



ANÁLISIS DE DATOS DE PRECIPITACION SATELITAL GPM IMERG_F EN LA CUENCA MADRE DE DIOS, PERÚ

ANALYSIS OF GPM IMERG_F SATELLITE PRECIPITACION DATA IN THE MADRE DE DIOS BASIN, PERU

Arthur Javier Salas-Choquehuanca^{1*}, Emer Ronald Rosales-Solórzano¹,
Odilon Correa-Cuba², Alejandro Félix Taquira-Arroyo³,
Rocio Maribel Asención-Cordova⁴

Historia del Artículo:

Recibido: 11 de enero de 2023

Aceptado: 02 de marzo de 2023

¹ Escuela Académico Profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado, Madre de Dios, Perú.

salasarthj@gmail.com ORCID
errs1973@gmail.com ORCID

² Departamento Académico de Ciencias Básicas, Universidad Nacional José María Arguedas, Andahuaylas, Apurímac, Perú.

odiloncorrea@unajma.edu.pe ORCID

³ Escuela de Ingeniería Ambiental y Forestal, Universidad Nacional de Juliaca, Puno, Perú.

af.taquira@unaj.edu.pe ORCID

⁴ Ecoforest Servicios Ambientales S.R.L., Cusco, Perú.

marychito@gmail.com ORCID

* Autor de correspondencia: Salas-Choquehuanca A. J [salasarthj@gmail.com]

<https://doi.org/10.56636/ceprosimad.v11i1.124>

RESUMEN

Las estimaciones y uso de los registros meteorológicos que proporcionan los satélites facilitan la toma de decisiones técnicas. Por ello el objetivo fue analizar y comparar los datos de precipitación mensual entre satélite GPM IMERG_F v6 y del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). El método consistió evaluando los valores faltantes con el paquete “mice” y el software Hydraccess que determina el vector regional y vector correl, y para determinar los errores estadísticos se usó la librería hydroGOF. En resultados el control de calidad de ambos datos de precipitación mensual de factor D.E.D fue $< 0,2$ y Correl./Vector $> 0,7$ ajustándose dentro de los parámetros de evaluación, excepto la estación Iñapari con 0,657; comparando los mismos mostró que los errores estadísticos en el NSE fueron $< 0,65$ que no cuantifica adecuadamente el modelo, en cambio con los datos de CC $> 0,8$ muestra mejor concordancia. En el RMSE varía al promedio de 146,48 mm considerados como valores extremos, analizando el porcentaje las estaciones Iñapari, Puerto Maldonado, Cuyo Cuyo, Macusani y Ollachea de valores positivos ostentaron una sobreestimación del satélite, sin embargo, en las estaciones de San Gabán, Quincemil y Chontachaca se estima valores negativos y muestran una subestimación. Analizando el índice de detección PDO = 1

ETS = 0,2 FAR = 0,2 y FBI = 1,4 de la serie entre datos mostró una buena representación, excepto las estaciones Ollachea, Macusani y Chontachaca. Concluyéndose que los datos del satélite GPM proporciona bajo porcentaje de valores cercanos a los reales del SENAMHI.

PALABRAS CLAVE: IMERG, SENAMHI, precipitación, estación, cuenca, Madre de Dios.

ABSTRACT

The estimates and use of meteorological records provided by satellites facilitate technical decision making. Therefore, the objective was to analyze and compare the monthly precipitation data between the GPM IMERG_F v6 satellite and the National Service of Meteorology and Hydrology (SENAMHI). The method consisted of evaluating the missing values with the "mice" package and the Hydraccess software that determines the regional vector and correl vector, and the hydroGOF library was used to determine the statistical errors. In results, the quality control of both monthly precipitation data of the D.E.D factor was <0.2 and Correl./Vector >0.7 , adjusting within the evaluation parameters, except for the Iñapari station with 0.657; comparing them, it showed that the statistical errors in the NSE were <0.65 , which does not adequately quantify the model, on the other hand, with the CC data >0.8 , it shows better concordance. In the RMSE it varies to the average of 146.48 mm considered as extreme values, analyzing the percentage of the Iñapari, Puerto Maldonado, Cuyo Cuyo, Macusani and Ollachea stations of positive values showed an overestimation of the satellite, however, in the stations of San Gaban, Quincemil and Chontachaca negative values are estimated and show an underestimation. Analyzing the detection index PDO = 1 ETS = 0.2 FAR = 0.2 and FBI = 1.4 of the series between data showed a good representation, except for the Ollachea, Macusani and Chontachaca stations. Concluding that the data from the GPM satellite provides a low percentage of values close to the real ones of SENAMHI.

KEYWORDS: IMERG, SENAMHI, precipitation, station, basin, Madre de Dios.

INTRODUCCIÓN

La precipitación es un componente del ciclo del agua y juega una función importante para la supervivencia de los seres humanos como muestra principal el agua dulce, también impactos económicos directos e indirectos (Michaelides et al., 2009). La metodología por satélite ha seguido siendo una tarea importante para mejorar la calidad de datos, fomentar su utilización para la hidrología y meteorología, la previsión de inundaciones, la modelización de los recursos hídricos, las sequías mundiales y/o regionales y la planificación agrícola (Gebremichael & Hossain, 2010).

Consecuentemente, los registros pluviométricos convencionales o

automáticas son relativamente insuficientes, especialmente en países de desarrollo debido a que los pluviómetros brindan datos del lugar donde son ubicados. En el Perú este problema es escasa para realizar evaluaciones meteorológicas e hidrológicas (Asurza, Ramos, & Lavado, 2018), en los últimos tiempos el avance de la tecnología de la teledetección ha llevado a una mejora para la evaluación de la meteorología (Chen & Li, 2016).

En los últimos tiempos surgieron diversos métodos o técnicas para la estimación de la lluvia con sensores remotos y pluviómetros convencionales o automáticas (Huffman et al., 2007), donde se busca lograr una representación precisa de la precipitación de variable espacio – temporal.

Para la estimación de la precipitación se utiliza uno de los servicios más nuevos que fue desarrollado para el análisis remota de la precipitación mediante la representación satelital, que es la misión GPM que es una malla internacional de satélites que facilitan las observaciones globales de la máxima generación de lluvia y nieve a una resolución espacial $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ de aprox. 10 km (Hou et al., 2014), dando como el éxito de TRMM ya que los productos multisatélite del TRMM finalizaron su generación de datos hasta el 31 de diciembre de 2019 (Huffman et al., 2019).

Con el mismo propósito del TRMM, llega la misión GPM que es una misión internacional conformada por una red de satélites de nueva generación en medición de lluvia y nieve. El GPM fue lanzado el 27 de febrero de 2014 organizada por la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio – NASA y la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial – JAXA, donde se ubica a una altitud de 407 km en órbita no sincronizada con el sol y perenne con el mismo muestreo del TRMM, aunque a futuro la observación por satélites se extienda a latitudes más altas que cubra el globo terráqueo (Huffman, 2019; Huffman et al., 2019).

En ese entender es preciso realizar una detallada comparación para comprobar si el producto IMERG_F v6 de la misión GPM tiene las mismas precipitaciones o estimaciones que se aproxima con respecto a los datos registrados por la institución SENAMI, por ello el objetivo del trabajo de investigación fue analizar y comparar la precipitación mensual entre satélite GPM IMERG_F v6 y observadas a través de las

estaciones meteorológicas de SENAMHI, en la cuenca Madre de Dios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en la cuenca de Madre de dios, que se encuentra ubicado entre las coordenadas UTM (WGS84 zona19L Sur) este 127375 m – 537818 m, norte 8377470 m – 8808204 m y altitud comprendida entre los 157 – 6094 m.s.n.m. en el cual se encuentran distribuidas las 8 estaciones distribuidas por la cuenca (figura 1).

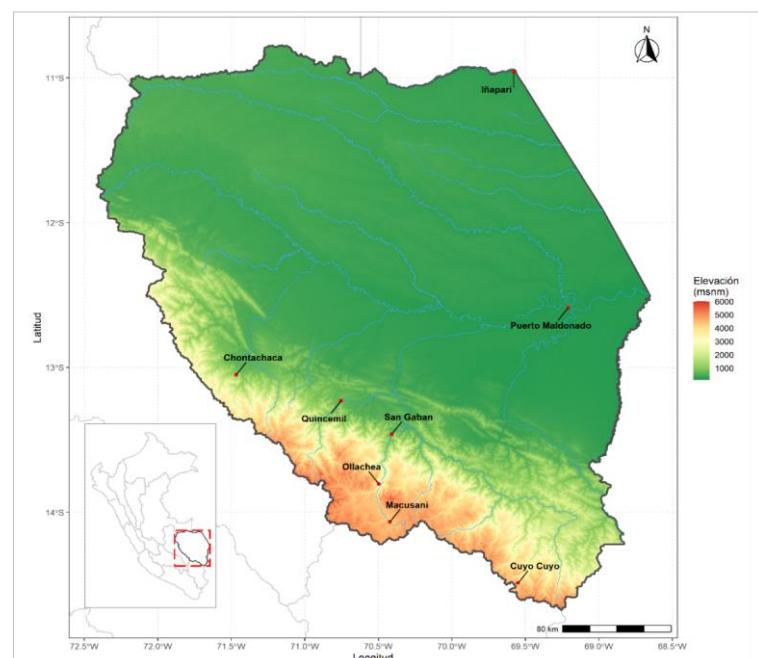


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio y la distribución de estaciones.

Datos utilizados

Se utilizó la información de ocho estaciones (tabla 1) que corresponde a variables de precipitación diaria y se procede a realizar la acumulación a escala mensual correspondientes a los años 2010 – 2019 ubicados en la zona de estudio y administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI. Los datos diarios del GPM IMERG_F v06 se obtuvieron del servidor en línea (web) de

la página GIOVANNI de la NASA (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>, consultado el 01 de agosto del 2022), se procede a realizar la acumulación mensual

del producto IMERG_F v6 de la misión GPM.

Tabla 1. Ubicación de las estaciones.

Estación	Código	Tipo	Coodenadas		Altitud (m.s.n.m.)
			Longitud	Latitud	
Iñapari	472587E0	Automática	-69,58	-10,96	245
Puerto Maldonado	100109	Convencional	-69,21	-12,59	209
Cuyo Cuyo	114096	Convencional	-69,55	-14,49	3619
Macusani	114039	Convencional	-70,42	-14,07	4363
Ollachea	113044	Convencional	-70,50	-13,80	2850
San Gaban	113119	Convencional	-70,41	-13,46	666
Quincemil	100114	Convencional	-70,75	-13,23	651
Chontachaca	100030	Convencional	-71,47	-13,05	872

Fuente: SENAMHI.

Metodología

Los datos adquiridos de SENAMHI a escala diaria, se procede a realizar mediante la acumulación a escala mensual para la evaluación de las cuales existen datos faltantes, mediante una librería llamada “mice” (Buuren & Groothuis-Oudshoorn, 2011), se realiza para completar de datos faltantes, para este caso se utilizó el método de ajuste de la media predictiva – pmm, el cual menciona que cuenta con buenos parámetros (Romero, Florez, & Balcero, 2018). La calidad de datos acumulado se realizó a escala anual del 2010 - 2019, con

el software Hydraccess donde se determina el vector regional y vector/correl. De e evalúa los errores estadísticos (tabla 2), donde se considera lo siguiente; Eficiencia de Nash-Sutcliffe, Coeficiente de correlación, Error cuadrático medio y Sesgo porcentual, para realizar los errores estadísticos se utiliza la librería hydroGOF (Zambrano, 2020), luego se evaluó los índices de detección las cuales son; probabilidad de detección – POD, probabilidad de detección corregida – ETS, Frecuencia de sesgo – FBI y falsa alarma – FAR (tabla 3 y tabla 4).

Tabla 2. Métricas estadísticas.

Métricas	Ecuación	Valor óptimo
Eficiencia de Nash-Sutcliffe – NSE	$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$	1
Coeficiente de Correlación – CC	$CC = \frac{cov(S_i, O_i)}{\sqrt{var(S_i)} \sqrt{var(O_i)}}$	1
Error cuadrático medio – RMSE	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}$	0
Sesgo Porcentual – PBIAS	$PBIAS = 100 * \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n (S_i)}$	0

Tabla 3. Contingencia para evaluar la ocurrencia de la precipitación.

		Satélite			Total
		SI	NO		
Pluviómetro	SI	Éxito (a)	Error (c)	a+c	a+c
	NO	Falsa alarma (b)	Correcto negativo (d)	b+d	
Total		a+b	c+d	Total	

Fuente: (Sharifi, Steinacker, & Saghafian, 2016).

Tabla 4. Métricas estadísticas.

Métricas	Ecuación	Valor óptimo
Probabilidad de detección – POD	$POD = \frac{a}{a + c}$	1
Probabilidad de detección corregida – ETS	$ETS = \frac{a - He}{a + b + c - He}$ $He = \frac{(a + c)(a + b)}{n}$	1
Falsa alarma – FAR	$FAR = \frac{b}{a + b}$	0
Frecuencia de sesgo – FBI	$FBI = \frac{a + b}{a + c}$	1

RESULTADOS

En la tabla 5 se aprecia que, los datos de precipitación mensual de cada estación ubicada en el área de estudio desde 2010 al 2019 hay datos faltantes, lo que motivó que

las estaciones Iñapari y Macusani sean excluidos, también se observa en las otras estaciones no tiene las mismas alineaciones o elevación ni procedimientos entre estaciones.

Tabla 5. D.E.D. y correlación / vector en cada estación.

Estaciones	SENAMEHI			GPM		
	Datos faltantes		Datos completados		IMERG_F v6	
	D.E.D.	Correl. /Vector	D.E.D.	Correl. /Vector	D.E.D.	Correl. /Vector
Iñapari	-	-	0,080	0,657	0,065	0,831
Puerto Maldonado	0,116	0,218	0,106	0,447	0,100	0,611
Cuyo Cuyo	0,096	0,771	0,093	0,829	0,053	0,890
Macusani	-	-	0,075	0,819	0,095	0,757
Ollachea	0,087	0,714	0,093	0,839	0,050	0,859
San Gaban	0,094	-0,182	0,123	0,382	0,043	0,873
Quincemil	0,069	-0,087	0,059	0,840	0,048	0,835
Chontachaca	0,047	0,683	0,059	0,741	0,059	0,778

En la tabla 6 referido a la comparación cuantitativa se observa que NSE relativamente se adecua para cada estación,

el más aceptable es la estación Puerto Maldonado con 0,80 según Ritter y Muñoz (2013) ese ajusta como bueno seguidamente

Iñapari, Cuyo Cuyo, Quincemil y San Gaban se ajusta como ajuste insatisfactorio, a su vez las estaciones con datos positivos indica que los datos simulados es el regular predictor que el modelo y los datos negativos Macusani, Ollachea y Chontachaca son muy insatisfactorios.

En relación con el Coeficiente de Pearson se obtuvo un valor mínimo de 0,81 de las estaciones de San Gaban y Quincemil, la estación más cerca de 1 es Macusani con 0,93 donde se muestra (tabla 6, figura 2), que representa estos resultados en forma cuantitativa, ya que los resultados muestran una buena correlación.

El RMSE se logró un valor mínimo de 30,58 mm en la estación Cuyo Cuyo seguidamente de la estación Puerto Maldonado, Iñapari y

Macusani al tener esos valores relativamente bajo que quiere decir que los datos simulados están generando buenas estimaciones que son óptimos, las estaciones con mayores datos son Ollachea, San Gaban, Quincemil y Chontachaca menciona que RMSE no es óptimo son valores extremos.

En BIAS la estación óptima es Iñapari con menor magnitud (cerca a cero) el cual indica que tiene una buena correlación seguidamente de las estaciones Puerto maldonado, Cuyo Cuyo y Ollachea entre datos simulados con datos observados, el valor más alto es 132% que es la estación Macusani el cual sobreestima y el valor más bajo fue una subestimación de -56,40% de la estación Chontachaca.

Tabla 6. Comparación de resultados de error estadístico.

Estación	Elevación (msnm)	NSE (-)	CC (-)	RMSE (mm)	PBIAS (%)
Iñapari	245	0,64	0,83	62,69	6,70
Puerto Maldonado	209	0,80	0,91	62,38	10,20
Cuyo Cuyo	3619	0,52	0,84	30,58	25,40
Macusani	4363	-1,72	0,92	93,54	132,00
Ollachea	2850	-0,75	0,87	111,05	95,90
San Gaban	666	0,04	0,81	289,81	-38,30
Quincemil	651	0,27	0,81	241,28	-32,10
Chontachaca	872	-1,33	0,83	280,53	-56,40

En la tabla 7 se halló valores altos POD para todas las estaciones, existe una buena detección de los datos simulados excepto para la estación Chontachaca donde el valor promedio es de 0,98, debido a que en todo el umbral se obtuvo un valor de 1 excepto para el umbral mayor a 50 mm un valor de 0,88 es donde empieza a decrecer el valor, de igual manera sucede en las demás estaciones en excepción para las estaciones Macusani y

Ollachea en todos los umbrales tiene el valor de 1.

En la figura 3, al realizar una comparación de ambos datos de precipitación mensual se aprecia que las estaciones Iñapari, Puerto Maldonado, Cuyo Cuyo, Ollachea, San Gaban, están relacionada entre ambas de forma adecuada, que indica que los valores de la precipitación obtenido por el satélite fueron exactos.

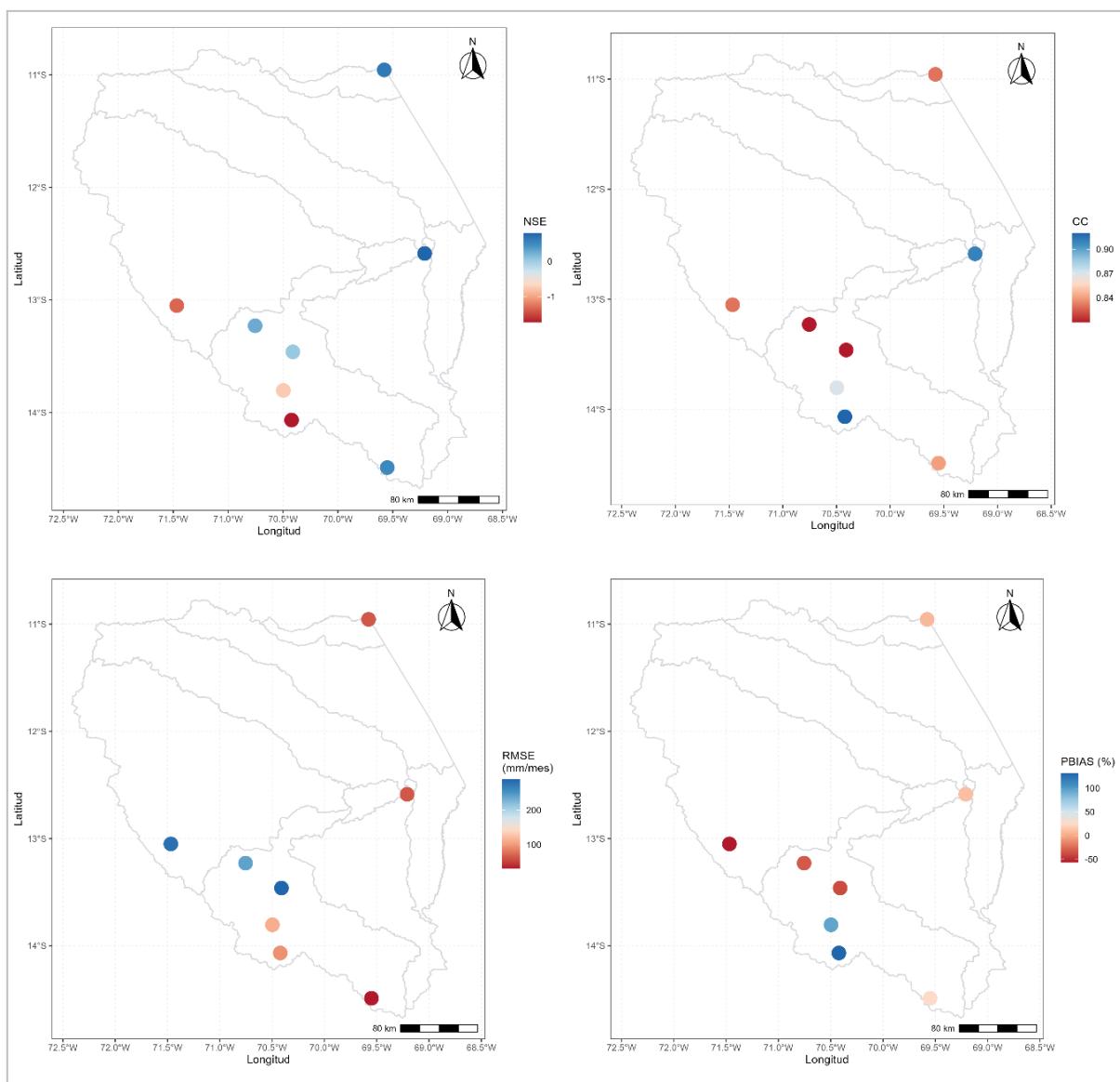


Figura 2. Eficiencia de Nash-Sutcliffe (a), Coeficiente de Correlación de Pearson (b), Raíz del error media cuadrado (c) y Porcentaje de sesgo (d), para las ocho estaciones.

Tabla 7. Índice de detección promedio para las estaciones.

Estación	Elevación(msnm)	POD	ETS	FAR	FBI
Iñapari	245	0,96	0,42	0,11	1,09
Puerto Maldonado	209	0,96	0,33	0,08	1,04
Cuyo Cuyo	3619	0,95	0,35	0,33	inf
Macusani	4363	1,00	0,10	0,43	3,11
Ollachea	2850	1,00	0,08	0,28	1,57
San Gaban	666	0,95	0,15	0,00	0,95
Quincemil	651	0,95	0,04	0,00	0,96
Chontachaca	872	0,83	0,01	0,00	0,83

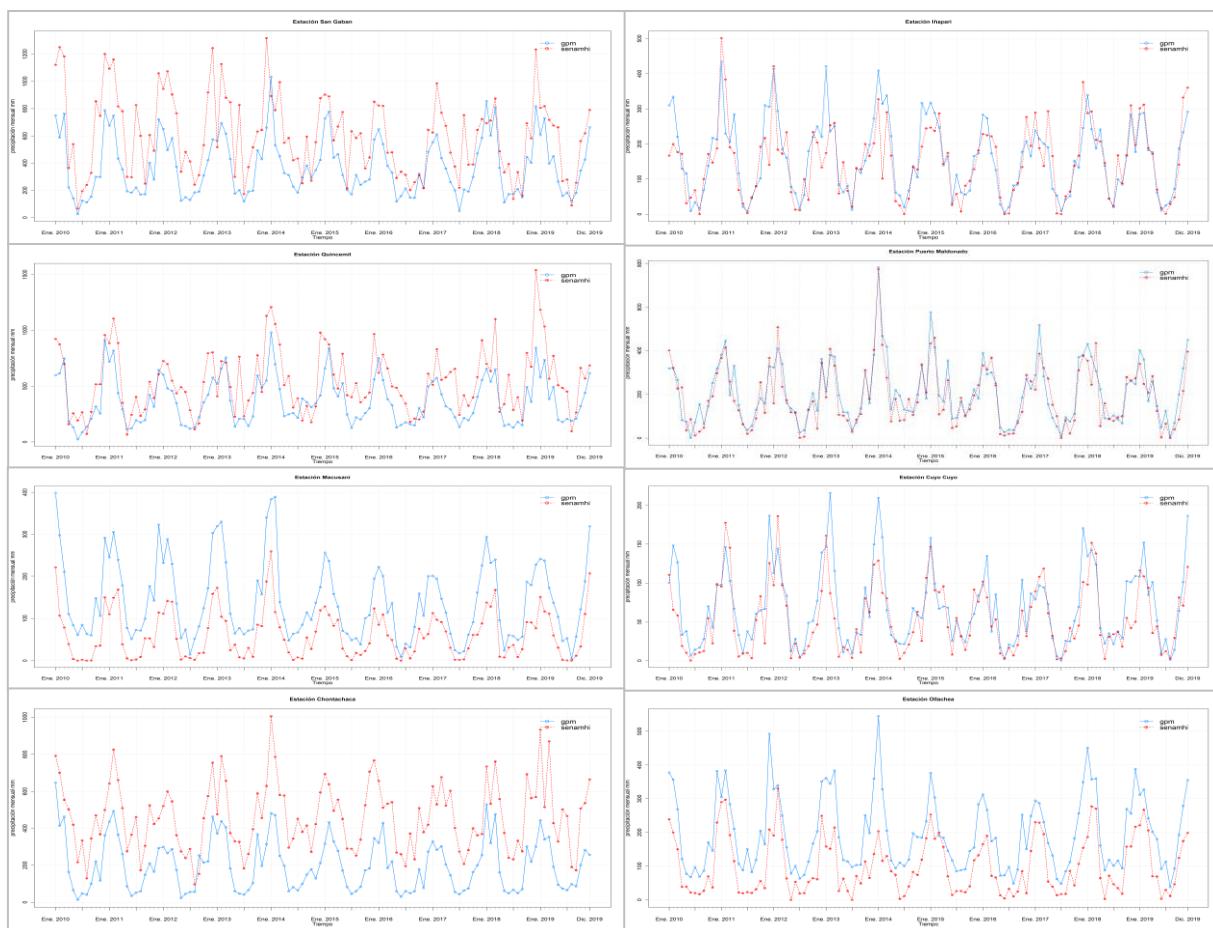


Figura 3. Precipitación mensual por estaciones de datos simulados con datos observados.

DISCUSIÓN

Los valores logrados de precipitación mensual de las estimaciones por el Satélite GPM producto IMERGDF v6 considerados para el periodo 2010 - 2019, indican un comportamiento similar a los valores registrados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI.

En la cuenca del río Bogotá el ajuste de los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas tiene la misma tendencia que los datos de precipitación mensual del satélite TRMM, donde obtuvieron un coeficiente de correlación en fase de validación que arrojaron mayor a 0,9 en la mayoría de los datos. En el análisis de correlación que se realizó también supera el 0,9 en las estaciones Puerto Maldonado y Macusani y en las demás estaciones

arrojaron un promedio de 0,8 pero generalmente es aceptable, lo que apareció como coeficientes de correlación altos (CC) e indicadores de error bajos (NSE, RMSE y PBIAS), donde estudios anteriores han confirmado (Rivas, 2014; Wu et al., 2019; Salas-Choquehuanca et al., 2020).

Así mismo Cabrera (2016), en el índice de detección indica que los datos de POD y FAR que tiene una buena detección de acuerdo al dato obtenido es de una prometedora perspectiva de utilidad hidrológica anticipando moderadamente mejoras en el producto sobre TMPA dada la capacidad de detectar lluvia ligera y precipitación sólida.

Estos hallazgos están de acuerdo con estudio previos reportados en la literatura (Ma et al., 2016; Xu et al., 2017; Yang et al., 2020). El

rendimiento de productos SPP podría deberse a los propios productos y a la topografía. Los productos de precipitación satelital combinan datos de sensores satelitales y medidores terrestres.

Dado que los datos de varias estaciones de medición se utilizan en las zonas montañosas y mientras que el resto se encuentran en zonas bastante planas, donde la precisión de los productos de precipitación de los satélites puede ser afectada (Chen & Li, 2016; Tang et al., 2016) también informa que la precisión de los productos de precipitación satelital en áreas montañosas altas podría atribuirse a la red de escaso calibre. Además, las diferentes estimadas también podrían atribuirse a las diferencias del proceso de lluvia, que es bastante complicado en áreas montañosas que es áreas de baja altitud debido a la influencia de la topografía.

CONCLUSIÓN

El control de calidad de datos de precipitación mensual utilizando el software Hydraccess del satélite GPM IMERG_F v6 con lo observado por SENAMHI se encuentran dentro de los promedios. El satélite GPM proporciona bajo porcentaje de valores cercanos a los reales del SENAMHI, sin embargo, en mayor porcentaje sobreestima y subestima los datos climatológicos. La tendencia de la serie entre los datos del satélite GPM IMERG_F v6 versus SENAMHI gráficamente coinciden y tienen una buena representación para 5 excepto para 3 estaciones.

AGRADECIMIENTO

A todos los que participaron durante el trabajo de investigación, así como también a los docentes de la UNAMAD quienes aportaron durante la investigación y en especial a mi familia por apoyarme.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asurza, F., Ramos, C., & Lavado, W. (2018). Evaluación de los productos Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) y Global Precipitation Measurement (GPM) en el modelamiento hidrológico de la cuenca del río Huancané, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 53–62. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.06>
- Buuren, S., & Groothuis-Oudshoorn, K. (2011). mice : Multivariate Imputation by Chained Equations in R. *Journal of Statistical Software*, 45(3). <https://doi.org/10.18637/jss.v045.i03>
- Cabrera, E. (2016). *Evaluación de imágenes satelitales de precipitaciones GPM (Global Precipitation Measurement) a escala mensual para el Azuay*. Univeresidad de Cuenca. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/24213>
- Chen, F., & Li, X. (2016). Evaluation of IMERG and TRMM 3B43 monthly precipitation products over mainland China. *Remote Sensing*, 8(6), 1–18. <https://doi.org/10.3390/rs8060472>
- Gebremichael, M., & Hossain, F. (2010). *Satellite rainfall applications for surface hydrology*. Springer Netherlands. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-2915-7>
- Hou, A., Kakar, R., Neeck, S., Azarbarzin, A., Kummerow, C., Kojima, M., ... Iguchi, T. (2014). The Global Precipitation Measurement Mission. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(5), 701–722. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00164.1>
- Huffman, G. (2019). The Transition in Multi-Satellite Products from TRMM to GPM (TMPA to IMERG).

- Retrieved from <https://gpm.nasa.gov/resources/documents/transition-multi-satellite-products-trmm-gpm-tmpa-imerg>
- Huffman, G., Adler, R., Bolvin, D., Gu, G., Nelkin, E., Bowman, K., ... Wolff, D. (2007). The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global , Multiyear , Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *American Meteorological Society*, 08, 38–55. <https://doi.org/10.1175/JHM560.1>
- Huffman, G., Bolvin, D., Braithwaite, D., Hsu, K., Joyce, R., Kidd, C., ... Xie, P. (2019). Integrated Multi-satellite Retrievals for the Global Precipitation Measurement (GPM) Mission (IMERG). <https://doi.org/10.5067/GPM/IMERG/3B-MONTH/06>
- Ma, Y., Tang, G., Long, D., Yong, B., Zhong, L., Wan, W., & Hong, Y. (2016). Similarity and error intercomparison of the GPM and its predecessor-TRMM multisatellite precipitation analysis using the best available hourly gauge network over the Tibetan Plateau. *Remote Sensing*, 8(7), 1–17. <https://doi.org/10.3390/rs8070569>
- Michaelides, S., Levizzani, V., Anagnostou, E., Bauer, P., Kasparis, T., & Lane, J. (2009). Precipitation: Measurement, remote sensing, climatology and modeling. *Atmospheric Research*, 94(4), 512–533. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.08.017>
- Ritter, A., & Muñoz, R. (2013). Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. *Journal of Hydrology*, 480, 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.004>
- Rivas, J. (2014). *Análisis de la correlación de datos de precipitación entre el satélite TRMM y las estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca del río Bogotá*. Retrieved from <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2932>
- Romero, E., Florez, M., & Balcero, O. (2018). *Evaluación y comparación de métodos de imputación múltiple implementados en el paquete mice de R*. XXVIII Simposio Internacional de Estadística.
- Salas-Choquehuanca A. J., Rosales-Solorzano, E. R. Alvarez-Montalván, C. E. & Asención-Córdova, R. M. (2020), Comparación del producto de precipitación GPM IMERG Y PISCOp sobre la Intercuenca Alto Madre de Dios, Perú. Revista El Ceprosimad, 8(2), 38-45. <https://doi.org/10.56636/ceprosimad.v8i2.99>
- Sharifi, E., Steinacker, R., & Saghafian, B. (2016). Assessment of GPM-IMERG and other precipitation products against gauge data under different topographic and climatic conditions in Iran: Preliminary results. *Remote Sensing*, 8(2), 135. <https://doi.org/10.3390/rs8020135>
- Tang, G., Zeng, Z., Long, D., Guo, X., Yong, B., Zhang, W., & Hong, Y. (2016). Statistical and hydrological comparisons between TRMM and GPM Level-3 products over a midlatitude Basin: Is day-1 IMERG a good successor for TMPA 3B42V7? *Journal of Hydrometeorology*, 17(1), 121–137. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0059.1>
- Wu, Y., Zhang, Z., Huang, Y., Jin, Q., Chen, X., & Chang, J. (2019). Evaluation of the GPM IMERG v5 and TRMM 3B42 v7 Precipitation Products in the Yangtze River Basin,

- China. *Water*, 11(7), 1459.
<https://doi.org/10.3390/w11071459>
- Xu, R., Tian, F., Yang, L., Hu, H., Lu, H., & Hou, A. (2017). Ground validation of GPM IMERG and trmm 3B42V7 rainfall products over Southern Tibetan plateau based on a high-density rain gauge network. *Journal of Geophysical Research*, 122(2), 910–924.
<https://doi.org/10.1002/2016JD025418>
- Yang, X., Lu, Y., Tan, M. L., Li, X., Wang, G., & He, R. (2020). Nine-year systematic evaluation of the GPM and TRMM precipitation products in the shuaishui river basin in east-central China. *Remote Sensing*, 12(6).
<https://doi.org/10.3390/rs12061042>
- Zambrano, M. (2020). Package “hydroGOF”: Goodness-of-Fit Functions for Comparison of Simulated and Observed Hydrological Time Series. *zenodo*.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.839854>