundo han demostrado que el desempeño depende de la región (Maggioni, Meyers, & Robinson, 2016) y altitud (Derin, y otros, 2019). Esta discrepancia es provocada por la periodicidad de la original, dispositivos de calibración y errores en los algoritmos utilizados. (Gebremichael, Krajewski, Morrissey, & Huffman, 2005). Por lo tanto, es altamente recomendable validar estos productos satelitales para verificar que sean confiables y estimar el umbral de incertidumbre antes de aplicarlos en análisis hidrológicos más complejos.

Alrededor del mundo se han utilizado los productos satelitales como una alternativa aceptable y confiable para suplir la falta de datos de precipitación. Por ejemplo, en México y Colombia se han analizado datos de precipitación de CHIRPS concluyendo que el clima tropical y la diversidad topográfica, influyen directamente los resultados (Lopez-Bermeo, Montoya, Caro Lopera, & Diaz Garcia, 2022), (Mayor, Fonseca Hernandez, Tereshchenko, & Pantoja, 2017). Sin

embargo, en Panamá no se han llevado a cabo este tipo de análisis.

El objetivo de esta investigación es validar los productos satelitales GPM_3IMERGDF (Huffman, y otros, 2018) y CHIRPS 2.0 (IRI, 2021) con datos de precipitación observados en las cuencas hidrográficas seleccionadas donde se cuentan con estaciones pluviométricas.

Para tal motivo se realiza esta validación. Se seleccionaron datos de estaciones pluviométricas ubicadas en las partes alta, media y baja de tres cuencas las cuencas hidrográficas del río La Villa, Chiriquí Viejo y Santa María, respectivamente. Utilizando diferentes parámetros estadísticos se verificó la correlación y se evaluó el desempeño de los productos satelitales estas estimaciones en las temporalidades diaria y mensual

2. Materiales y métodos

2.1. Áreas de estudio

Las áreas de estudios seleccionadas para esta investigación fueron las cuencas de los ríos Chiriquí Viejo, La Villa y Santa María (Figura 1).

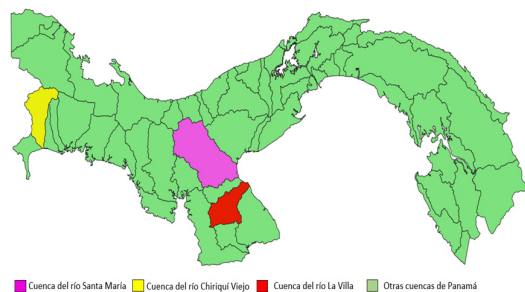


Figura 1. Cuencas hidrográficas seleccionadas. Fuente: Elaboración propia, utilizando mapa base de Solano (2018) y herramientas del software QGIS

La cuenca del río Santa María con un área de 3326 km^2 se da un manejo y explotación descontrolada e insostenible de los recursos naturales en especial el agua, haciendo urgente la aplicación de planes y controles ambientales (EcuRed, 2021). La cuenca del río La Villa con un área de 1284.3 km^2 se encuentra dentro de la región del Arco Seco de Panamá, en la cual se dan los menores niveles de precipitación a nivel nacional y en donde la estación seca puede llegar a extenderse hasta 7 meses, razón por la cual sus pobladores sufren escasez de agua para el desarrollo de sus actividades (Redacción Digital La Estrella, 2012). La cuenca del río Chiriquí Viejo con un área de 1376 km^2 es un área vulnerable, que por las condiciones erosión del suelo, represamiento por hidroeléctricas y topografía aumentan la fragilidad de los suelos, el fenómeno de transporte de sedimentos, recurrencia y afectaciones de deslizamiento e inundación (CATIE, 2014).

2.2 Datos de precipitación

Los datos que se utilizaron en esta investigación tienen temporalidad diaria y mensual. Estos pueden clasificarse en dos tipos: precipitación de estaciones pluviométricas y precipitación estimada por satélites. Los datos de precipitación provenientes de estaciones pluviométricas fueron obtenidos del Departamento de Hidrometeorología de la Empresa de Transmisión Eléctrica S.A. (ETESA), el cual es el organismo a nivel nacional encargado de recopilar y administrar los datos hidrometeorológicos del país.

Se escogieron 9 estaciones, 3 por cuenca (Figura 2), ubicadas en las partes alta, media y baja, respectivamente (Tabla 1) y se obtuvieron datos con resolución temporal diaria para los años desde 2001 hasta 2013. Estas series de tiempo presentan un muy bajo porcentaje de datos faltantes (menos del 10%) por lo que no recurrió a ningún algoritmo para estimar los datos faltantes. Para obtener la precipitación total mensual, se realizó una suma de los datos diarios.

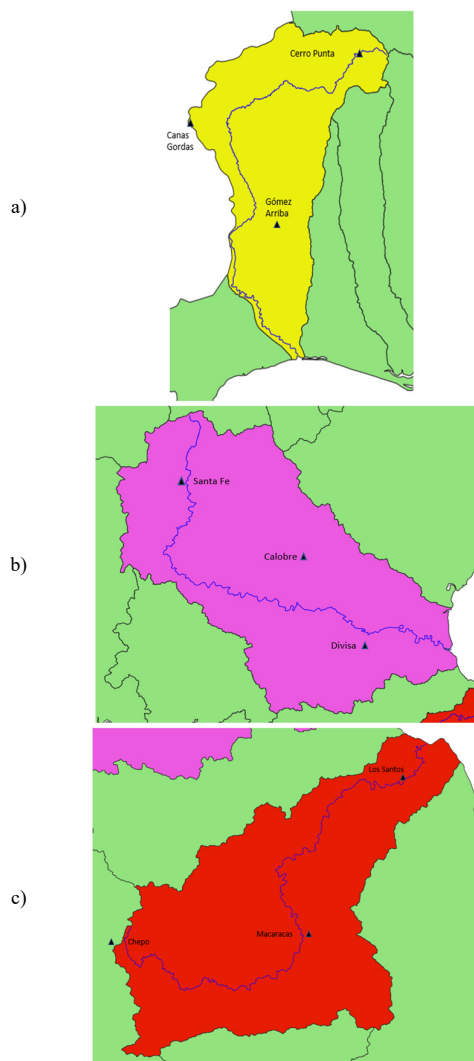


Figura 2. Cuencas hidrográficas seleccionadas. a) Chiriquí Viejo, b) Santa María, c) La Villa. Fuente: Elaboración propia, utilizando mapa base de Solano (2018) y herramientas del software QGIS

Tabla 1. Estaciones pluviométricas utilizadas por cada cuenca en estudio Fuente (ETESA, 2021)

Cuenca	Nombre	Posición	Elevación (m)
Río La Villa	Chepo	Alta	680
	Macaracas	Media	111
	Los Santos	Baja	16
Río Chiriquí Viejo	Cerro Punta	Alta	1830
	Canas Gordas	Media	1140
	Gómez Arriba	Baja	380
Río Santa María	Santa Fe	Alta	463
	Calobre	Media	120
	Divisa	Baja	12

Las estaciones pluviométricas dentro de cada una de las cuencas fueron escogidas por (1) la disponibilidad de series temporales de precipitación (con pocos datos faltantes), (2) las diferencias en sus respectivas topografías, y (3) su localización dentro de la cuenca. Las diferentes cuencas se eligieron ya que se consideran de importancia en las distintas regiones hidrológicas del país.

Los datos satelitales obtenidos provienen de los productos CHIRPS y GPM_3IMERGDF. El producto CHIRPS 2.0 es desarrollado por el Servicio Geológico de EE. UU. (*U.S. Geological Survey*, USGS) y el Grupo de Peligro Climático (*Climate Hazards Group*, CHG) de la Universidad de California, Santa Bárbara. Los datos de CHIRPS se elaboran a partir de mediciones infrarrojas en nubes frías y son calibrados con estaciones pluviométricas privadas y de agencias meteorológicas de México, Centroamérica, Sur América y África (Funk, y otros, 2015). El producto GPM_3IMERGDF es parte de la familia de productos IMERG de la NASA los cuales se elaboran a partir de datos captados por los instrumentos de microondas pasivas de la constelación de satélites de la misión global de precipitación (Hou, y otros, 2014). El producto final es el resultado de un algoritmo que combina estos datos y los calibra contra datos de estaciones pluviométricas en tierra (Huffman, y otros, 2018). De cada producto satelital se descargaron series de tiempo diarias para las coordenadas de cada estación pluviométrica. De igual manera, los datos diarios se acumularon para obtener los datos mensuales.

2.3. Metodología de validación

En esta investigación se utilizaron el Sesgo Relativo (*“Relative Bias”*) y la Correlación de Pearson para validar los datos de precipitación satelitales. El Sesgo Relativo (Rango de $-\alpha$ a α), indica la sobrestimación o subestimación de las mediciones, con valor perfecto en 0 y la Correlación de Pearson (Rango de -1 a 1), describe el grado de correlación lineal entre valores observado y estimados, siendo 1, el valor perfecto.

$$\text{Sesgo relativo} \quad BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - G_i)}{\sum_{i=1}^n G_i} \quad (1)$$

$$\text{Correlación de Pearson} \quad r = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})(G_i - \bar{G})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2 + (G_i - \bar{G})^2}} \quad (2)$$

Donde S_i y G_i representa los valores de precipitación estimadas y observados, \bar{G} y \bar{S} son los promedios los

valores de precipitación estimadas y observados. Además, se aplicaron matrices de contingencia 2 x 2 (AghaKouchak & Mehran, 2013), con el fin de evaluar a través de parámetros, la detección de eventos de lluvia en las estimaciones satelitales. Estos parámetros son la probabilidad de detección de un evento (POD), tasa de falsa alarma (FAR) y la tasa crítica de suceso (CSI). El índice POD o tasa de aciertos, cuenta la proporción de eventos de una clase que fueron pronosticadas como tal. En cambio, el índice FAR o tasa de falsa alarma, da la proporción de los pronósticos que fallaron en producirse, esperándose que un buen pronóstico de como resultado valores cercanos a cero. CSI calcula la proporción de todos los eventos estimados y observa que fueron correctamente diagnosticados (Domínguez & Gonzáles, 2012).

$$\text{Probabilidad de detección de un evento} \quad POD = \frac{H}{H+F} \quad (3)$$

$$\text{Tasa de falsa alarma} \quad FAR = \frac{F}{F+H} \quad (4)$$

$$\text{Tasa crítica de suceso} \quad CSI = \frac{H}{H+M+F} \quad (5)$$

3. Resultados y Discusión

Para todas las cuencas, la Correlación Pearson es baja para ambos productos diarios (< 0.5), siendo el producto GPM_3IMERGDF el más aceptable en las cuencas analizadas con mayor correlación en la del río Santa María ($r = 0.44$). Por cuenca, analizando las estaciones por elevación, no hay tendencia característica entre estas y los productos satelitales. Si se generaliza, promediando las correlaciones de las estaciones por elevaciones en niveles tenemos que, de <400 a $400-800$, ambos productos aumentan siendo IMERG el que tiene mejor correlación. Las estaciones con elevación mayor a 800 a una menor correlación. En la temporalidad mensual ambos productos poseen correlaciones fuertes con los valores observados (≥ 0.8), reduciendo la variación existente en periodo diario, permitiendo su utilización en estudios hidrográficos a nivel de cuencas (Duan, W, & Liu, 2012). En cuanto al Sesgo Relativo, el producto GPM_3IMERGDF tiende a subestimar los valores diarios y mensuales observados. En CHIRPS 2.0 se da una sobrestimación en la cuenca del río Santa María y La Villa, salvo en la cuenca del río Chiriquí Viejo. Los resultados de la validación paramétrica se observan en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados promedio de la validación paramétrica por cuenca en temporalidad diaria y mensual. Donde CH es Chiriquí Viejo, SM es Santa María y LV es La Villa

	P. Satelital	CHIRPS 2.0			GPM 3IMERGDF		
		CH	SM	LV	CH	SM	LV
r	Diario	0.36	0.38	0.38	0.40	0.44	0.43
	Mensual	0.93	0.91	0.86	0.89	0.87	0.80
BIAS	Diario	-0.55	0.19	0.50	-1.44	-2.29	-1.1
	Mensual	-17.0	2.90	6.84	-44.1	-72.8	-43.7

Según los resultados diarios de la matriz de contingencia para evaluar el desempeño de las estimaciones satelitales (Tabla 4), es el producto

GPM_3IMERGDF es el de mayor probabilidad para detección de eventos lluviosos (POD > 0.90). El producto CHIRPS 2.0 tiene menor tasa de falsos eventos en su detección (0.31 < FAR). Según (Mayor, Fonseca Hernandez, Tereshchenko, & Pantoja, 2017), para la cuenca del río Chiriquí Viejo, por su topografía, estos son los resultados esperados al estar los valores de CSI, influenciado por la elevación (CSI en CHIRPS es 0.58 y IMERG es 0.70).

Tabla 4. Resultados diarios del desempeño de detección de eventos lluviosos en las cuencas analizadas

	CHIRPS 2.0			GPM 3IMERGDF		
	CH	SM	LV	CH	SM	LV
POD	0.68	0.73	0.71	0.94	0.94	0.95
FAR	0.19	0.31	0.30	0.27	0.39	0.40
CSI	0.58	0.55	0.54	0.70	0.58	0.59

4. Conclusiones

En esta investigación se realizó validación de productos satelitales con temporalidad diaria y mensual, del desempeño de los productos de precipitación satelitales GPM_3IMERGDF y CHIRPS 2.0, para 3 cuencas hidrográficas de Panamá, en un periodo de enero del 2001 hasta diciembre del 2013. La validez de estos productos es dependiente de su aplicación y temporalidad analizada (Dembélé & Zwart, 2016). En un análisis en temporalidad diaria, los resultados de la Correlación de Pearson son bajos (< 0.5), por lo tanto, no es recomendable su aplicación, como en modelos utilizados para la predicción de crecidas y activar alertas tempranas (Grimes, R., & E, 1999). En un análisis mensual, CHIRPS se considera la mejor opción ya que tiene mayor correlación con los datos observados, siendo posible su aplicación en estudios de temporadas lluviosas o seca, y en modelos hidrológicos para estudios de cuencas hidrográficas (C, Das, Bajracharya, & Shrestha, 2015). Los resultados son similares a los obtenidos en México (Mayor, Fonseca Hernandez, Tereshchenko, & Pantoja, 2017), en donde los productos satelitales tienen una detección de eventos alta y baja correlación. La mejor correlación entre datos satelitales y pluviométricos para ambos productos satelitales se observó en un rango entre 400 metros y 800 metros de elevación, para todas las cuencas de estudio. Los resultados de este estudio pueden ser de utilidad para investigadores y tomadores de decisión en Panamá a la hora de seleccionar el producto satelital adecuado.

Referencias

AghaKouchak, A., & Mehran, A. (2013). Extended contingency table: Performance metrics for satellite observations and climate model simulations. *Inter-Research Science Center*, 35-50.

C, D., Das, J., Bajracharya, S., & Shrestha, M. (2015). "Systematic Evaluation of Satellite-Based Rainfall Products over the Brahmaputra Basin for Hydrological Applications.". *Advances in Meteorology*.

Calderón, A. (03 de Agosto de 2021). *Ministerio de ambiente*. Obtenido de Los eventos extremos, la

gran amenaza del cambio climático: <https://www.miambiente.gob.pa/los-eventos-extremos-la-gran-amenaza-del-cambio-climatico/>

CATIE. (2014). *Plan de Manejo Cuenca del río Chiriquí Viejo*. Chiriquí: Ministerio de Ambiente.

Dembélé, M., & Zwart, J. (2016). Evaluation and comparison of satellite-based rainfall products in Burkina Faso, West Africa. *International Journal of Remote Sensing*.

Duan, Z., W, B., & Liu, J. (2012). Monthly and Annual Validation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) Products in the Caspian Sea Region for the Period 1999–2003. *IGARSS*, 22-27.

EcuRed. (2021). *Río Santa María*. Obtenido de EcuRed: [https://www.ecured.cu/R%C3%ADo_Santa_Mar%C3%ADa_\(Panam%C3%A1\)](https://www.ecured.cu/R%C3%ADo_Santa_Mar%C3%ADa_(Panam%C3%A1))

ETESA. (2021). *HIDROMET*. Obtenido de <https://www.hidromet.com.pa/es/clima-historicos>

Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., . . . Michaelsen, J. (8 de Diciembre de 2015). *The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes*. Obtenido de Scientific Data.

Grimes, D., R, B., & E, P.-I. (1999). "Optimal Areal Rainfall Estimation Using Raingauges and Satellite Data.". *Journal of Hydrology*.

Hou, A., Kakar, R., Neeck, S., Azarbarzin, A., Kummerow, C., Kojima, M., . . . Iguchi, T. (1 de Mayo de 2014). *The Global Precipitation Measurement Mission*. Obtenido de American Meteorological Society.

Huffman, G., Bolvin, D., Braithwaite, D., Nelkin, E., Sorooshian, S., Tan, J., . . . Xie, P. (2018). *NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG)*. USA: National Aeronautics and Space Administration.

IRI. (2021). Collection of precipitation data. Colombia: Columbia Climate School International Research Institute for Climate and Society. Obtenido de <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/>

Lopez-Bermeo, C., Montoya, R., Caro Lopera, F., & Diaz Garcia, J. (2022). Validation of the accuracy of the CHIRPS precipitation dataset at. *ELSEVIER*.

Mayor, Y., Fonseca Hernandez, M., Tereshchenko, I., & Pantoja, D. (2017). Evaluation of Error in IMERG Precipitation Estimates Under Different Topographic Conditions and Temporal Scales over Mexico. *MDPI*.

Ministerio de Ambiente. (2019). *TERCERA COMUNICACIÓN NACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO Panamá*. Panamá. Obtenido de <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Tercera%20Comunicacion%20Nacional%20Panama.pdf>

Redacción Digital La Estrella. (2012). El Arco Seco no es tan seco. *La Estrella de Panamá*. Obtenido de <https://www.laestrella.com.pa/cafe-estrella/planeta/121219/arco-seco-seco>