

TRABAJO

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE ESTIMACIONES SATELITALES Y TERRESTRES DE PRECIPITACIÓN EN EL NOROESTE ARGENTINO

COMPARATIVE EVALUATION OF SATELLITE AND GROUND-BASED PRECIPITATION ESTIMATES IN NORTHWESTERN ARGENTINA

Moreno, C.^{1,2*}, Rivera Funes, M.¹, Valdiviezo Corte, M.¹, Hurtado, R.¹, Alabar, F.¹, Serio, L.³ y Vilca Ochoa, S.¹

¹ Cátedra de Agroclimatología. Facultad de Ciencias Agrarias. UNJu

² Cátedra de Climatología. sede Humahuaca-Abra Pampa. UNJu

³ Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. FAUBA

***Autor para correspondencia:**
carlamoreno@fca.unju.edu.ar

Período de Publicación:
Diciembre 2025

Historial:
Recibido: 29-08-25
Aceptado: 27-11-25

RESUMEN

La región del Noroeste Argentino (NOA) presenta una fuerte heterogeneidad topográfica y climática, junto con una baja densidad de estaciones meteorológicas, lo que limita la representación precisa de la distribución y el volumen de las precipitaciones. El objetivo de este trabajo es comparar el desempeño de distintos productos satelitales para identificar cuáles reproducen con mayor precisión las series de precipitación observadas y pueden complementar la escasez de información en superficie. Se evaluaron cinco indicadores estadísticos (CC, RMSE, NSE, MAE y PBIAS) utilizando series mensuales superiores a 30 años de diez estaciones meteorológicas y cinco productos satelitales y de reanálisis: GPM, JMA, MERRA-2, CHIRPS y CRUTEM 4.04, con resolución espacial de $0.06^\circ \times 0.1^\circ$. El análisis se realizó con INFOSAT. Los resultados muestran que CHIRPS, JMA y CRUTEM 4.04 no presentan diferencias significativas y constituyen el conjunto de mejor desempeño en términos de precisión y confiabilidad para la estimación de precipitación en el NOA.

Palabras clave: estación meteorológica, NOA, satélites

SUMMARY

The Northwestern Argentina (NOA) region presents a strong topographic and climatic heterogeneity, along with a low density of meteorological stations, which limits the accurate representation of precipitation distribution and volume. The objective of this study is to compare the performance of different satellite products to identify which ones most accurately reproduce observed precipitation series and can therefore complement the scarcity of surface information. Five statistical indicators were evaluated (CC, RMSE, NSE, MAE, and PBIAS) using monthly series spanning more than 30 years from ten meteorological stations and five satellite and reanalysis products:

GPM, JMA, MERRA-2, CHIRPS, and CRUTEM 4.04, all with a spatial resolution of $0.06^\circ \times 0.1^\circ$. The analysis was conducted using INFOSAT. Results show that CHIRPS, JMA, and CRUTEM 4.04 do not exhibit significant differences and constitute the best performing set in terms of accuracy and reliability for precipitation estimation in the NOA region.

Keywords: NOA, satellites, weather station

INTRODUCCIÓN

La precipitación es un componente esencial del ciclo hidrológico, responsable de la mayor parte del aporte de agua dulce al sistema terrestre (Calderón Sánchez & Mendoza Briones, 2024) y determinante en la configuración de condiciones adecuadas para la vida (Castillo Acosta & Leines Medécigo, 2023). Su variabilidad espacial y temporal influye de manera directa en la climatología regional, en la producción agrícola y en la gestión de eventos extremos como inundaciones y sequías (Gavilán *et al.*, 2019). Debido a su relevancia, contar con información precisa y continua de precipitación resulta fundamental para el análisis climático y la toma de decisiones en sectores sensibles.

Tradicionalmente, las estimaciones de precipitación se han basado en estaciones meteorológicas y pluviómetros superficiales, complementados con métodos de interpolación para cubrir áreas sin observaciones directas (Garay, 2021). Sin embargo, en regiones de topografía compleja como zonas montañosas o provincias andinas este enfoque presenta limitaciones debido a la accesibilidad, la distribución espacial irregular de los instrumentos, la reducción del área representada por cada estación y los altos costos de operación (Farooq Iqbal *et al.*, 2018; Feidas, 2010; Zambrano-Bigiarini *et al.*, 2017). Adicionalmente, las series de datos suelen exhibir discontinuidades, valores faltantes y errores instrumentales u operativos (Salvó, Baldassini & Di Bella, 2021), lo que restringe su uso como única fuente de referencia para el análisis de la precipitación (Hurtado *et al.*, 2021). Estas limitaciones han impulsado el desarrollo y adopción de fuentes alternativas de información, entre ellas los productos de reanálisis, los sensores satelitales y los productos derivados de ellos.

En la literatura especializada se establece una distinción conceptual importante entre sensor, satélite, producto satelital y reanálisis. Un sensor es el instrumento físico, ya sea activo o pasivo, que mide radiancias, retrodispersión u otras magnitudes físicas desde el espacio o la superficie, cuyo funcionamiento y restricciones se describen ampliamente en revisiones técnicas sobre teledetección (Roy *et al.*, 2017). Un satélite constituye la plataforma que porta uno o más sensores, y su órbita determina la frecuencia y cobertura de muestreo. Por su parte, un producto satelital es el resultado procesado de estas mediciones mediante algoritmos que convierten la señal detectada en estimaciones geofísicas, como precipitación (Kidd & Levizzani, 2011; Hou *et al.*, 2014). En cambio, un reanálisis combina observaciones de múltiples fuentes incluidas mediciones satelitales, datos de superficie y modelizaciones numéricas dentro de un sistema de asimilación para generar campos continuos, homogéneos y físicamente consistentes en el tiempo (ERA5; Hersbach *et al.*, 2020). Aunque algunos productos satelitales ofrecen actualizaciones con alta frecuencia temporal, esta característica no depende del satélite como entidad, sino del sensor específico y del algoritmo que procesa sus datos (Salvó, Baldassini & Di Bella, 2021), lo que exige evitar generalizaciones.

Las estimaciones satelitales de precipitación no constituyen una observación directa del fenómeno; la relación entre la señal medida y la ocurrencia o intensidad de la lluvia es indirecta y depende de múltiples variables atmosféricas y físicas (Toté *et al.*, 2015). Como consecuencia, los productos pueden subestimar o sobrestimar eventos extremos, y su desempeño varía en función de la topografía, la estacionalidad y las condiciones regionales (Joyce *et al.*, 2004; Kidd *et al.*, 2003; Liu, 2016). En este contexto, la validación

estadística de las series entendida como la comparación entre las estimaciones y observaciones consideradas de referencia representa un proceso fundamental para evaluar su calidad. Este proceso permite cuantificar el ajuste mediante indicadores como correlación, RMSE, NSE, MAE y PBIAS (Toté *et al.*, 2015; Lujano, Obando & Lujano & Quispe Aragón, 2015). En el presente estudio, esta validación se limita al análisis temporal y no incluye evaluaciones espaciales, delimitando así el alcance metodológico.

El Noroeste Argentino (NOA) se caracteriza por una notable heterogeneidad topográfica y climática, sumada a una escasa densidad de estaciones meteorológicas, lo cual dificulta representar adecuadamente la variabilidad regional de la precipitación. Por este motivo, los productos satelitales han adquirido relevancia como alternativa para la caracterización hidroclimática. Alabar *et al.*, (2021) documentaron un buen desempeño de la misión GPM para Jujuy y Salta entre 2000 y 2019 (Hou *et al.*, 2014), aunque con limitaciones de actualización en años posteriores, lo que motivó la exploración de otros productos como CHIRPS, JMA y CRUTEM 4.04. Sin embargo, las estimaciones satelitales no siempre incorporan de forma explícita los fuertes gradientes altitudinales del NOA (Joyce *et al.*, 2004; Kidd *et al.*, 2003; Liu, 2016), y su desempeño puede verse afectado por la marcada estacionalidad de las precipitaciones (Hurtado *et al.*, 2008, citado en Alabar *et al.*, 2021).

En este marco, el objetivo del presente trabajo es comparar y validar el desempeño temporal de las series de precipitación semestrales y anuales del período 2000–2023 provenientes de los productos CHIRPS, GPM, JMA, MERRA-2 y CRUTEM 4.04 mediante cinco indicadores estadísticos: correlación (CC), RMSE, NSE, MAE y PBIAS. Para ello, se utilizan como referencia las mediciones registradas en las estaciones meteorológicas de superficie disponibles en el NOA. Como señalan Lujano, Obando & Lujano & Quispe Aragón (2015), valores cercanos a cero en los indicadores de error reflejan un mayor grado de ajuste en la estimación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estableció como área de estudio la región del Noroeste Argentino (NOA) integrada por las provincias de Jujuy, Salta, Tucumán, Catamarca y Santiago del Estero, con régimen estival o monzónico de precipitación imperante en la región, más del 80% de la precipitación ocurre en el semestre cálido (Murphy & Hurtado, 2011). Se utilizaron datos de precipitación mensual (mm/mes), del periodo 1987-2023 (36 años) de 10 estaciones meteorológicas pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y una en convenio con la Universidad Nacional de Jujuy (Figura 1, Tabla 1).

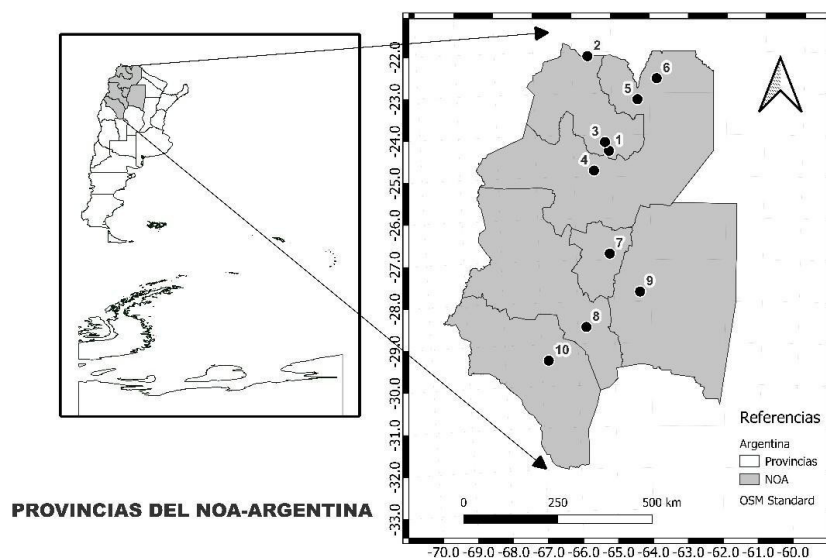


Figura 1: Ubicación del área de estudio, provincias pertenecientes al Noroeste Argentino (NOA).

Tabla 1: información de estaciones meteorológicas en estudio

ID	Nombre de la estación	Provincia	Lat	Long	Altitud (m snm)
1	Jujuy AERO	Jujuy	-24.38	-65.08	905
2	La Quiaca Obs	Jujuy	-22.1	-65.6	3459
3	Jujuy Universidad	Jujuy	-24.17	-65.18	1302
4	Salta AERO	Salta	-24.85	-65.48	1221
5	Orán AERO	Salta	-23.15	-64.32	357
6	Tartagal AERO	Salta	-22.65	-63.82	450
7	Tucumán AERO	Tucumán	-26.85	-65.1	450
8	Catamarca AERO	Catamarca	-28.6	-65.77	454
9	Santiago del Estero AERO	S. del Estero	-27.77	-64.3	199
10	La Rioja AERO	La Rioja	-29.38	-66.82	429

Para el análisis de las precipitaciones se construyeron series anuales/ semestrales a partir de las mensuales descargadas. Para el semestre se consideró el cálido (SC: octubre a marzo) y frío (SF: abril a septiembre).

A continuación, se detallan las fuentes de información utilizadas:

Medición de Precipitación Global (GPM), que tiene una resolución temporal mensual a través del algoritmo 3IMERGM v06 y una resolución espacial horizontal de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$. Global. Los datos de GPM se obtuvieron de Giovanni Nasa (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>), es una herramienta web desarrollada por GES DISC (el "Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center" de la NASA). Está diseñado para permitir el acceso, la visualización y el análisis de grandes volúmenes de datos de ciencias de la Tierra obtenidos por sensores remotos, demás, satélites, modelos, etc.

La Agencia Meteorológica de Japón o JMA (www.data.jma.go.jp) por sus siglas en inglés, es el servicio meteorológico encargado de obtener y reportar datos sobre pronósticos meteorológicos del Gobierno de Japón, con una resolución espacial horizontal de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. Esta fuente de datos proporciona la información meteorológica de todas las estaciones miembro de la Organización Meteorológica Mundial.

Satélite Merra2, proveniente de la plataforma de Giovanni en archivos (*.csv). con una resolución temporal mensual y una espacial de $0,5^\circ \times 0,625^\circ$. Los datos se obtuvieron de Giovanni (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>).

CHIRPS, (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station) es una base de datos de 35 años, estima la distribución de la lluvia a partir de la radiación en el espectro infrarrojo. Con una resolución espacial de 0.05° de grado (~ 5 km). La estimación de la precipitación de CHIRPS no está ligada únicamente a estaciones meteorológicas, sino que combina estaciones meteorológicas junto a estimaciones de precipitación basadas en satélites de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) y la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA). Con esta fusión de recursos se evita el sesgo que sufren las estimaciones de los pluviómetros en zonas rurales (por escasez de estaciones) y las obtenidas de datos satélites. Los datos de CHIRPS se desarrollaron con el objetivo principal de apoyar la

lucha contra la sequía. Monitoreo y pronóstico y otras actividades de modelado de la superficie terrestre (Funk et al. 2015).

CRUTEM vs. 4.04. La información utilizada son campos cuadriculados basados en datos observados mensuales, estimados a partir de información diaria por los Servicios Meteorológicos Nacionales en su mayoría. Incluyen valores medios mensuales para los distintos parámetros, del período 1901-2019, proporcionados en cuadrículas de alta resolución ($0,5^\circ \times 0,5^\circ$). Se obtiene mediante la interpolación de datos de extensas redes de observaciones de estaciones meteorológicas (Harris, Jones & Osborn, 2020).

Para el análisis estadístico se usó el software InfoStat versión 2017, para realizar una comparación de medias de los datos de información pertenecientes a las estaciones de superficie y a los datos provenientes de las fuentes de información en estudio.

Validación de datos meteorológicos

Para evaluar el rendimiento de los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas de superficie con las fuentes de información, se utilizaron cinco indicadores de desempeño (Tabla 2), siendo consistente con los hallazgos de Ayehu, Tadesse, Gessesse & Dinku (2018).

Tabla 2: indicadores de rendimiento para evaluar la precipitación de las estaciones de superficie vs. Información satelital

INDICADOR	VALOR IDEAL	CONFIABILIDAD
Coeficientes de correlación de Pearson (CC)	1	confiable
Raíz del error cuadrático medio (RMSE)	0	confiable y preciso
Coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE)	1	confiable y preciso
Error absoluto medio (MAE)	0	confiable
El sesgo relativo (PBIAS)	Valor óptimo cerca de cero (%)	confiable

Por otra parte, Roque Quiroz (2023), considera indicadores como Coeficiente de Determinación (R), Índice de eficiencia de Nash - Sutcliffe (NSE) y Sesgo Estadístico Porcentual (PBIAS%), quien a nivel mensual obtuvo buenos resultados, confiables y precisos. La raíz del error cuadrático medio o RMSE por sus siglas en inglés es aplicado por Hyndman & Koehler (2006) y Bergmeir & Benítez (2012) y usado por Wu, Zhu, Cao & Tu (2008), Liu, Tian, Chen & Li (2010). Éste índice es el más usado para la validación de modelos de sistemas físicos en la literatura revisada.

A continuación se describen los indicadores utilizados:

1- Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE): se utiliza para cuantificar y evaluar modelos hidrológicos entre sí, considerando dos grupos de datos. Según Nash - Sutcliffe (1970), la eficiencia aumenta con un valor más cercano a 1. La NSE mide la magnitud relativa de la variabilidad de los datos observados comparada con la varianza de los datos de satélite. El valor de los rangos en la NSE varía de $-\infty$ a 1. Siendo el valor 1 el óptimo, los valores entre 0 y 1 son considerados aceptables en el desempeño, mientras que valores ≤ 0 indican un valor insatisfactorio.

Donde:
 n : Número de observaciones.
 S_i : Valor simulado.
 O_i : Valor observado.
 $\bar{O}$: Promedio del valor observado.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

Según Ritter y Muñoz (2013), se cuantifica la eficiencia del modelo simulado con el modelo observado, que se clasifica bajo los siguientes criterios (Tabla 3).

Tabla 3: Valores referenciales del criterio Nash-Sutcliffe. NSE

NSE	AJUSTE
<0,65	Insatisfactorio
0,65 – 0,8	Aceptable
0,8 – 0,9	Bueno
0,9 – 1	Muy bueno

Fuente: (Ritter y Muñoz, 2013).

2- Error absoluto medio (MAE): El MAE es la diferencia promedio entre los datos de precipitación de la estación meteorológica y los datos de precipitación obtenidos de satélites. Un MAE bajo indica que los datos de la estación meteorológica son precisos y confiables. Es el caso del error medio absoluto, MAE con valor óptimo de cero. El MAE ha sido utilizado por Hyndman Koehler (2006), por Gaiser *et al.*, (2010), Karamirad *et al.*, (2013) y Fernández & Fernández, (2021), entre otros.

Donde:
 y_i = valor medido
 $\hat{y}_i$ = el valor estimado y
 n = número de muestras.

$$MAE = (1/n) \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$

3- Coeficiente de Correlación de Pearson (CC): evalúa el nivel de relación lineal entre datos de satélite y de pluviómetro, el valor de correlación varía de $-1 \leq CC \leq 1$ donde el valor CC más cercano a 1 muestra una mejor concordancia (Tabla 4) (Barría, 2010).

Donde:
 S_i : Valor simulado.
 O_i : Valor observado.

$$CC = \frac{cov(S_i, O_i)}{\sqrt{var(S_i)} \times \sqrt{var(O_i)}}$$

Tabla 4: Clasificación de nivel de concordancia

CC	AJUSTE
0,2 – 0,3	Muy bajo
0,4 – 0,5	Bajo
0,6 – 0,7	Alto
0,8 – 1	Muy alto

Fuente: (Barría, 2010).

4- Raíz del error medio cuadrado (RMSE): evalúa la magnitud del error de las estimaciones del satélite con las estimaciones del pluviómetro. Los valores pequeños son óptimos y el resultado se expresa en mm. Es el método más utilizado, según se indicara a continuación de la Tabla 2.

Donde:

S_i : Valor simulado.

O_i : Valor observado.

n : Número de estaciones.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}$$

5- Porcentaje de Sesgo (PBIAS): evalúa la tendencia media entre los valores de la precipitación estimada por el satélite (S_i) con los datos observados por el pluviómetro (O_i). El sesgo relativo puede ser positivo o negativo donde el valor óptimo es cero, los valores positivos sobreestiman y los valores negativos subestiman la información del satélite, el resultado se evalúa en porcentajes.

Donde:

S_i : Valor simulado.

O_i : Valor observado.

n : número de estaciones.

$$PBIAS = 100 * \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n (S_i)}$$

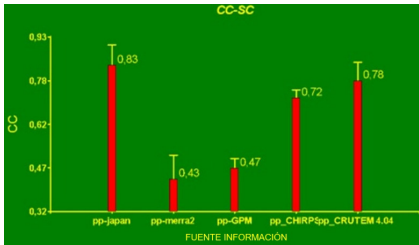
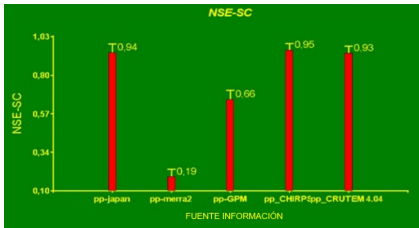
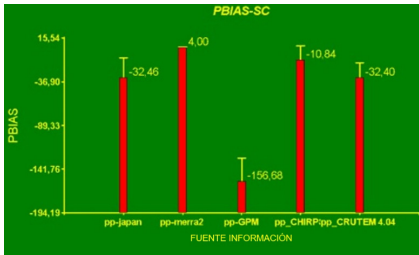
Al aplicar el procedimiento ANOVA (Análisis de Varianza) en el software INFOSTAT versión 2017 para analizar los valores de precipitación mensual registrados entre 1987 y 2023 en diez estaciones meteorológicas del NOA (Jujuy, Salta, Tucumán, Catamarca y Santiago del Estero), el programa calcula si existen diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de precipitación de los distintos grupos definidos, fuentes de información, precipitaciones estimadas por sensores remotos, de los servicios de información aplicados en el estudio, considerando también cada indicador de desempeño, de acuerdo a la temporalidad como la precipitación total, que abarca los meses de enero a diciembre; para el semestre cálido (octubre a marzo) y semestre frío (abril a septiembre). El ANOVA evalúa la variabilidad interna de cada grupo y la compara con la variabilidad entre grupos, determinando mediante el estadístico F (test de Fisher) y su correspondiente valor p, clave para comparar varianzas o medias entre grupos de datos de satélite y de estaciones de superficie, y determinar si las diferencias en las medias entre varios grupos son estadísticamente significativas usando un p-valor < 0.05, para indicar diferencias estadísticamente significativas y un p-valor > 0.05 que indica que no hay evidencia suficiente de diferencias significativas. (Tabla 5).

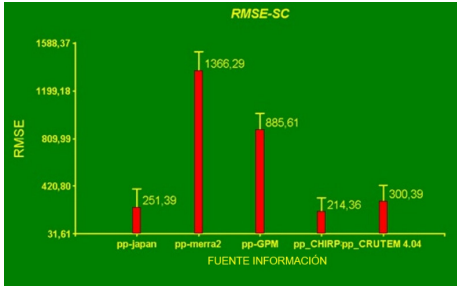
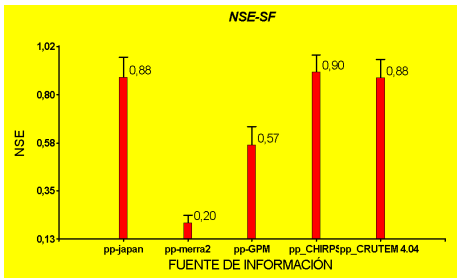
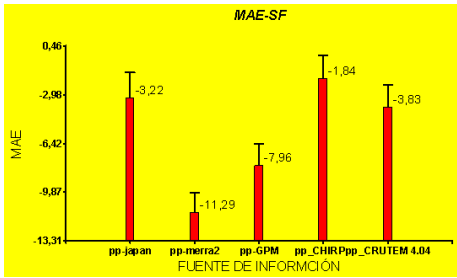
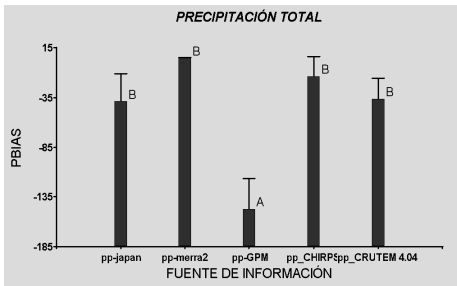
En el contexto de una región con régimen estival o monzónico de precipitaciones, donde más del 80% de la lluvia se concentra en el semestre cálido, este análisis permite identificar si los volúmenes de precipitación mensual difieren de manera significativa entre estaciones, períodos o localidades, contribuyendo a entender la distribución espacial y temporal de la lluvia en el NOA.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Del análisis de varianza (ANOVA) (Tabla 5 y 6), se observa en general, que los algoritmos CHIRPS, CRUTEM 4.04 y JAPAN sobresalieron en la mayoría de los indicadores evaluados, especialmente en NSE y CC, los cuales reflejan tanto la correlación como la semejanza de los datos de satélite respecto a los datos observados en estaciones de superficie. Tuvieron un mejor desempeño estadístico, alcanzando valores de NSE superiores a 0,90 y errores (RMSE y MAE) considerablemente bajos (Tabla 6).

Tabla 5: Análisis de varianza (ANOVA), para comparar medias de precipitaciones estimadas y observadas para cada indicador de desempeño teniendo en cuenta la temporalidad (precipitación total, semestre cálido y semestre frío.)

ESTADÍSTICO: ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)	GRÁFICOS (PERIODO SEMESTRE CÁLIDO (SC), SEMESTRE FRÍO (SF) Y PRECIPITACIÓN TOTAL (PT)).	DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS																														
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,16769 Error: 0,0331 gl: 43 <table><tr><th>FUENTE DE INFO</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>0,43</td><td>9</td><td>0,06</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>0,47</td><td>10</td><td>0,06</td><td>A</td></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>0,72</td><td>10</td><td>0,06</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM</td><td>0,78</td><td>10</td><td>0,06</td><td>B</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>0,83</td><td>9</td><td>0,06</td><td>B</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)	FUENTE DE INFO	Medias	n	E.E.		pp-merra2	0,43	9	0,06	A	pp-GPM	0,47	10	0,06	A	pp_CHIRPS	0,72	10	0,06	B	pp_CRUTEM	0,78	10	0,06	B	pp-japan	0,83	9	0,06	B		PARA EL INDICADOR CC-SC: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa (p<0.05). entre las medias de los grupos A correspondiente a los indicadores (GPM= 0.47 Y MERRA 2= 0.43) y B para los indicadores (CHIRPS= 0.72, CRUTEM4.04 =0.78 y JAPAN= 0.83). La media del grupo B fue significativamente mayor que la media del grupo A, no existiendo diferencia significativa entre estos indicadores de desempeño.
FUENTE DE INFO	Medias	n	E.E.																													
pp-merra2	0,43	9	0,06	A																												
pp-GPM	0,47	10	0,06	A																												
pp_CHIRPS	0,72	10	0,06	B																												
pp_CRUTEM	0,78	10	0,06	B																												
pp-japan	0,83	9	0,06	B																												
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,13243 Error: 0,0206 gl: 43 <table><tr><th>FTE. DE INFO.</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>0,19</td><td>9</td><td>0,05</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>0,66</td><td>10</td><td>0,05</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM</td><td>0,93</td><td>10</td><td>0,05</td><td>C</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>0,94</td><td>9</td><td>0,05</td><td>C</td></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>0,95</td><td>10</td><td>0,05</td><td>C</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)	FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.		pp-merra2	0,19	9	0,05	A	pp-GPM	0,66	10	0,05	B	pp_CRUTEM	0,93	10	0,05	C	pp-japan	0,94	9	0,05	C	pp_CHIRPS	0,95	10	0,05	C		PARA EL INDICADOR NSE-SC: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos A, B y C (p<0.05) entre las medias de los grupos A y B correspondiente a los indicadores MERRA 2 y GPM respectivamente y los del grupo C, no habiendo diferencia significativa entre CHIRPS, CRUTEM 4.04 Y JAPAN, obteniendo la mejor performance con valores de 0.93 a 0.95.
FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.																													
pp-merra2	0,19	9	0,05	A																												
pp-GPM	0,66	10	0,05	B																												
pp_CRUTEM	0,93	10	0,05	C																												
pp-japan	0,94	9	0,05	C																												
pp_CHIRPS	0,95	10	0,05	C																												
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=57,58186 Error: 3902,8050 gl: 43 <table><tr><th>FTE. DE INFO.</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>-156,68</td><td>10</td><td>19,76</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>-32,46</td><td>9</td><td>20,82</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM</td><td>-32,40</td><td>10</td><td>19,76</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>-10,84</td><td>10</td><td>19,76</td><td>B</td></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>4,00</td><td>9</td><td>20,82</td><td>B</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)	FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.		pp-GPM	-156,68	10	19,76	A	pp-japan	-32,46	9	20,82	B	pp_CRUTEM	-32,40	10	19,76	B	pp_CHIRPS	-10,84	10	19,76	B	pp-merra2	4,00	9	20,82	B		PARA EL INDICADOR PBIAS-SC: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos A y B (p<0.05) y entre las medias del grupo B correspondiente a los indicadores JAPAN, CRUTEM 4.04, CHIRPS, GPM Y MERRA, no hay diferencia significativa, obtenido los mejores resultados variando de -32.4% a 4%, indicando un mejor desempeño que el grupo A.
FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.																													
pp-GPM	-156,68	10	19,76	A																												
pp-japan	-32,46	9	20,82	B																												
pp_CRUTEM	-32,40	10	19,76	B																												
pp_CHIRPS	-10,84	10	19,76	B																												
pp-merra2	4,00	9	20,82	B																												

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=378,18203 Error: 168347,7101 gl: 43 <table><tr><th>FTE. DE INFO.</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>214,36</td><td>10</td><td>129,75</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>251,39</td><td>9</td><td>136,77</td><td>A</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM</td><td>300,39</td><td>10</td><td>129,75</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>885,61</td><td>10</td><td>129,75</td><td>B</td></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>1366,29</td><td>9</td><td>136,77</td><td>C</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.		pp_CHIRPS	214,36	10	129,75	A	pp-japan	251,39	9	136,77	A	pp_CRUTEM	300,39	10	129,75	A	pp-GPM	885,61	10	129,75	B	pp-merra2	1366,29	9	136,77	C		PARA EL INDICADOR RMSE-SC: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos A, B y C ($p<0.05$), obteniendo la mejor performance y con valores de medias de 214.16 a 300.39, los indicadores del grupo A (CHIRPS, CRUTEM 4.04 Y JAPAN), superiores a MERRA 2 (grupo C) y GPM (grupo B).
FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.																													
pp_CHIRPS	214,36	10	129,75	A																												
pp-japan	251,39	9	136,77	A																												
pp_CRUTEM	300,39	10	129,75	A																												
pp-GPM	885,61	10	129,75	B																												
pp-merra2	1366,29	9	136,77	C																												
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,22085 Error: 0,0587 gl: 44 <table><tr><th>FTE. DE INFO.</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>0,20</td><td>10</td><td>0,08</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>0,57</td><td>10</td><td>0,08</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM 4.0</td><td>0,88</td><td>10</td><td>0,08</td><td>C</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>0,88</td><td>9</td><td>0,08</td><td>C</td></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>0,90</td><td>10</td><td>0,08</td><td>C</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.		pp-merra2	0,20	10	0,08	A	pp-GPM	0,57	10	0,08	B	pp_CRUTEM 4.0	0,88	10	0,08	C	pp-japan	0,88	9	0,08	C	pp_CHIRPS	0,90	10	0,08	C		PARA EL INDICADOR NSE-SF: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos A, B y C ($p<0.05$), obteniendo la mejor performance y con valores de medias de 0.88 a 0.90, los indicadores del grupo C (CHIRPS, CRUTEM 4.04 Y JAPAN), superiores a MERRA 2 (grupo A) y GPM (grupo B).
FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.																													
pp-merra2	0,20	10	0,08	A																												
pp-GPM	0,57	10	0,08	B																												
pp_CRUTEM 4.0	0,88	10	0,08	C																												
pp-japan	0,88	9	0,08	C																												
pp_CHIRPS	0,90	10	0,08	C																												
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=4,54604 Error: 24,8876 gl: 44 <table><tr><th>FTE. DE INFO.</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>-11,29</td><td>10</td><td>1,58</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>-7,96</td><td>10</td><td>1,58</td><td>A B</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM 4.04</td><td>-3,83</td><td>10</td><td>1,58</td><td>B C</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>-3,22</td><td>9</td><td>1,66</td><td>C</td></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>-1,84</td><td>10</td><td>1,58</td><td>C</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.		pp-merra2	-11,29	10	1,58	A	pp-GPM	-7,96	10	1,58	A B	pp_CRUTEM 4.04	-3,83	10	1,58	B C	pp-japan	-3,22	9	1,66	C	pp_CHIRPS	-1,84	10	1,58	C		PARA EL INDICADOR MAE-SF: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos A, B y C ($p<0.05$), obteniendo la mejor performance y con valores de medias de -1.84 A -3.83, los indicadores del grupo C (CHIRPS Y JAPAN), seguida por CRUTEM 4.04 del grupo (B-C), superiores a MERRA 2 (grupo A) y GPM (grupo A-B).
FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.																													
pp-merra2	-11,29	10	1,58	A																												
pp-GPM	-7,96	10	1,58	A B																												
pp_CRUTEM 4.04	-3,83	10	1,58	B C																												
pp-japan	-3,22	9	1,66	C																												
pp_CHIRPS	-1,84	10	1,58	C																												
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=63,63646 Error: 4876,7265 gl: 44 <table><tr><th>FTE. DE INFO.</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>-147,06</td><td>10</td><td>22,08</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>-38,77</td><td>9</td><td>23,28</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM 4.04</td><td>-36,36</td><td>10</td><td>22,08</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>-13,68</td><td>10</td><td>22,08</td><td>B</td></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>4,50</td><td>10</td><td>22,08</td><td>B</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.		pp-GPM	-147,06	10	22,08	A	pp-japan	-38,77	9	23,28	B	pp_CRUTEM 4.04	-36,36	10	22,08	B	pp_CHIRPS	-13,68	10	22,08	B	pp-merra2	4,50	10	22,08	B		PARA EL INDICADOR PBIAS-PT: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos A y B ($p<0.05$) y entre las medias del grupo B correspondiente a los indicadores JAPAN, CRUTEM 4.04, CHIRPS y MERRA 2, no hay diferencia significativa, obtenido los mejores resultados variando de 4.5% a -38.77%, indicando un mejor desempeño que el grupo A (GPM).
FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.																													
pp-GPM	-147,06	10	22,08	A																												
pp-japan	-38,77	9	23,28	B																												
pp_CRUTEM 4.04	-36,36	10	22,08	B																												
pp_CHIRPS	-13,68	10	22,08	B																												
pp-merra2	4,50	10	22,08	B																												

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,12220 Error: 0,0180 gl: 44 <table><tr><th>Grupo.cols</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>0,49</td><td>10</td><td>0,04</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>0,66</td><td>10</td><td>0,04</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM 4.04</td><td>0,66</td><td>10</td><td>0,04</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>0,73</td><td>10</td><td>0,04</td><td>B C</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>0,85</td><td>9</td><td>0,04</td><td>C</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	Grupo.cols	Medias	n	E.E.		pp-GPM	0,49	10	0,04	A	pp-merra2	0,66	10	0,04	B	pp_CRUTEM 4.04	0,66	10	0,04	B	pp_CHIRPS	0,73	10	0,04	B C	pp-japan	0,85	9	0,04	C	PRECIPITACIÓN TOTAL	PARA EL INDICADOR CC-PT: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa ($p<0.05$). entre las medias de los grupos A, B y C. El mejor desempeño lo obtuvo el indicador JAPAN (grupo C) con un valor de media de 0.85, seguido por CHIRPS (B-C) con un valor de 0.73. siendo superiores al grupo A (GPM= 0.49) y B (MERRA 2 y CRUTEM4.04 con 0.66).
Grupo.cols	Medias	n	E.E.																													
pp-GPM	0,49	10	0,04	A																												
pp-merra2	0,66	10	0,04	B																												
pp_CRUTEM 4.04	0,66	10	0,04	B																												
pp_CHIRPS	0,73	10	0,04	B C																												
pp-japan	0,85	9	0,04	C																												
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=16,01268 Error: 308,7767 gl: 44 <table><tr><th>FUENTE</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>-47,04</td><td>10</td><td>5,56</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>-31,65</td><td>10</td><td>5,56</td><td>A</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM</td><td>-11,74</td><td>10</td><td>5,56</td><td>B</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>-10,31</td><td>9</td><td>5,86</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>-3,44</td><td>10</td><td>5,56</td><td>B</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	FUENTE	Medias	n	E.E.		pp-merra2	-47,04	10	5,56	A	pp-GPM	-31,65	10	5,56	A	pp_CRUTEM	-11,74	10	5,56	B	pp-japan	-10,31	9	5,86	B	pp_CHIRPS	-3,44	10	5,56	B	PRECIPITACIÓN TOTAL	PARA EL INDICADOR MAE-PT: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos A y B ($p<0.05$). Entre las medias del grupo B correspondiente a los indicadores JAPAN, CRUTEM 4.04 Y CHIRPS, no existe diferencia significativa obteniendo los mejores resultados, variando de -3.44 a -11.74, indicando un mejor desempeño que el grupo A. (GPM Y MERRA2).
FUENTE	Medias	n	E.E.																													
pp-merra2	-47,04	10	5,56	A																												
pp-GPM	-31,65	10	5,56	A																												
pp_CRUTEM	-11,74	10	5,56	B																												
pp-japan	-10,31	9	5,86	B																												
pp_CHIRPS	-3,44	10	5,56	B																												
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=314,52033 Error: 119127,9794 gl: 44 <table><tr><th>FTE. DE INFO.</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>183,75</td><td>10</td><td>109,15</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>236,29</td><td>9</td><td>115,05</td><td>A</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM 4.04</td><td>261,78</td><td>10</td><td>109,15</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>698,64</td><td>10</td><td>109,15</td><td>B</td></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>1125,78</td><td>10</td><td>109,15</td><td>C</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.		pp_CHIRPS	183,75	10	109,15	A	pp-japan	236,29	9	115,05	A	pp_CRUTEM 4.04	261,78	10	109,15	A	pp-GPM	698,64	10	109,15	B	pp-merra2	1125,78	10	109,15	C	PRECIPITACIÓN TOTAL	PARA EL INDICADOR RMSE-PT: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos A, B y C ($p<0.05$), obteniendo la mejor performance y con valores de medias de 183.75 a 261.78, los indicadores del grupo A, no habiendo diferencias significativas entre estos indicadores (CHIRPS, JAPAN y CRUTEM 4.04), y siendo superiores a MERRA 2 (grupo C) y GPM (grupo B).
FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.																													
pp_CHIRPS	183,75	10	109,15	A																												
pp-japan	236,29	9	115,05	A																												
pp_CRUTEM 4.04	261,78	10	109,15	A																												
pp-GPM	698,64	10	109,15	B																												
pp-merra2	1125,78	10	109,15	C																												
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,13902 Error: 0,0233 gl: 44 <table><tr><th>FUENTE</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>0,23</td><td>10</td><td>0,05</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>0,61</td><td>10</td><td>0,05</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM</td><td>0,93</td><td>10</td><td>0,05</td><td>C</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>0,93</td><td>9</td><td>0,05</td><td>C</td></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>0,96</td><td>10</td><td>0,05</td><td>C</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	FUENTE	Medias	n	E.E.		pp-merra2	0,23	10	0,05	A	pp-GPM	0,61	10	0,05	B	pp_CRUTEM	0,93	10	0,05	C	pp-japan	0,93	9	0,05	C	pp_CHIRPS	0,96	10	0,05	C	PRECIPITACIÓN TOTAL	PARA EL INDICADOR NSE-PT: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos A, B y C ($p<0.05$), obteniendo la mejor performance y con valores de medias de 0.96 a 0.93, los indicadores del grupo C, no habiendo diferencias significativas entre estos (CHIRPS, JAPAN y CRUTEM 4.04), y siendo superiores a MERRA 2 (grupo A) y GPM (grupo B).
FUENTE	Medias	n	E.E.																													
pp-merra2	0,23	10	0,05	A																												
pp-GPM	0,61	10	0,05	B																												
pp_CRUTEM	0,93	10	0,05	C																												
pp-japan	0,93	9	0,05	C																												
pp_CHIRPS	0,96	10	0,05	C																												

Tabla 6: Desempeño por Modelo e Indicador

Indicador / Modelo	MERRA-2	GPM	CHIRPS	CRUTEM 4.04	JAPAN
CC-SC	Bajo (A)	Bajo (A)	Alto (B)	Alto (B)	Alto (B)
NSE-SC	Muy bajo (A)	Medio (B)	Alto (C)	Alto (C)	Alto (C)
PBIAS-SC	Bueno (B)	Muy malo (A)	Bueno (B)	Bueno (B)	Bueno (B)
RMSE-SC	Muy alto (C)	Alto (B)	Bajo (A)	Bajo (A)	Bajo (A)
NSE-SF	Muy bajo (A)	Bajo (B)	Alto (C)	Alto (C)	Alto (C)
MAE-SF	Alto (A)	Medio (A-B)	Bajo (C)	Bajo (B-C)	Bajo (C)
PBIAS-PT	Bueno (B)	Muy malo (A)	Bueno (B)	Bueno (B)	Bueno (B)
RMSE-PT	Muy alto (C)	Alto (B)	Bajo (A)	Bajo (A)	Bajo (A)
MAE-PT	Alto (A)	Alto (A)	Bajo (B)	Bajo (B)	Bajo (B)
CC-PT	Medio (B)	Bajo (A)	Medio-alto (B-C)	Medio (B)	Alto (C)
NSE-PT	Muy bajo (A)	Bajo (B)	Alto (C)	Alto (C)	Alto (C)

Leyenda:

- **A, B, C** → Grupos definidos por la prueba LSD (letras iguales indican que no hay diferencia significativa entre los modelos)

- **Bajo / Alto / Medio / Muy alto** → Evaluación cualitativa relativa al conjunto de modelos

- **SC, SF, PT** → Semestre Cálido, Semestre Frío y Precipitación total.

Para el coeficiente de correlación (CC) y para el SC, se identificaron dos grupos estadísticamente distintos. El grupo A (MERRA-2 y GPM) presenta menores correlaciones (0,43 y 0,47), inferiores al grupo B (CHIRPS, CRUTEM 4.04 y JAPAN) con valores entre 0,72 a 0,83. Para la PT el grupo con mayor correlación fue el conformado por JAPAN (0,85) y CHIRPS (0,73), superiores al grupo A (GPM = 0,49) y grupo B (MERRA-2 y CRUTEM = 0,66). (Tabla 5).

La RMSE, evalúa la magnitud del error de las estimaciones de satélite con los de superficie, siendo sensible a errores más grandes y valores atípicos. Los indicadores que han obtenido la mejor performance, son CHIRPS, JAPAN y CRUTEM 4.04 (grupo A), con valores de error entre 214,36–300,39, sin diferencias significativas entre ellos, siendo superiores a GPM (885,61) y MERRA-2 (1366,29) que sobreestimaron, ubicándose en los grupos B y C, respectivamente. Según Alabar *et al.*, 2021, los resultados indican que la magnitud típica del error (RMSE) en meses del SC y en la escala anual no resulta confiable. En meses del SF los RMSE son menores a 13 mm (valor indicado como límite aceptable del indicador). En cuanto a la precipitación total, los errores más bajos se presentaron en CHIRPS, JAPAN y CRUTEM (grupo A), con valores de 183,75 a 261,78. GPM y MERRA-2 mostraron mayores errores (grupos B y C, respectivamente). Tablas 5 y 6.

La NSE mide la magnitud relativa de la variabilidad de los datos observados comparada con la varianza de los datos de satélite. El valor de los rangos en la NSE varía de $-\infty$ a 1. Siendo el valor 1 el

óptimo, los valores entre 0 y 1 son considerados aceptables en el desempeño, mientras que valores ≤ 0 indican un valor insatisfactorio. En consecuencia, evalúa la habilidad predictiva de los modelos de estimación de precipitación proveniente de sensores remotos. MERRA-2 se ubicó en el grupo A (0,19), GPM en el grupo B (0,66), y CHIRPS, CRUTEM 4.04 y JAPAN en el grupo C, éstos han obteniendo la mejor performance con valores de 0.93 a 0.95 para el SC (Cuadro 1), resultados similares han sido obtenidos por Guachamín, Páez-Bimos, & Horna, N. (2019). Para el SF se mantuvo una clara diferenciación entre los grupos. El mejor desempeño lo obtuvieron CHIRPS, CRUTEM 4.04 y JAPAN (grupo C: 0,88–0,90), seguidos de GPM (grupo B: 0,57) y MERRA-2 (grupo A: 0,20). En tanto que para la PT este indicador muestra que CHIRPS, JAPAN y CRUTEM (grupo C) alcanzaron valores entre 0,93 y 0,96, mientras que MERRA-2 y GPM presentaron desempeños significativamente inferiores (grupo A y B, respectivamente). Tablas 5 y 6.

Para el indicador MAE, se observa que los valores tanto para el SF como en la PT son superiores al óptimo (0). CHIRPS y JAPAN mostraron los valores más bajos (grupo C: -1,84 y -3,22 respectivamente), seguidos de CRUTEM (grupo B-C: -3,83). MERRA-2 y GPM presentaron los mayores errores absolutos (grupo A y A-B). Para la PT, GPM y MERRA-2 presentaron los errores absolutos más altos (grupo A: -47,04 y -31,65), mientras que CHIRPS, JAPAN y CRUTEM (grupo B) mostraron valores significativamente inferiores (entre -3,44 y -11,74). Resultados similares se obtuvieron en modelos climáticos evaluados erigiéndose los de alta correlación con más bajo MAE y PBIAS (Fernández & Fernández, 2021). Tablas 5 y 6. El PBIAS estima la diferencia media entre los datos de lluvias provenientes de satélite y la observada en superficie en forma porcentual. Sus valores pueden ser positivos o negativos; un sesgo relativo negativo indica una subestimación de la precipitación satelital y uno positivo una sobreestimación (Guachamín et al., 2019). Con respecto a este indicador y para el SC, GPM se diferenció estadísticamente del resto con una media de -156,68% (grupo A), mientras que los otros modelos conformaron el grupo B, con mejores desempeños entre -32,4% y 4. Similar a SC, pero para el SF, GPM fue estadísticamente inferior (grupo A: -147,06%), mientras que el grupo B incluyó a los otros modelos con mejores desempeños (hasta 4,5%). Para la PT, GPM registró un sesgo porcentual negativo pronunciado (-147,06%), diferenciándose significativamente del resto. El grupo B mostró valores entre -38,77% y 4,5%, sin diferencias estadísticas entre ellos. Resultados similares se observaron en Tan & Duan (2017). Tablas 5 y 6.

CONCLUSIONES

Para todas las estaciones en estudio, los índices de mejor desempeño en la estimación de la precipitación en calidad y confiabilidad aplicados, son para la precipitación anual (PT) y el semestre cálido (SC), son CHIRPS, JAPAN Y CRUTEM 4,04.

No existe diferencia significativa entre las fuentes de información CHIRPS, JAPAN Y CRUTEM 4,04, mientras que los datos de precipitación obtenidos de MERRA 2 y GPM, si la tienen.

Los resultados mostraron que el producto CHIRPS a escala diaria y 0.05° de resolución espacial logró una mejor performance con los índices obtenidos: NSE: 0,96, CC: 0.73, MAE: 3,44, PBIAS: 16, RMSE: 183.

Para considerar las precipitaciones provenientes de sensores remotos, sería conveniente utilizar aquellos algoritmos que consideran la variación altitudinal, ya que, en el país, la región del NOA presenta gran heterogeneidad en la altitud y en consecuencia en las precipitaciones, sumado a la escasa densidad de información en superficie.

BIBLIOGRAFÍA

Alabar, F. D., Solís, J. M., Valdiviezo Corte, M. B., & Hurtado, R. H. (2021). Validación de las precipitaciones estimadas por TRMM y GPM en 6 estaciones de las provincias de Jujuy y Salta (Argentina). *Revista Científica de la FCA*, 14(2), 45–57.

- Arun Murali, C. M., Chowdary, V. M., Kesarwani, M., & Neeti, N. (2022). Integrated drought monitoring and assessment using multi-sensor and multi-temporal earth observation datasets: A case study of two agriculture-dominated states of India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195.
- Ayehu, G. T., Tadesse, T., Gessesse, B., & Dinku, T. (2018). Validación de nuevos productos de lluvia satelital sobre la cuenca del Alto Nilo Azul, Etiopía. **Atmospheric Measurement Techniques**, 11, 1921-1936. <https://doi.org/10.5194/amt-11-1921-2018>
- Barría, P. (2010). Pronóstico de caudales medios mensuales en las cuencas de los ríos Baker y Pascua [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-barria_ps/pdfAmont/cf-barria_ps.pdf
- Bergmeir, C., & Benítez, J. M. (2012). On the use of cross-validation for time series predictor evaluation. *Information Sciences*, 191, 192-213. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2011.07.028>
- Calderón Sánchez, S. K., & Mendoza Briones, M. K. (2024). Aplicación de modelación del ciclo hidrológico en la microcuenca hidrografía Carrizal [Proyecto de investigación, Escuela Superior Politécnica de Manabí Manuel Félix López]. Carrera de Ingeniería Ambiental. https://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/2347/1/TIC_IA74D.pdf
- Castillo Acosta, O., & Leines Medécigo, J. C. (2023). Agua para la vida. Consejo Editorial, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Coaquira, Y., Calderón, A., & Huaccoto, P. (2019). Análisis comparativo de precipitaciones medias mensuales utilizando datos de satélite TRMM 3B43 y estaciones meteorológicas en la cuenca Huancané, Puno-Perú. *Revista Científica*, 2(51), 50-58.
- Essou, G. R. C., Brissette, F., & Lucas-Picher, P. (2017). The use of reanalyses and gridded observations as weather input data for a hydrological model: Comparison of performances of simulated river flows based on the density of weather stations. *Journal of Hydrometeorology*, 18(2), 497-513. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-16-0088.1>
- Feidas, H. (2010). Validation of satellite rainfall products over Greece. *Theoretical and Applied Climatology*, 99(1-2), 193-216. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0135-8>.
- Fernández, S., & Fernández, C. (2021). Validación de la precipitación estimada en modelos climáticos globales del CMIP6 para la Cuenca Tupiza. *Revista Técnica Ingenium*, 1(2), 89-96. <https://revistas.usfx.bo/index.php/ing/article/view/1531>
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., et al. (2015). Los riesgos climáticos de la precipitación infrarroja con estaciones: un nuevo estudio ambiental. *Récord de monitoreo de extremos. *Datos científicos**, 2, 150066. <https://doi.org/10.XXX>
- 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 Digital. Repositorio Institucional. <https://repositorio.inta.gob.ar/>
- Gavilán, S., Pastore, J. I., Uranga, J., Ferral, A., Lighezzolo, 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.

- Giovanni NASA. (2021). *Estimación de las precipitaciones de satélite de TRMM y GPM*. <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>
- Guachamín, W., Páez-Bimos, S., & Horna, N. (2019). Evaluación de productos IMERG V03 y TMPA V7 en la detección de crecidas: Caso de estudio cuenca del río Cañar. *Revista Politécnica*, 42, 1–17. <https://doi.org/10.33333/rp.vol42n2.942>
- Hersbach, H., et al. (2020). *The ERA5 global reanalysis*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.
- Hou, A. Y., Kakar, R. K., Neeck, S., Azarbarzin, A. A., Kummerow, C. D., 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>
- Hurtado, S. I., Zaninelli, P. G., Agosta, E. A., et al. (2021). *Infilling methods for monthly precipitation records with poor station network density in Subtropical Argentina*. **Atmospheric Research**. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105482>
- Hyndman, R. J., & Koehler, A. B. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting*, 22(4), 679–688. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2006.03.001>
- Iqbal, M. F., & Athar, H. (2018). *Validation of satellite based precipitation over diverse topography of Pakistan*. *Atmospheric Research*, **201**, 247–260. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.10.026>
- Joyce, R. J., Janowiak, J. E., Arkin, P. A., & Xie, P. (2004). CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology*, 5(3), 487–503. [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2004\)005<0487:CAMTPG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2004)005<0487:CAMTPG>2.0.CO;2)
- Kidd, C., & Levizzani, V. (2011). *Status of satellite precipitation retrievals*. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 1109–1116.
- Kidd, C., Kniveton, M. C., Todd, M. C., & Bellerby, T. J. (2003). Satellite rainfall estimation using combined passive microwave and infrared algorithms. *Journal of Hydrometeorology*, 4(6), 1088–1104. [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2003\)004<1088:SREUPC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2003)004<1088:SREUPC>2.0.CO;2)
- Liu, H., Tian, H. Q., Chen, C., & Li, Y. (2010). A hybrid statistical method to predict wind speed and wind power. *Renewable Energy*, 35(8), 1857–1861. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.01.007>
- Liu, Z. (2016). Comparison of Integrated Multisatellite Retrievals for GPM (IMERG) and TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) Monthly Precipitation Products: Initial Results. *Journal of Hydrometeorology*, 17(3), 777–790. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0068.1>
- Lujano, L. E., Obando, F. O., Lujano, L. A., & Quispe Aragón, J. (2015). Validación de la precipitación estimada por satélite TRMM y su aplicación en la modelación hidrológica del río Ramis Puno Perú. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 17, 221–228. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5169796>
- Murphy, G., & Hurtado, R. (2011). *Agrometeorología*. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282–290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)

- 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>
- Roque Quiroz, R. A. (2023). Validation of the precipitation data (1981–2016) of the PISCO v2.1 product: Meteorological station, elevation, seasonality of the year, and climatic region in the Tumbes basin, Peru. *Manglar*, 20(1), 41–50. <https://doi.org/10.57188/manglar.2023.005>
- Roy, P. S., et al. (2017). *Satellite remote sensing: sensors, applications and challenges*. (revisión).
- 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.
- Tan, M., & Duan, Z. (2017). Assessment of GPM and TRMM precipitation products over Singapore. *Remote Sensing*, 9(7), 720. <https://doi.org/10.3390/rs9070720>
- Toté, C., Patricio, D., Boogaard, H., Van Der Wijngaart, R., Tarnavsky, E., & Funk, C. (2015). *Evaluation of satellite rainfall estimates for drought and flood monitoring in Mozambique*. Flemish Institute for Technological Research, Instituto Nacional de Meteorología (INAM), Alterra - Wageningen University, University of Reading, USGS-EROS, and University of California Santa Barbara.
- University of East Anglia Climatic Research Unit, Harris, I. C., Jones, P. D., & Osborn, T. (2020). *CRU TS4.04: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) version 4.04 of high-resolution gridded data of month-by-month variation in climate (Jan. 1901–Dec. 2019)*. Centre for Environmental Data Analysis. <https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/89e1e34ec3554dc98594a5732622bce9>
- Vaheddoost, B., Safari, M. J. S., & Yilmaz, M. U. (2023). Rainfall-runoff simulation in ungauged tributary streams using drainage area ratio-based multivariate adaptive regression spline and random forest hybrid models. *Pure and Applied Geophysics*. <https://doi.org/10.1007/s00024-022-03209-3>
- Wu, X., Zhu, X., Cao, G., & Tu, H. (2008). Dynamic modeling of SOFC based on a T–S fuzzy model. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 16(5), 494–504. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2008.01.007>
- Zambrano-Bigiarini, M., Nauditt, A., Birkel, C., Verbist, K., & Ribbe, L. (2017). *Temporal and spatial evaluation of satellite-based rainfall estimates across the complex topographical and climatic gradients of Chile*. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(2), 1295–1320. <https://doi.org/10.5194/hess-21-1295-2017>