

Validation of the satellite precipitation products PISCO v2.1 and RAIN4PE in basin Mashcón basin, Perú

Jairo Isaí Alvarez Villanueva¹; Nelson M, Valle-Gonzales²; Marina M, Bustamante-Quiroz³

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, jairo.alvarez@upn.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, N00036261@upn.pe

³Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, N00038961@upn.pe

Abstract- *The objective of the research was to validate the PISCO v2.1 and RAIN4PE satellite precipitation products in the headwaters of the Amazon basin – Mashcón Basin, Peru. Rstudio programming tools and the QGIS Geographic Information System were used. PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations) and RAIN4PE satellite products were used. Two ground stations were used, Granja de Porcón (1999-2015) and Augusto Weberbauer (1981-2015). Rainfall from the Weberbauer and Granja de Porcón ground stations was compared with satellite products. RAIN4PE underestimated rainfall at the Granja de Porcón station and overestimated it at the Weberbauer station. The statistical metrics between PISCO V.2.1 and the Weberbauer station were NSE=0.958, $r=0.979$, RMSE=10.076, and BIAS=-0.0066). Meanwhile, PISCO V.2.1 and Granja de Porcón had NSE=0.928, $r=0.976$, RMSE= 26.788, and BIAS=-0.125).*

Keywords: *Satellite product PISCO v2.1 and RAIN4PE, ground station Granja de Porcón and Augusto Weberbauer*

Validación del producto satelital de precipitación PISCO v2.1 y RAIN4PE en la cuenca Mashcón, Perú

Jairo Isáí Alvarez Villanueva¹; Nelson M, Valle-Gonzales²; Marina M, Bustamante-Quiroz³

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, jairo.alvarez@upn.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, N00036261@upn.pe

³Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, N00038961@upn.pe

Resumen– El objetivo de la investigación fue validar los productos satelitales de precipitación PISCO v2.1 y RAIN4PE en cabecera de cuenca del Amazonas – Cuenca Mashcón, Perú. Se usó herramientas de programación Rstudio y Sistema e Información Geográfica QGIS. Se usó productos satelitales PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations) y RAIN4PE. Se utilizó los datos de dos estaciones terrestres, Granja de Porcón (1999-2015) y Augusto Weberbauer (1981-2015). Se comparó los datos de precipitación de la estación terrestre Weberbauer y Granja de Porcón con los productos satelitales. RAIN4PE, el cual subestimó los datos en dicha estación Granja de Porcón y sobreestimó los mismos en la estación Weberbauer. La métrica estadística entre PISCO V.2.1 y la estación Weberbauer fue $NSE=0.958$, $r=0.979$, $RMSE=10.076$, y $BIAS=-0.0066$. Mientras que PISCO V.2.1 y Granja de Porcón fue $NSE=0.928$, $r=0.976$, $RMSE= 26.788$, y $BIAS=-0.125$.

Palabras clave: Producto satelital PISCO v2.1 y RAIN4PE, estación terrestre Granja de Porcón y Augusto Weberbauer

I. INTRODUCCIÓN

La lluvia es una variable crítica, resultado de varios procesos en la atmósfera, que varía en el tiempo y espacio. La lámina de lluvia es medida en instrumentos pluviométricos, cuya medición de lluvia es puntual. Con una densidad de pluviómetros es posible determinar la variabilidad espacial de una región [1]. De los diferentes componentes del ciclo hidrológicos, la precipitación-lluvia es el principal componente del ciclo hidrológico. Contar con este tipo de información, es crucial para entender la distribución espaciotemporal de la lluvia, pero también es crucial para realizar estudios científicos. Los registros de pluviómetros son las más utilizadas y las principales fuentes de observaciones de lluvias. Sin embargo, otra fuente de información de lluvias deriva de productos satelitales [2]. La precipitación basada en satélite presenta una disponibilidad y continuidad de registros de precipitación, el cual permiten abordar problemas científicos [3]. En el mundo existe una limitada presencia de instrumentos pluviométricos y radares meteorológicos, esto obstaculiza el conocimiento de la precipitación real a escala espacial [3]. La medición precisa de la lluvia es vital para analizar los patrones espaciales y temporales de precipitación a varias escalas. Tener una longitud de registros de lluvias por pluviómetros en muchas partes del mundo son escasas o están distribuidas de forma heterogénea sobre un territorio. Frente a este problema, las observaciones de lluvias a través de satélites son una alternativa a considerar en el futuro frente a

la escasez de observaciones tradicionales de pluviómetros. El uso de un producto único de lluvias podría utilizarse en zonas donde no se cuente con información pluviométrica [4]. Existe información de precipitación satelital disponible a nivel global, útiles para modelar el recurso hídrico. Esta información, es una alternativa frente a la escasez de información en algunas a regiones del mundo [5]. Los productos de precipitación satelital solucionan problemas de escasez de registros de información pluviométrico terrestre [6]. Existen productos de precipitación satelital que brindan información de lluvias a una escala regional y global, el potencial de estos productos, permiten utilizarlos en diversas investigaciones. La variabilidad espacial y temporal de la información de precipitaciones de los producto regionales y globales permiten ser utilizados en la agricultura, en la gestión de recursos hídricos, en el monitoreo de sequías e inundaciones y así como en la predicción de condiciones climáticas extremas de inundaciones y sequías [7]. Existen limitaciones en el uso de imágenes satelitales para estimar lluvia, debido a que los sensores no logran detectar las lluvias como tal [8]. Sin embargo, el ajuste de las precipitaciones satelitales con respecto a los datos de pluviómetros permite reducir el error y la incertidumbre en la información de la lluvia de los productos satelitales de precipitación generando mayores precisiones [9].

II. METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

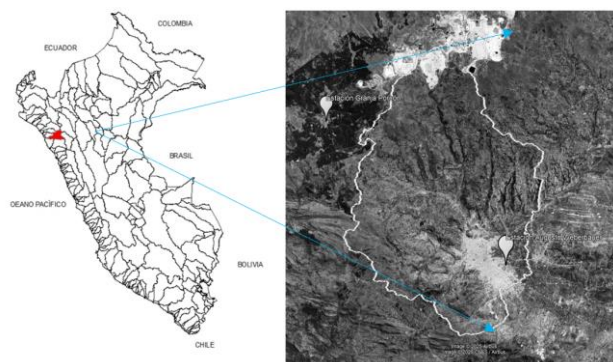


Fig. 1. Ubicación de estaciones pluviómetros

El área de estudio se ubica en la parte alta de la cuenca Cajamarquino, región de Cajamarca. Tiene un área de 310.35 km², ver Figura 1. Un perímetro de 100.27 km. La máxima elevación es 4206 msnm y la mínima elevación es 2665 msnm. La elevación media es de 3295.79 msnm. Asimismo, las estaciones terrestres de estudio son: estaciones meteorológicas terrestres Porcón y Augusto Weberbauer. La herramienta SIG utilizada para la delimitación de la cuenca fue Qgis, 3.42.0, a través de su complemento ArcGeek. Se tomo como punto emisor a la estación túnel Jesús.

2.2. Datos pluviométricos

A continuación, se presenta una breve descripción de dos estaciones terrestres proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

a) Estación terrestre Augusto Weberbauer: es una estación convencional y se encuentra dentro de la cuenca del Mashcón. La estación mencionada, es una estación de categoría agrometeorológica (ver Figura 1), ubicada a una altitud de 2673 msnm en el campus de la Universidad Nacional de Cajamarca, en el distrito de Cajamarca - Región de Cajamarca. Las coordenadas de ubicación son: Latitud: 07° 10' 03" Sur. Longitud: 78° 29' 35" Oeste. La mencionada estación registra información meteorológica desde el año de 1965 a 2024, según indica el Servicio Nacional de Meteorología Hidrología del Perú, ver Figura 2

b) Estación terrestre Porcón: es una estación convencional y se encuentra fuera de la cuenca del Mashcón. Las coordenadas de ubicación son: Latitud: 07° 02' 15" Sur. Longitud: 78° 38' 00" Oeste), ubicada a una altitud de 3149 msnm. La mencionada estación registra información meteorológica desde el año de 1966 a 2024, según indica el Servicio Nacional de Meteorología Hidrología del Perú (SENAMHI), la información de la estación mencionada tiene data incompleta.

2.3. Datos de satélite de precipitación

A continuación, se presenta dos productos regionales de precipitación satelital cuyos datos de precipitación, están disponibles para el público.

a) Producto RAIN4PE (Lluvia para Perú y Ecuador): esta información abarca dentro de su cuadrícula a los países de Perú y Ecuador, y tiene una resolución espacial de 0.1°. El periodo de registro de información contempla desde 1981 a 2015. Este producto está formado por un conjunto de datos de precipitación diaria de precipitación – lluvia. Está basada en satélites, tales como: CHIRP y ERA5. Este producto satelital puede

adoptarse como referencia de datos de precipitación para Perú y Ecuador [10].

La información del producto se puede descargar desde el siguiente enlace: <https://datapub.gfz-potsdam.de/download/10.5880.PIK.2020.010enouiv/>.

b) Producto PISCOp v2.1: este producto es conocido como: datos interpolados peruanos de las observaciones climatológicas e hidrológicas del SENAMHI). La información de PISCOp tiene una resolución espacial de 0.1°. Esta data registra información desde el año de 1981 a la actualidad. Los resultados de validación del producto mencionado demostraron que el mejor rendimiento se da en la costa del Pacífico y el flanco occidental de los Andes [11].

Se usó el siguiente enlace para descargar el producto: <https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/.Prec/.v2p1/.stable/.monthly/.Prec/datafiles.html?Set-Language=es>.

2.4. Datos de precipitación satelital

Haciendo uso de la herramienta Rstudio, se construyó un Script para extraer la información de precipitación a partir de la ubicación de las coordenadas de las estaciones mencionadas. En la Figura 2, se presenta información de precipitación – lluvia extraída de la data Pisco v2.1. Figura 3, se presenta información de precipitación – lluvia extraída de la data RAIN4PE.

3.5. Prueba estadística

Para evaluar productos satelitales se emplea el enfoque de comparación de índice estadístico [7]. Se utiliza las medidas estadísticas continuas para cuantificar el rendimiento de los productos de lluvia satelital, para comparar productos de precipitación satelital con información de lluvia medida por estaciones de pluviometría, se utiliza métodos estadísticos, tales como: coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), coeficiente de correlación de Pearson (r), sesgo, error cuadrático medio (RMSE), y error absoluto medio (MAE). Donde: G_i representa a lluvias medidas en la superficie. $\bar{G}$ representa a estimaciones de precipitación satelital. $\bar{G}$ representa al promedio de las estimaciones de precipitación satelital. $\bar{G}$ representa el promedio de las medidas de lluvia en la superficie. n representa el número total de datos [4] [5].

Nash-Sutcliffe (NSE): indicador que mide la eficiencia de los resultados de un modelo en comparación con un modelo de referencia. Los valores de NSE oscilan entre $-\infty$ (ajuste deficiente) y 1 (ajuste perfecto) [5].

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

Coficiente de Correlación de Pearson (r): se utiliza para evaluar el ajuste de la relación. Un valor de 1 es la puntuación perfecta) [4] [5] [7].

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2 \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}}$$

Error Medio Cuadrático (RMSE): mide la diferencia media entre dos conjuntos de datos. Un valor de 0 es la puntuación perfecta [4] [5].

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

Sesgo Estadístico (BIAS): un valor de 0 es un valor de puntuación ideal [12]. Un valor de sesgo superior positivo se tiende a sobreestimar los valores. Un valor de sesgo menor que uno indica una subestimación [7].

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

III. RESULTADOS

Identificada las coordenadas geográficas de ubicación de las estaciones terrestres Granja de Porcón y Weberbauer, se extrajo la precipitación-lluvia en formato NetCDF en Rstudio. La información extraída es mensual y corresponde a un punto geográfico de una cuadrícula (gridded data) a escala regional. Posteriormente se comparó con información de precipitación - lluvia mensual proporcionada por SENAMHI.

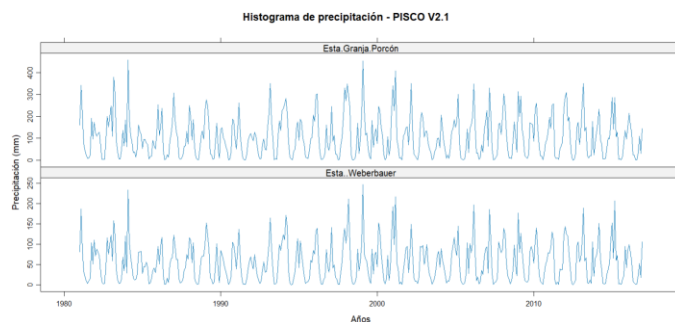


Fig. 2. Histograma de precipitación - lluvia de dos estaciones extraído del producto PISCOV2.1, 1981-2016.

Identificada las coordenadas geográficas de ubicación de las estaciones terrestres Granja de Porcón y Weberbauer, se extrajo la precipitación-lluvia en formato NetCDF en Rstudio. La información extraída es mensual y corresponde a un punto geográfico de una cuadrícula (gridded data) a escala regional. Posteriormente se comparó con información de precipitación - lluvia mensual proporcionada por SENAMHI.

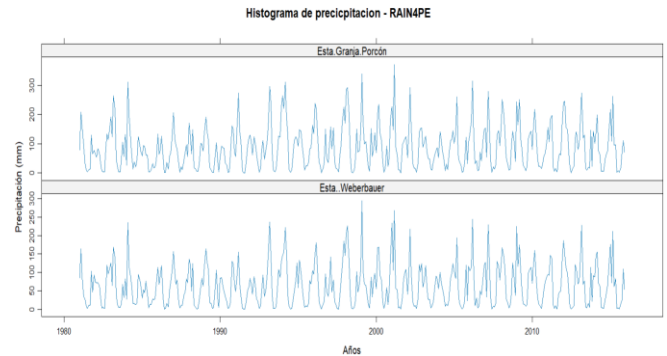


Fig. 3. Histograma de precipitación - lluvia de dos estaciones extraído del producto RAIN4PE, 1981-2015.

La información lluvia de la Figura 3 corresponde a las coordenadas de la estación Granja de Porcón. La Figura 3, muestra que la información de lluvia del producto PISCO se ajusta mejor a lo registrado por el pluviómetro en la estación Granja de Porcón. Asimismo, la comparación gráfica de la Figura 3, indica que el producto satelital RAIN4PE presenta un bajo ajuste a los datos de lluvia de la estación Granja de Porcón. Los productos satelitales pueden sobreestimar o subestimar con respecto a una información terrestre [6].

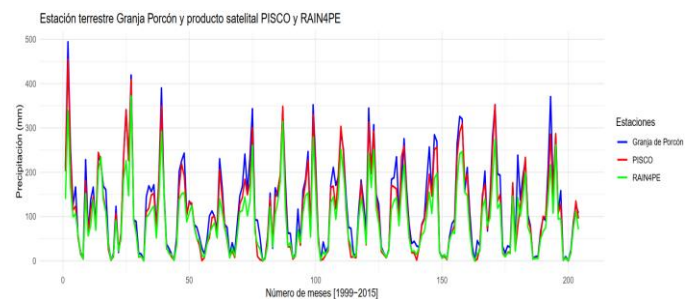


Fig. 4. Comparación gráfica de precipitación terrestre y producto satelital, periodo 1999-2015.

La mediana de la estación Granja de Porcón es de 107.90 mm, mientras que PISCO tiene una mediana es de 95.74mm mm, lo que indica que ambas estaciones tienen una mediana muy cercana, es decir, tienen un comportamiento de

precipitación promedio similar. Por otro lado, RAIN4PE tiene una mediana más alta de 80.07 mm. Con respecto al rango intercuartil IQR, la estación Granja de Porcón es $187.96\text{mm} - 39.08\text{mm} = 148.88\text{ mm}$ y del producto PISCO es de $168.82\text{mm} - 22.60\text{mm} = 146.23\text{ mm}$. El QR de RAIN4PE es $139.75\text{mm} - 26.99\text{mm} = 112.76\text{ mm}$. El producto PISCO tiene un IQR muy similar con la estación Granja de Porcón, lo que sugiere que ambas estaciones tienen una variabilidad de precipitaciones similar. La Granja de Porcón tiene una desviación estándar de 100.44mm. El producto PISCO tiene una desviación estándar de 96.16 mm. RAIN4PE tiene una desviación estándar de 75.97 mm. PISCO tiene una desviación estándar similar a la de Granja de Porcón, esto indica una variabilidad más parecida en las precipitaciones.

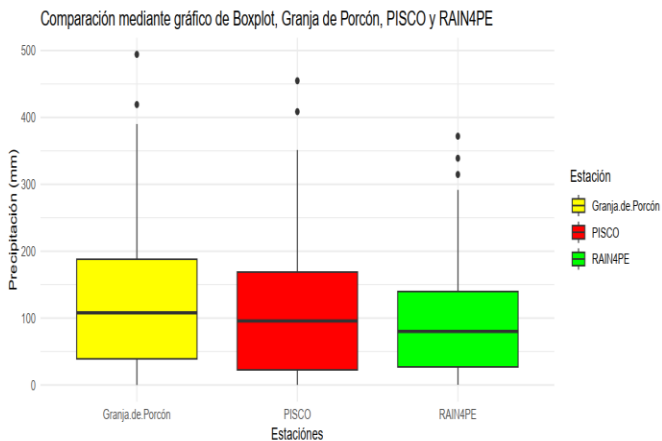


Fig. 5. Comparación de información a partir de la mediana, periodo 1999-2015.

La información lluvia de la Figura 5 corresponde a las coordenadas de la estación terrestre Weberbauer. La Figura 5, muestra que la información de lluvia del producto PISCO se ajusta mejor a lo registrado por el pluviómetro en la estación Weberbauer. Asimismo, la comparación gráfica de la Figura 5, indica que el producto satelital RAIN4PE presenta un bajo ajuste en algunas frecuencias de los datos de lluvia de la estación Weberbauer. Los productos satelitales pueden sobreestimar o subestiman con respecto a una información terrestre [6].

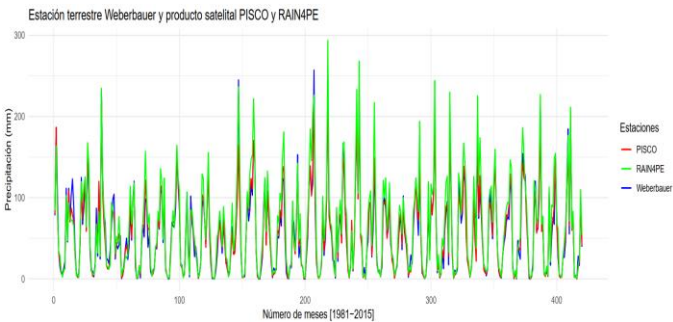


Fig. 6. Comparación gráfica de precipitación terrestre y producto satelital, periodo 1981-2015.

La mediana de la estación Weberbauer es de 46.10 mm y de PISCO es de 47.11 mm, lo cual indica que tienen medianas muy cercanas. Esto indica que ambas estaciones tienen un comportamiento de precipitación promedio similar. Por otro lado, la mediana de RAIN4PE es de 56.09 mm, es te valor es significativamente más alta, lo que sugiere que las precipitaciones en esta estación tienden a ser más altas en promedio. Con respecto al rango intercuartil IQR, la estación Weberbauer es $86.30\text{mm} - 14.68\text{mm} = 71.62\text{ mm}$, del producto PISCO es de $86.82\text{mm} - 13.37\text{mm} = 73.45\text{ mm}$, lo cual indica que ambas estaciones tienen una variabilidad de precipitaciones similar. Y con respecto al IQR de RAIN4PE presenta $100.10\text{mm} - 15.01\text{mm} = 85.09\text{ mm}$. Con respecto a la Desviación Estándar, para la estación Weberbauer es 49.50 mm, para el producto PISCO es de 48.19 mm y para el producto RAIN4PE es de 56.92 mm. El producto PISCO tiene una desviación estándar similar a la estación Weberbauer, esto indica una variabilidad más parecida en las precipitaciones.

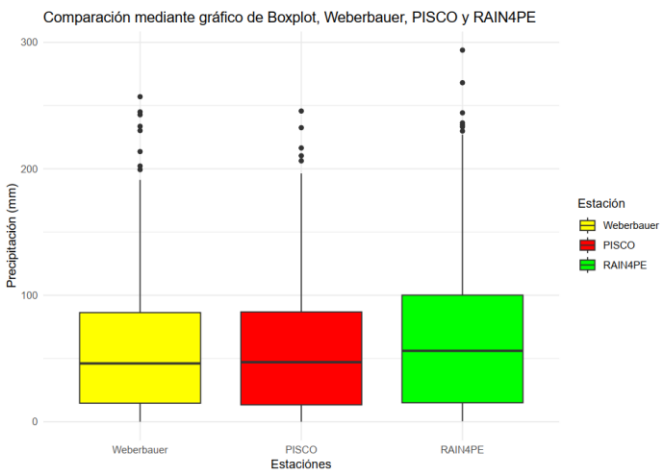


Fig. 7. Comparación de información a partir de la mediana, periodo 1981-2015

Al evaluar la data del periodo 1981-2015, de la estación terrestre Weberbauer y el producto satelital PISCO, se observó que el NSE es 0.9585 cercano de 1, lo que sugiere un buen ajuste. Al analizar el Coeficiente de correlación de Pearson (r) es de 0.979 próximo a 1, lo que sugiere que hay una relación lineal alto entre las variables evaluadas, es decir, que a medida que una variable aumenta o disminuye, la otra variable tiende a hacer lo mismo, pero no de manera perfecta. Se consideran valores satisfactorios los valores para NSE de 0.92 y r igual a 0.70 [5].

En la investigación RMSE, resultó un valor alto de 10.08, este valor sugiere que el modelo tiene un error considerable, lo que podría indicar que, aunque el modelo producto satelital PISCOv2.1, tenga un buen ajuste alto en los estadísticos de NSE y r , aún hay diferencias importantes entre la data de la estación terrestre Weberbauer (valores reales) y el producto satelital PISCOv2.1. Un valor alto de RMSE es señal de que, aunque el modelo producto satelital PISCO sea eficiente en su desempeño general y tenga una alta correlación con la data de la estación terrestre Weberbauer, la información de PISCOv2.1 no es completamente precisa. Esto puede requerir una mejora en el modelo para reducir el error. Para el análisis de BIAS el valor es -0.0066 es muy cercano a 0, lo que indica que el modelo tiene un sesgo muy bajo. El valor negativo indica que el modelo tiene una ligera tendencia a subestimar los valores en lugar de sobrestimarlos. El valor de BIAS es bajo y no afecta a la calidad de la información del producto satelital PISCOv2.1. Se sabe que al comparar dos variables de información de precipitación-lluvia entre sí, y se obtenga un valor de BIAS igual a -0.05, y -0.101, según Asurza [12] este valor refleja subestimación. Lo dicho anteriormente concuerda con la investigación, ya que el modelo PISCO V2.1 no estima satisfactoriamente la lluvia con respecto a la información de lluvia de la estación terrestre Granja de Porcón.

Debido a la falta de información lluvia de algunos meses del año de la estación terrestre Granja de Porcón, no se contempló para el análisis el periodo 1981 – 1998, por lo que, la comparación estadística con respecto al productos satelitales PISCOv2.1 solamente se consideró al periodo 1999-2015. Al evaluar la data en el mencionado periodo, entre la estación terrestre Granja de Porcón y el producto satelital PISCO v2.1, se observó que el NSE es 0.9285 cercano de 1, lo que sugiere un buen ajuste. Al analizar el Coeficiente de correlación de Pearson (r) fue de 0.9766 próximo a 1, lo que sugiere que hay una relación lineal muy fuerte entre las variables evaluadas, es decir, que el producto PISCO v2.1 refleja un comportamiento de lluvia similar, pero no de manera perfecta con la lluvia de la estación Granja de Porcón. Según Rachidi [5] son valores satisfactorios los valores para NSE de 0.92 y r igual a 0.70. En el desarrollo de la investigación RMSE, resultó un valor alto de 26.79, este valor sugiere que el modelo tiene un error considerable, lo que podría indicar que, aunque el modelo producto satelital PISCO v2.1, tenga un buen ajuste alto en

NSE y r , aún hay diferencias importantes entre la data de la estación terrestre Granja de Porcón (valores reales) y el producto satelital PISCO v2.1. Un valor alto de RMSE es señal de que, aunque el modelo producto satelital PISCO v2.1 sea eficiente en su desempeño general y tenga una alta correlación con la data de la estación terrestre Granja de Porcón, la lluvia del producto indicado no es completamente precisa o no refleja el comportamiento real de lluvia de la estación terrestre indicada. Esto puede requerir una mejora en el modelo para reducir el error. En la investigación de Liu [7] realizó una comparación entre la lluvia mensual observada y la información de lluvia mensual del producto satelital IMERG, el cual presentó un valor de coeficiente de correlación alto al tener un valor de $r = 0.72$ y un Error Medio Cuadrático (RMSE) de 136.60. Mientras que al comparar la lluvia terrestre con el producto satelital GSMaP presentó un valor de RMSE alto 145.81. Estas métricas de comparación estadísticas sugieren que existe una subestimación en la información. Por otro lado, en la investigación de Tarnavsky et al. (2014), señaló que cuando la métrica de BIAS es menor a 1, indica que los valores de lluvia de un producto satelital con respecto a la lluvia observada, el producto refleja un comportamiento de subestimación. Lo dicho anteriormente concuerda con el valor de BIAS de la investigación, cuyo valor es -0.1252 y muy cercano a 0, lo que indica que el modelo tiene un sesgo muy bajo. El valor negativo indica que el modelo tiene una ligera tendencia a subestimar los valores en lugar de sobrestimarlos. Al comparar un producto satelital con observaciones de lluvias a nivel terrestre, un valor de BIAS igual a 0.92 representa valores ligeramente altos y un buen desempeño de comportamiento de un producto satelital con respecto a una información terrestre [8].

Los resultados obtenidos evidencian que la representación de la precipitación en la cuenca Mashcón está condicionada por la variabilidad espacial y altitudinal del área de estudio. El análisis a escala mensual muestra un alto desempeño estadístico del producto PISCO v2.1, con valores de NSE superiores a 0.92 y coeficientes de correlación mayores a 0.97 en ambas estaciones. Sin embargo, estos altos valores contrastan con errores relevantes en RMSE, especialmente en Granja de Porcón (26.788 mm), lo que evidencia discrepancias en la magnitud de la precipitación. Estos resultados indican que la agregación mensual permite capturar adecuadamente la tendencia general de la precipitación, pero tiende a suavizar la variabilidad intra-mensual, lo que puede ocultar eventos extremos de corta duración. En consecuencia, el buen desempeño estadístico observado podría estar influenciado por la escala temporal utilizada.

El producto RAIN4PE presenta un comportamiento diferenciado entre estaciones. En Weberbauer, se observa una sobreestimación de la precipitación, con una mediana de 56.09 mm frente a 46.10 mm registrados. En contraste, en Granja de Porcón se identifica una subestimación sistemática de la precipitación. Asimismo, RAIN4PE muestra una menor

capacidad para reproducir la variabilidad de la precipitación, evidenciada en diferencias en la desviación estándar y en el rango intercuartílico respecto a los datos observados. Estos resultados indican que el producto presenta limitaciones en la representación de la variabilidad espacial y en la consistencia de sus estimaciones, particularmente en ambientes montañosos.

Los resultados evidencian que, a pesar del buen ajuste estadístico del producto PISCO v2.1, existen errores importantes en la estimación de la magnitud de la precipitación, especialmente en la estación Granja de Porcón. Esto se refleja en el alto RMSE observado (26.788 mm), lo cual sugiere limitaciones en la capacidad del producto para representar la variabilidad espacial interna de la cuenca. Considerando que la resolución espacial de los productos (0.1°, equivalente a 11 km) es relativamente gruesa en relación con el tamaño de la cuenca (~310 km²), los resultados sugieren que la cuenca está representada por un número reducido de celdas.

VI. CONCLUSIONES

Se extrajo la información de lluvias a través de Rstudio de las coordenadas de la ubicación de la estación terrestre Weberbauer a una altitud de 2673 msnm de los productos PISCO V2.1(1981-2015) y RAIN4PE (1981-2015), y se comparó gráficamente con la información pluviométrica de la estación terrestre mencionada. El análisis gráfico, determinó que la lluvia del producto PISCO V2.1 y la lluvia registrada por la estación terrestre Weberbauer son próximos y sigue el mismo patrón de lluvia. Por otro lado, el producto satelital RAIN4PE, sobrestima y no sigue el mismo patrón de lluvias con respecto a la información pluviométrica de la estación terrestre Weberbauer. Finalmente, a través del diagrama de cajas, se verificó, que el producto satelital PISCO V2.1. es la información más próxima a la información de lluvia registrada por la estación terrestre Weberbauer.

Se aplicó métodos estadísticos y se obtuvo resultados, tales como: coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (0.958), Coeficiente de Correlación de Pearson (0.979), Error Cuadrático Medio (10.076), y Sesgo Estadístico (-0.0066). Finalmente, a partir de la métrica estadística, se concluye que el producto PISCO presenta un buen desempeño en general en la precipitación – lluvia de la estación terrestre Weberbauer para el periodo 1981-2015. Además, se concluye que, al mejorar la resolución espacial del producto satelital PISCO V2.1, se mejorará la calidad de la información de las láminas de agua.

Rstudio permitió extraer información de lluvias a partir de coordenadas de ubicación de la estación terrestre Granja de Porcón (altitud de 3149 msnm) de los productos PISCO

V2.1(1999-2015) y RAIN4PE (1999-201), y se comparó gráficamente con la información pluviométrica de la estación terrestre mencionada. El análisis gráfico, determinó que la lluvia del producto PISCO V2.1 y la lluvia registrada por la estación terrestre Granja de Porcón, subestima, y sigue muy próximo el mismo patrón de lluvia. Por otro lado, el producto satelital RAIN4PE, subestima y no sigue el mismo patrón de lluvias con respecto a la información pluviométrica de la estación terrestre Granja de Porcón. Finalmente, a través del diagrama de cajas, se verificó, que el producto satelital PISCO V2.1. es la información más próxima a la información de lluvia registrada por estación terrestre Granja de Porcón.

Mediante el uso de métodos estadísticos, tales como: coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (0.928), Coeficiente de Correlación de Pearson (0.976), Sesgo, Error Cuadrático Medio (26.788), y Sesgo Estadístico (-0.125). Finalmente, la estadística concluye que el producto PISCO presenta un buen desempeño en general en la precipitación – lluvia de la estación terrestre Granja de Porcón para el periodo 1999-2015. Además, se concluye que, al mejorar la resolución espacial del producto satelital PISCO V2.1, se mejorará la calidad de la información de las láminas de agua. Por lo cual, se recomienda su aplicación en estudios hidrometeorológicos de la zona.

Las Estaciones Granja de Porcón y Weberbauer presentan diferencias significativas en términos de altitud, ubicación y comportamiento pluviométrico, lo que influye en el desempeño de los productos satelitales. La validación en las estaciones Weberbauer y Granja de Porcón demuestra que PISCO v2.1 presenta un mejor desempeño que RAIN4PE; sin embargo, dicho desempeño varía según la estación. En la estación meteorológicas terrestres Weberbauer - PISCO v2.1 alcanzan valores de NSE=0.958 y $r=0.979$, con un RMSE=10.076 mm y BIAS=-0.0066, evidenciando un ajuste muy alto y una mínima subestimación. En contraste, en Granja de Porcón- PISCO v2.1, aunque mantiene un buen desempeño (NSE=0.928 y $r=0.976$), presenta un mayor error (RMSE=26.788 mm) y un sesgo más marcado (BIAS=-0.125), lo que indica una mayor dificultad en la representación de la magnitud de la precipitación en zonas de mayor altitud y variabilidad. Por su parte, RAIN4PE muestra un comportamiento menos consistente entre estaciones, tendiendo a sobreestimar la precipitación en Weberbauer y a subestimarla en Granja de Porcón, además de presentar un menor ajuste en la variabilidad temporal en ambas estaciones. En conjunto, estos resultados evidencian que, aunque PISCO v2.1 es más confiable, su desempeño es superior en Weberbauer que en Granja de Porcón, lo que resalta la influencia de las condiciones locales en la precisión de los productos satelitales.

No se descarta al producto satelital RAIN4PE como un producto de comparación con respeto a la información de lluvia de las estaciones terrestres en estudio, por el contrario,

es un producto alternativo alta cercanía con los valores de lluvias terrestres.

RECOMENDACIONES

Debido a que la resolución espacial de los productos PISCO v2.1 y RAIN4PE es relativamente gruesa en relación con el tamaño de la cuenca, se recomienda la aplicación de técnicas de downscaling o corrección de sesgo espacial, con la finalidad de mejorar la representación de la variabilidad local de la precipitación, especialmente en zonas de mayor altitud.

v. REFERENCIAS

- [1] D. Baratta, G. Cicioni, F. Masulli, and L. E. Studer, "Application of an ensemble technique based on singular spectrum analysis to daily rainfall forecasting," *Neural Networks*, vol. 16, no. 3–4, pp. 375–387, Apr. 2003, doi: 10.1016/S0893-6080(03)00022-4.
- [2] Q. Sun, C. Miao, Q. Duan, H. Ashouri, S. Sorooshian, and K. L. Hsu, "A Review of Global Precipitation Data Sets: Data Sources, Estimation, and Intercomparisons," *Reviews of Geophysics*, vol. 56, no. 1, pp. 79–107, Mar. 2018, doi: 10.1002/2017RG000574;WGROU:STRING:PUBLICATION.
- [3] P. A. Kucera et al., "Precipitation from Space: Advancing Earth System Science," *Bull Am Meteorol Soc*, vol. 94, no. 3, pp. 365–375, Mar. 2013, doi: 10.1175/BAMS-D-11-00171.1.
- [4] G. T. Ayehu, T. Tadesse, B. Gessesse, and T. Dinku, "Validation of new satellite rainfall products over the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia," *Atmos Meas Tech*, vol. 11, no. 4, pp. 1921–1936, Apr. 2018, doi: 10.5194/AMT-11-1921-2018.
- [5] S. Rachidi, E. H. El Mazoudi, J. El Alami, M. Jadoud, and S. Er-Raki, "Assessment and Comparison of Satellite-Based Rainfall Products: Validation by Hydrological Modeling Using ANN in a Semi-Arid Zone," *Water* 2023, Vol. 15, Page 1997, vol. 15, no. 11, p. 1997, May 2023, doi: 10.3390/W15111997.
- [6] C. Toté, D. Patricio, H. Boogaard, R. van der Wijngaart, E. Tarnavsky, and C. Funk, "Evaluation of Satellite Rainfall Estimates for Drought and Flood Monitoring in Mozambique," *Remote Sensing* 2015, Vol. 7, Pages 1758–1776, vol. 7, no. 2, pp. 1758–1776, Feb. 2015, doi: 10.3390/RS70201758.
- [7] C. Y. Liu, P. Aryastana, G. R. Liu, and W. R. Huang, "Assessment of satellite precipitation product estimates over Bali Island," *Atmos Res*, vol. 244, p. 105032, Nov. 2020, doi: 10.1016/J.ATMOSRES.2020.105032.
- [8] E. Tarnavsky, D. Grimes, R., "Extension of the TAMSAT Satellite-Based Rainfall Monitoring over Africa and from 1983 to Present," *J Appl Meteorol Climatol*, vol. 53, no. 12, pp. 2805–2822, Dec. 2014, doi: 10.1175/JAMC-D-14-0016.1.
- [9] I. Jobard, F. Chopin, J. C. Berges, and R. Roca, "An intercomparison of 10-day satellite precipitation products during West African monsoon," *Int J Remote Sens*, vol. 32, no. 9, pp. 2353–2376, 2011, doi: 10.1080/01431161003698286.
- [10] C. A. Fernandez-Palomino, F. F. Hattermann, V. Krysanova, A. Lobanova, F. Vega-Jácome, W. Lavado, W. Santini, C. Aybar, y A. Bronstert, *Rain for Peru and Ecuador (RAIN4PE), vol. 1.0*, GFZ. 2021. doi: 10.5880/pik.2020.010.
- [11] Aybar, Cesar, Carlos Fernández, Adrian Huerta, Waldo Lavado, Fiorella Vega, and Oscar Felipe-Obando. "Construction of a High-Resolution Gridded Rainfall Dataset for Peru from 1981 to the Present Day." *Hydrological Sciences Journal* vol. 65, no. 5: pp. 770–85. 2020. doi: https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1649411
- [12] F. A. Asurza Véliz, C. L. Ramos Taipe, and W. S. Lavado Casimiro, "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*, vol. 9, no. 1, pp. 53–62, Mar. 2018, doi: 10.17268/SCI.AGROPECU.2018.01.06.