

**Ciencia Latina**  
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2024,  
Volumen 8, Número 3.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i3](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3)

**EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN Y APLICABILIDAD  
DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS  
PORTÁTILES DE BAJO COSTO EN LA VALIDACIÓN  
Y CALIBRACIÓN DE DATOS SATELITALES DE  
PRECIPITACIÓN EN CUENCAS NO MONITOREADAS**

**EVALUATION OF THE ACCURACY AND APLICABILITY OF  
LOW COST PORTABLE WEATRHER STATIONS IN THE VALIDATION  
AND CALIBRATION OF SATELLITE PRECIPITATION DATA  
IN UNMONITORED WATERSHEDS**

**Wilber Jesús Salinas**

Universidad San Francisco, Bolivia

**Juan Pablo Díaz Vargas**

Universidad San Francisco, Bolivia

**Carlos Antequera Encinas**

Investigador independiente, Bolivia

**Arlid Morales Cueto**

Investigador independiente, Bolivia

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i3.11951](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.11951)

## Evaluación de la Precisión y Aplicabilidad de las Estaciones Meteorológicas Portátiles de Bajo Costo en la Validación y Calibración de Datos Satelitales de Precipitación en Cuencas no Monitoreadas

**Wilber Jesús Salinas<sup>1</sup>**

[jesus.wilber@usfx.bo](mailto:jesus.wilber@usfx.bo)

<https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Universidad San Francisco

Xavier de Chuquisaca

Bolivia

**Juan Pablo Díaz Vargas**

[diaz.juan@usfx.bo](mailto:diaz.juan@usfx.bo)

<https://orcid.org/0000-0003-3053-3580>

Universidad San Francisco

Xavier de Chuquisaca

Bolivia

**Carlos Antequera Encinas**

[carlosantencinas@gmail.com](mailto:carlosantencinas@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0000-7125-0742>

Investigador Independiente

Bolivia

**Arlid Morales Cueto**

[arliddmc@gmail.com](mailto:arliddmc@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0008-6055-8942>

Investigador Independiente

Bolivia

### RESUMEN

La investigación evaluó el desempeño de registros satelitales de lluvia en comparación con mediciones en tierra en la ciudad de Sucre, Bolivia. Se encontró una buena correlación entre los datos satelitales de CHIRPS y JAXA con las mediciones terrestres, pero se observaron sesgos significativos que requieren corrección. La técnica de corrección de sesgo mejoró la precisión de las estimaciones satelitales, aumentando la correlación y el coeficiente de determinación. Sin embargo, persisten desafíos en la precisión, especialmente en la sobreestimación observada en los datos de JAXA. Además, se demostró la eficacia de un pluviómetro de bajo costo implementado en la estación USFX Tucsupaya, que mejora la resolución temporal de los registros de lluvia y reduce costos. Estos hallazgos resaltan la importancia de la corrección de sesgo y la fiabilidad del pluviómetro para la gestión del agua y la investigación hidrológica en regiones con recursos limitados.

**Palabras clave:** lluvia satelital, corrección de sesgo, pluviómetro de bajo costo, Sucre, Bolivia

---

<sup>1</sup> Autor Principal

Correspondencia: [jesus.wilber@usfx.bo](mailto:jesus.wilber@usfx.bo)

# **Evaluation of the Accuracy and Applicability of Low Cost Portable Weather Stations in the Validation and Calibration of Satellite Precipitation data in Unmonitored Watersheds**

## **ABSTRACT**

The research evaluated the performance of satellite rainfall records compared to ground measurements in Sucre, Bolivia. A good correlation was found between CHIRPS and JAXA satellite data and ground measurements, but significant biases requiring correction were observed. The bias correction technique improved the accuracy of satellite estimates, increasing correlation and coefficient of determination. However, challenges in accuracy persist, especially in the overestimation observed in JAXA data. Additionally, the effectiveness of a low-cost rain gauge implemented at the USFX Tucsupaya station was demonstrated, improving temporal resolution and reducing costs. These findings highlight the importance of bias correction and the reliability of the rain gauge for water management and hydrological research in resource-limited regions.

**Keywords:** satellite rainfall, bias correction, low-cost rain gauge, Sucre, Bolivia

*Artículo recibido 20 mayo 2024*

*Aceptado para publicación: 22 junio 2024*



## INTRODUCCIÓN

La precipitación es crucial en el ciclo hidrológico y en diversas actividades socioeconómicas, lo que requiere su correcta medición. En nuestro medio, la variabilidad espacial y temporal de la precipitación, junto con la baja densidad de estaciones meteorológicas, impulsa el uso de otras y novedosas maneras de aprovechar los datos existentes en la actualidad, como información de sensores remotos, de radares meteorológicos y de satélites (Blanco et al., 2023).

Ante la falta de registros suficientes de precipitación observada en superficie, se han desarrollado tecnología de sensores satelitales para estimar la lluvia a escala global. Aunque existen modelos de datos de precipitación basados en imágenes o productos satelitales, estos no detectan directamente el fenómeno y su relación con la precipitación es indirecta, involucrando varias variables. Las estimaciones satelitales suelen promediar áreas, lo que puede subestimar o sobrestimar eventos extremos. Dada la gran variabilidad de la precipitación y la incertidumbre en los datos satelitales, es necesario comparar estas estimaciones con mediciones pluviométricas de superficie para evaluar su precisión a nivel local y regional (Garay, 2021).

Alrededor del mundo, los productos satelitales se han utilizado como una alternativa aceptable y confiable para suplir la falta de datos de precipitación y dos de estos se refieren a la misión CHIRPS y JAXA (Rodríguez-Sucre et al., 2022), sobretodo en lugares carente de datos cercanos o simplemente no monitoreadas, sin embargo esto trae consigo un error que debe ser ajustado necesariamente.

En Bolivia, según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI, la densidad de estaciones pluviométricas es muy baja lo que dificulta obtener con precisión datos de precipitación, y esto conlleva fácilmente a errores de sobreestimación o subestimación de oferta de agua principalmente. Tan sólo en el departamento de Chuquisaca, existen menos de 50 estaciones meteorológicas en funcionamiento distribuidas en una extensión territorial de aproximadamente 51524 Km<sup>2</sup>, a esto se añade el problema de que la mayor cantidad de estudios de oferta de agua para distintos usos se los realiza en microcuencas que van desde 1 hasta menores a 100 Km<sup>2</sup>.

El objetivo de esta investigación fue validar los productos satelitales mediante datos de precipitación observados in situ mediante un pluviómetro automático portátil de bajo costo con el fin de evaluar el desempeño de estas estimaciones satelitales en las temporalidades diaria y mensual y por otro lado la

investigación permitió evaluar la fiabilidad del sensor automático para registrar eventos de precipitación y lograr mediciones de precipitación acumulada con una exactitud aceptable, asemejando la metodología utilizada por Flores y Garay (2024) para garantizar la continuidad de los registros históricos de precipitación así como corroborar el desempeño del sensor automático durante eventos extremos, tanto de lluvias máximas como mínimas donde se analizaron las mediciones horarias, diarias y mensuales.

Para poder lograr lo anterior y poder contrastar los registros del sensor automático en tierra que, entre otras ventajas además de su costo, su precisión, facilidad de aplicación, este puede ser desplazado a cualquier sector de interés, sin embargo, para constatar estas ventajas, se buscó una zona donde se cuente con toda la información en tierra y espacial, tal que se puede ajustar la información proveniente de los productos satelitales y los de las estaciones meteorológicas cercanas.

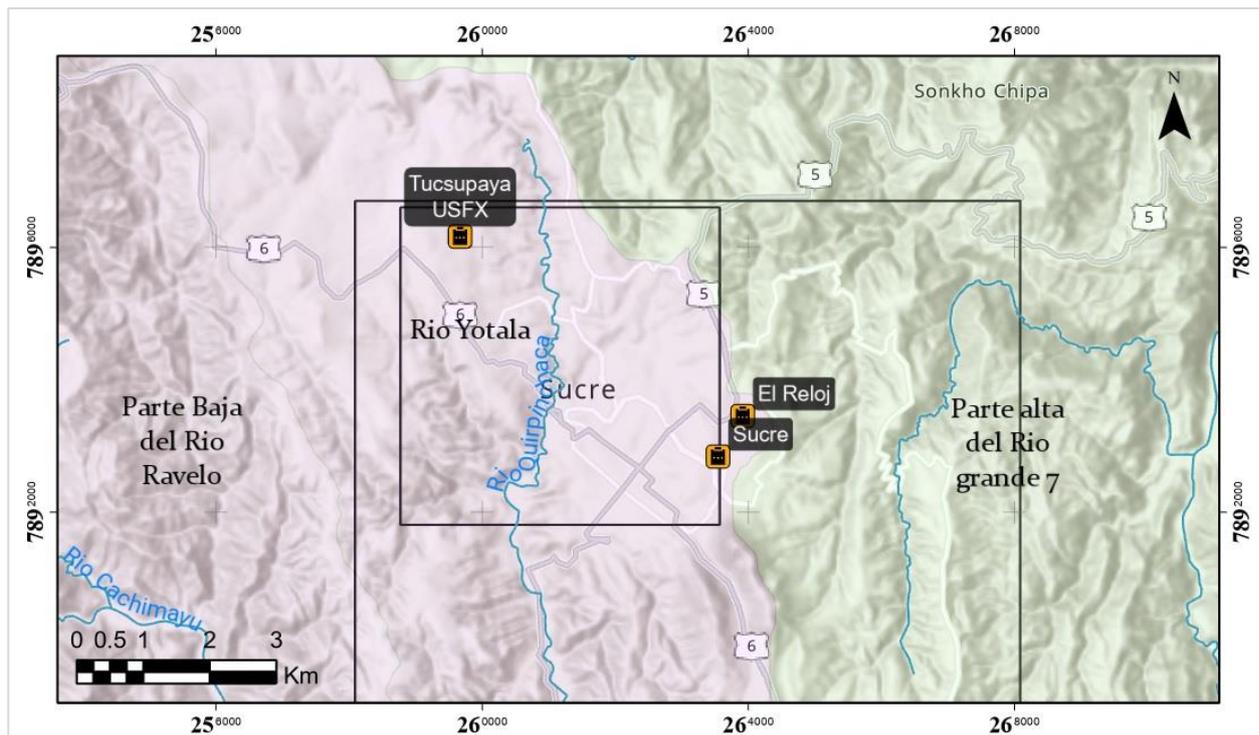
## **METODOLOGÍA**

### **Área de Estudio**

Dadas las características de la investigación, así como la metodología asumida, la zona de estudio elegida fue la ciudad de Sucre ubicada en el departamento de Chuquisaca y se constituye en la capital constitucional del estado boliviano; considerando aspectos como la cercanía a estaciones meteorológicas con registro histórico y continuo para la corroboración y validación de información en tierra mediante el pluviómetro automático de bajo costo, y así evaluar dichos datos respecto a los productos satelitales obtenidos.

El trabajo de recolección de datos en el lugar seleccionado, fue realizado durante el período de lluvias en un lapso de 6 meses, desde noviembre 2023 hasta abril de 2024 con mediciones realizadas de forma directa y automática cada hora en la zona de Tucsupaya (pluviómetro automático), así como desde la base de datos del SENAMHI para las estaciones meteorológicas cercanas conocidas con los nombres de Estación Meteorológica Sucre y Estación Meteorológica El Reloj, como se muestran en el siguiente mapa:

**Figura 1.** Mapa de ubicación de estaciones Meteorológicas de tierra



Fuente: Los autores

### Datos de precipitación por productos satelitales

Por otro lado, en este estudio se utilizó el producto satelital Climate Hazards Group InfraRed Precipitation (CHIRP). Este satélite fue desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) en colaboración con el Climate Hazards Group de la Universidad de California. CHIRP emplea estimaciones de lluvia obtenidas mediante satélites de Infrarrojo Termal (TIR) combinadas con datos satelitales globales proporcionados por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) para generar el conjunto de datos de precipitaciones. El producto CHIRP tiene el potencial de proporcionar estimaciones satelitales casi en tiempo real con una resolución espaciotemporal relativamente alta, cubriendo regiones entre las latitudes 50° S y 50° N y todas las longitudes (Goshime et al., 2019). Los conjuntos de datos de precipitaciones CHIRP están disponibles de manera libre y gratuita desde 1981 hasta casi el presente en la siguiente dirección

<https://app.climateengine.org/climateEngine>.

En el presente trabajo se utilizaron las estimaciones de lluvia CHIRP diarias con una escala espacial de 0.05° × 0.05° para el período 1984-2024

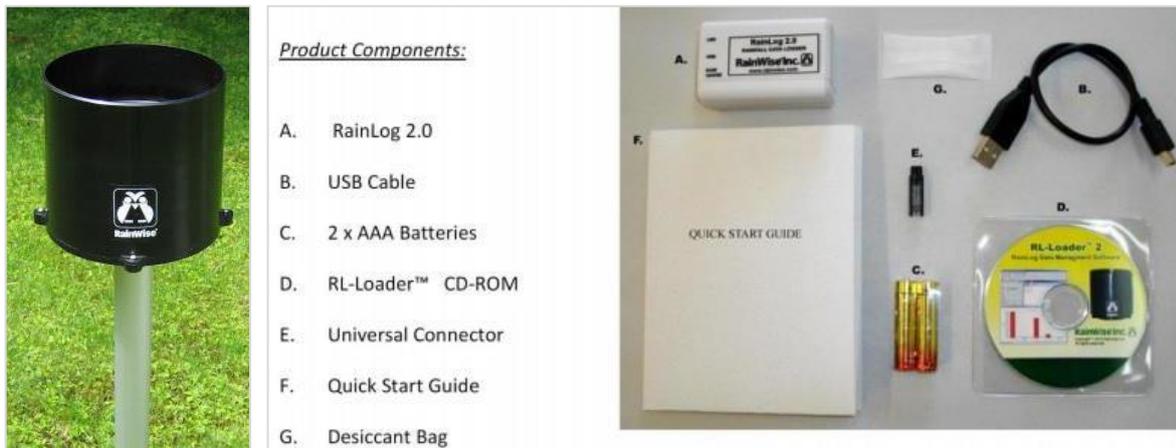
Por otro lado, se utilizaron datos de precipitación de GSMAP que según el sitio

<https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/>, GSMaP es un conjunto de datos de mapas globales de lluvia por hora, una versión de reanálisis del producto en tiempo casi real por la agencia espacial Japonesa JAXA Global Rainfall Watch para estudios meteorológicos y climáticos. Diferentes productos forman parte de GSMaP, entre ellos el producto de Reanálisis calibrado con pluviómetros GSMaP\_Gauge\_RNL v6. La variable principal es la tasa de lluvia y la tasa de lluvia calibrada con pluviómetros en mm/h, convertida a unidades estándar en la versión netcdf. La cuadrícula global utilizada, está limitada de 60°N a 60°S con una resolución de 0.1 grados de latitud/longitud. La resolución temporal es de hasta 1 hora (promediada de 00 minutos a 59 minutos). La versión actual del algoritmo es la 7. El período analizado para el producto fue desde el año 2000 al presente

### **Datos de precipitación en tierra**

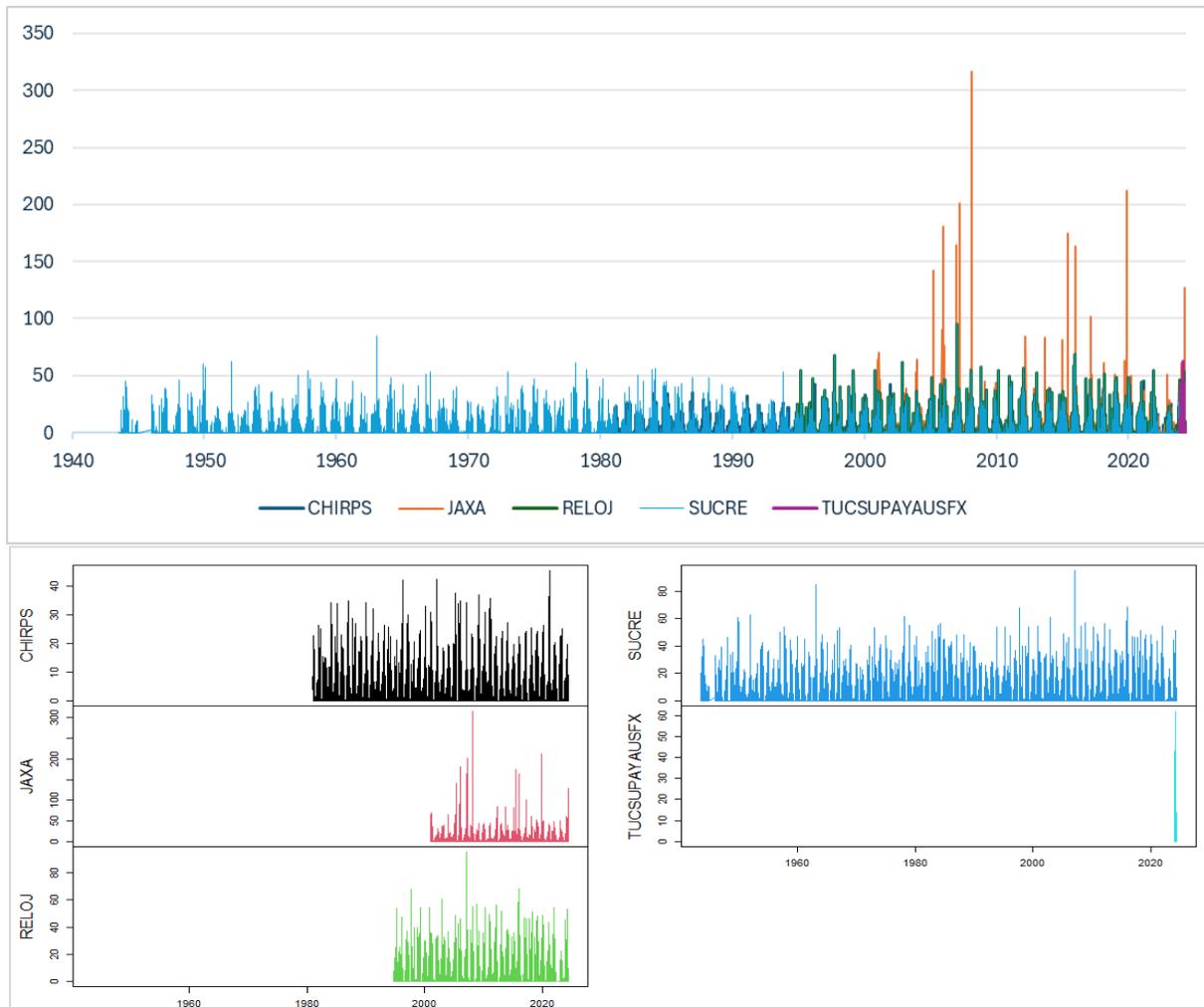
Los datos de precipitación en tierra como se mencionó fueron obtenidos de dos fuentes, una directa mediante el pluviómetro digital portátil de bajo costo y otra de manera indirecta a través de la información disponible de las estaciones meteorológicas existentes cercanas al sector de estudio. El estudio contó con el equipo pluviómetro digital RainLogger que es un paquete completo que contiene un registrador de datos RainLog, el software RL-Loader 2 y un colector de lluvia de polipropileno y un mástil de montaje. El pluviómetro del cubo de inclinación está calibrado a 0.01 pulgadas / 0.25 mm por punta. Este equipo fue adquirido por el equipo de investigación, gracias al apoyo de la Universidad Mayor de San Francisco Xavier de Chuquisaca, a través de su Dirección de Ciencia y Tecnología DyCIT en el marco de la convocatoria a concurso de investigación denominada “Semilla”. Como se mencionó, el período de toma de datos en tiempo real de manera automática fue de 6 meses desde noviembre de 2023 hasta abril de 2024, mientras que los otros datos de tierra con fuente del SENAMHI, fueron desde 1943 a abril de 2024 para el caso de la estación meteorológica Sucre y desde 1995 hasta abril de 2024 para el caso de la estación meteorológica El Reloj.

**Figura 2.** (a) Pluviómetro digital RainLogger; (b) Componentes del adicionales al Pluviómetro



Fuente: Los autores

**Figura 3.** Series Históricas de Precipitación de las 5 estaciones de análisis utilizadas en la investigación



Fuente: Los autores.

## Metodología de validación

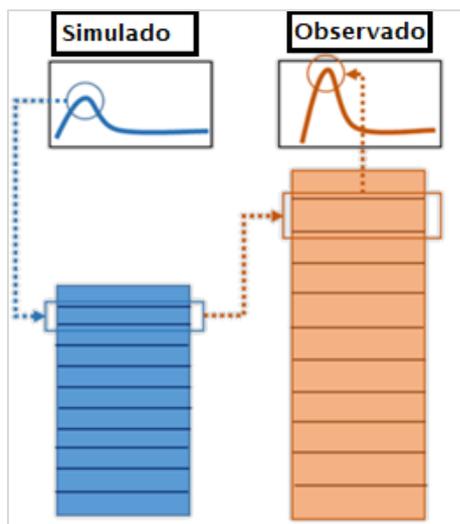
De acuerdo con la bibliografía consultada las estimaciones de lluvia por satélite están sujetas a errores sistemáticos sustanciales. Estos errores pueden generar incertidumbre en los resultados de precipitación analizados, lo que podría resultar en una subestimación o sobreestimación de los caudales generados en caso de un estudio hidrológicos y hasta podrían no proporcionar estimaciones fiables a la hora evaluar las características de las cuencas en estudio. Por lo tanto, los sesgos en la estimación de lluvia deben corregirse antes de que puedan usarse como entrada en un modelo hidrológico para la simulación del caudal (Goshime et al., 2019). En este estudio, el sesgo de la estimación satelital CHIRPS y JAXA se corrigieron utilizando el método de corrección de sesgo mediante el mapeo de cuantiles.

Según Hamlet et al. (2020), la corrección de sesgo más sencilla corrige una discrepancia sistemática en la media "reescalando" la media de las simulaciones para que coincida con las observaciones. De manera similar, una discrepancia entre la varianza de las simulaciones y las observaciones se puede corregir asumiendo una distribución de probabilidad (como la distribución normal) y mapeando las anomalías normalizadas (es decir, desviaciones estándar de la media) entre las poblaciones simuladas y observadas. Sin embargo, en muchos casos, la forma real de las distribuciones de probabilidad de los datos simulados y observados no se conoce con certeza y las dos distribuciones de probabilidad no necesariamente tienen la misma forma ni se comportan estadísticamente bien. En estos casos, se puede utilizar un esquema de corrección de sesgo basado en cuantiles para "traducir" entre las poblaciones simuladas y observadas.

En esta técnica de mapeo de cuantiles, se utilizan datos simulados y observados que cubren el mismo período de registro para crear un "mapa de cuantiles" de cada población utilizando un estimador de cuantiles no sesgado aplicado a los datos ordenados, es decir un valor simulado es la entrada del proceso y se asocia con un cuantil particular en la distribución simulada, es decir, el valor simulado a corregir por sesgo está asociado con el percentil X en la distribución simulada. Este mismo percentil se extrae de la distribución observada, es decir, se identifica el percentil X en la distribución observada) y este cuantil en la distribución observada se convierte en el valor corregido por sesgo.

Si los valores simulados que se van a corregir por sesgo provienen de la misma población que los datos simulados de entrenamiento, se espera que este esquema de corrección de sesgo traduzca los datos simulados de manera que la distribución de probabilidad de los valores corregidos por sesgo se asemeje estrechamente a la de los datos de entrenamiento observados. Si un grupo de valores simulados contiene una "señal" particular, el proceso de traducción tenderá a reproducir en la salida las señales presentes en la entrada

**Figura 4.** Representación del mapeo de cuartiles para la corrección del sesgo (BIAS)



Fuente: Adaptado de Hamlet et al. (2020)

Por otro lado, en la presente investigación se utilizó el paquete *Biascorrection del lenguaje R* para aplicarlo con los datos de entrada observados en tierra y los simulados que, en nuestro caso, fueron los obtenidos por la data base de los satélites para los productos de precipitación utilizados.

Posteriormente se validó el desempeño de la precipitación estimada por satélite respecto a de la medida por el pluviómetro portátil mediante diversos estadísticos descriptivos y categóricos mediante tablas de contingencia y umbrales predefinidos, entre los que podemos mencionar:

- Coeficiente de correlación de Pearson: utilizado para medir el grado de relación lineal entre la precipitación observada y cada uno de los productos estimados por satélite, Se calcula comparando la covarianza de las dos variables con sus desviaciones estándar individuales. El valor de "r" oscila entre -1 y 1.
- BIAS o sesgo: usado para medir el porcentaje de subestimación o sobrestimación entre los valores de precipitación observada y cada uno de los productos estimados por satélite, BIAS = 0: Indica que

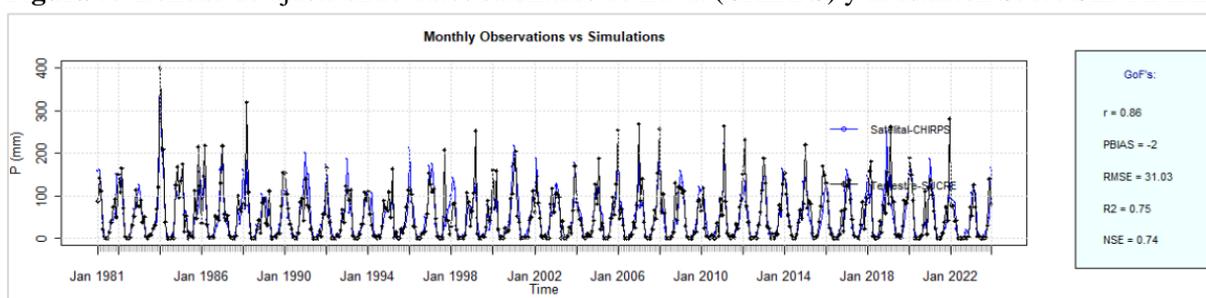
no hay sesgo, es decir, los valores simulados son iguales a los observados en promedio.

- RMSE (Raíz del error cuadrático medio): utilizado para medir la diferencia promedio entre los valores de precipitación observada y cada uno de los productos estimados por satélite.
- R2: El coeficiente de determinación (R2) indica la proporción de la variabilidad total de la variable dependiente que es explicada por la variable independiente. Se calcula como el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson. Su valor oscila entre 0 y 1.
- La eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) es una medida de la eficiencia del modelo en la simulación de los valores observados. Se calcula como la diferencia entre uno y la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores simulados y observados, dividida por la suma de los cuadrados de las diferencias entre la media de los valores observados y los valores observados. Su valor oscila entre  $-\infty$  y 1.

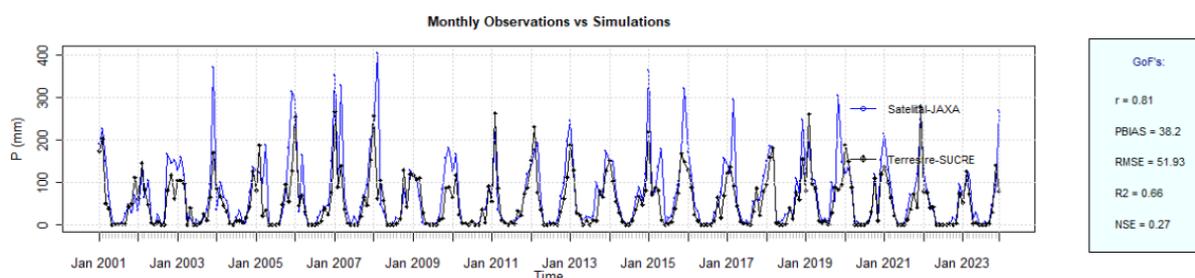
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez se realizaron las mediciones y procesamiento de datos obtenidos de los satélites, así como de las estaciones meteorológicas disponibles, se procedió con analizar los datos obtenidos comparando primero los datos CHIRPS con los datos de la estación Sucre del SENAMHI, posteriormente los datos JAXA con los datos de tierra de la misma estación Sucre.

**Figura 5.** Bondad de ajuste entre datos satelitales de lluvia (CHIRPS) y la estación Sucre SENAMHI



**Figura 6.** Bondad de ajuste entre datos satelitales de lluvia (JAXA) y la estación Sucre SENAMHI



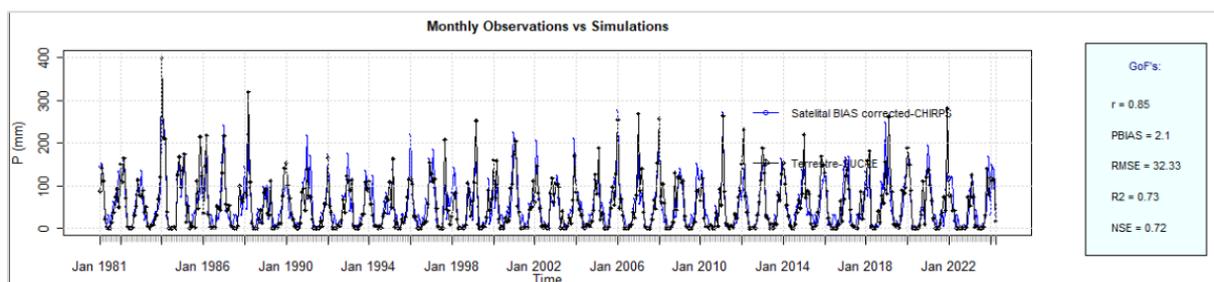
Se ha demostrado inicialmente que la correlación entre los registros históricos de JAXA y CHIRPS y los registros terrestres de la Estación Sucre SENAMHI, cuentan con una buena correlación con valores superiores a 0.8; por su parte CHIRPS presenta un sesgo negativo de (-2) lo que indica que esta fuente tiende a subestimar ligeramente la cantidad de datos de lluvia en comparación con los registros en tierra, respecto al error cuadrático medio RMSE el ajuste es moderado, en cuanto a los valores de R2 y NSE son valores que se aproximan a (1), lo que indica que la precipitación satelital explica de manera apropiada la variabilidad de los registros terrestres.

Considerando que Sucre, Bolivia, se encuentra a una altitud de 2700 msnm y por lo mencionado por Rivera et al. (2018), los datos de CHIRPS reproducen efectivamente la variabilidad estacional e interanual y los patrones espaciales de precipitación en los Andes centrales de Argentina, pero sobreestiman los totales de precipitación estacional en áreas por encima de los 1000 msnm por lo que existe la necesidad de ajustes adicionales para mejorar la precisión de las estimaciones satelitales en esta región montañosa.

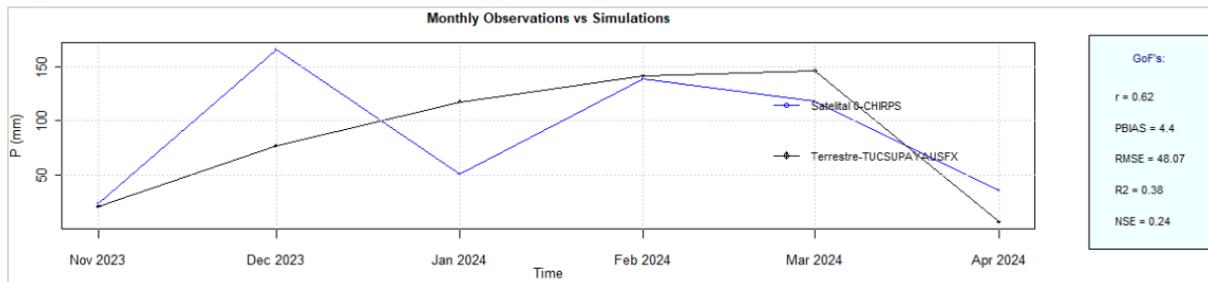
Los registros de lluvia diaria satelital de JAXA presentan un sesgo positivo lo cual indica que tiende a sobreestimar los valores de lluvia en comparación a los registros terrestres, respecto al error cuadrático medio RMSE el ajuste es aceptable, Tanto R2 como NSE son moderados (0.66 y 0.27 respectivamente) esto indica que existe una capacidad moderada de los datos satelitales para representar la variabilidad de los datos terrestres.

Una vez realizadas las comparaciones se realizaron las correcciones mediante el paquete *Biascorrection del lenguaje R* con el fin de reducir el sesgo entre ambas fuentes de datos analizados. Como se muestra en la **Figura 7**, no existe una mejora sustancial en las métricas ocasionando un cambio leve a sobreestimar los valores de lluvia mensual de la serie histórica.

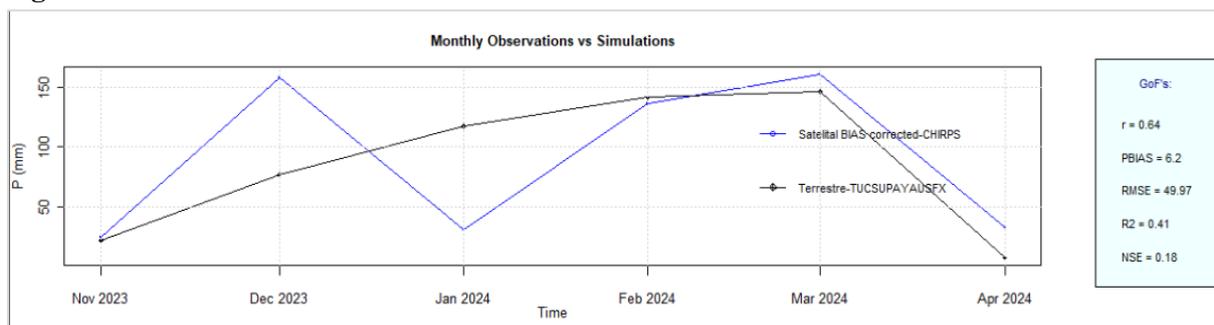
**Figura 7.** Corrección de sesgo en CHIRPS serie histórica



**Figura 8.** Sin corrección último año CHIRPS - USFX

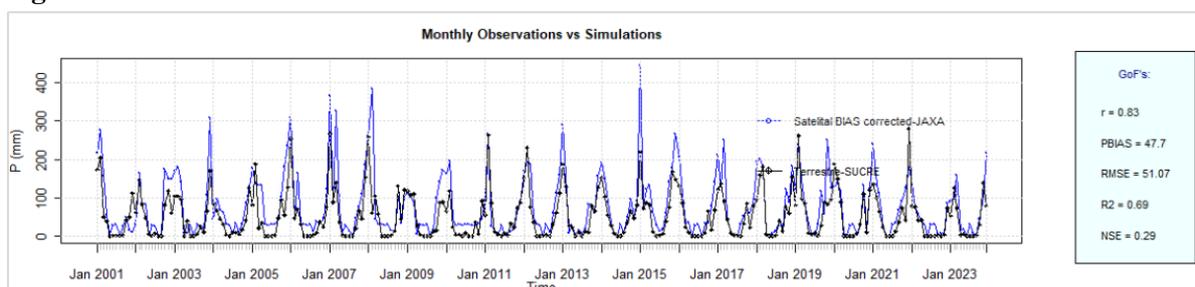


**Figura 9.** Corrección último año CHIRPS - USFX



En la comparación de registros de lluvia satelital CHIRPS e Histórica de la estación pluviométrica Tucsupaya USFX observamos que una vez realizada la corrección de sesgo el valor de  $r$  mejora levemente pasando de 0.62 a 0.64, el valor de PBIAS se incrementa levemente de 4.4 a 6.2, en cuanto al coeficiente de determinación ( $R^2$ ) se observa un incremento, lo que indica una sobreestimación ligeramente mayor y una discrepancia ligeramente mayor entre los datos corregidos y las mediciones terrestres.

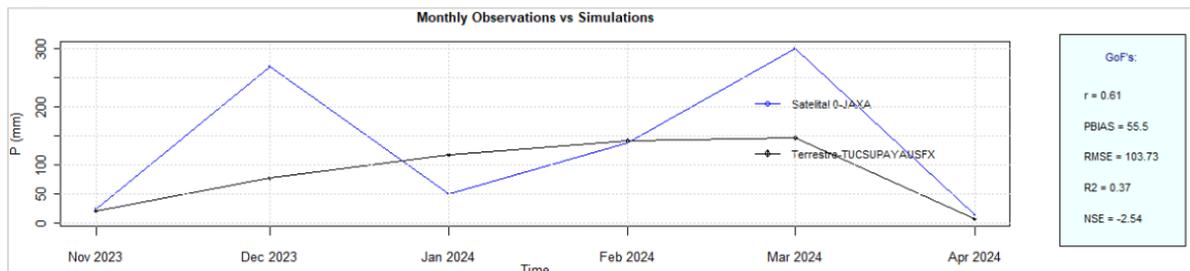
**Figura 10.** Corrección JAXA – SUCRE Serie histórica



Los registros de lluvia ajustados muestran una mejora en el coeficiente de correlación, el coeficiente de determinación y el coeficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe después de la corrección de sesgo, lo que sugiere que la corrección ha ayudado a mejorar la relación entre los datos satelitales y las mediciones terrestres. Sin embargo, el sesgo es más alto en el caso de la corrección de sesgo en comparación con

los datos históricos, lo que indica una tendencia a la sobreestimación. A pesar de estas mejoras, los valores de RMSE siguen siendo bastante altos en ambos casos, lo que sugiere una discrepancia significativa entre los datos satelitales y terrestres.

**Figura 11.** Sin corrección último año JAXA-SUCRE



**Figura 12.** Corrección último año JAXA-TUCSUPAYA



En la comparación de registros Históricos y con corrección de sesgo para la estación Tucsupaya se observa una mejora significativa en el coeficiente de correlación después de la corrección de sesgo, con un aumento del 0.15 (de 0.61 a 0.76). Aunque el sesgo disminuye ligeramente después de la corrección, sigue siendo bastante alto en ambos casos, con valores de 55.5 y 52 respectivamente. Esto sugiere una tendencia consistente a la sobreestimación por parte de JAXA.

Como muestra Barrett, E., (1970), los datos satelitales pueden proporcionar mapas de precipitaciones mensuales más precisos que las mediciones de superficie convencionales, con posibles aplicaciones en la investigación del ciclo hidrológico global, lo que respalda la utilidad de los datos satelitales, como CHIRPS y JAXA, en la evaluación de la precipitación en áreas remotas o con escasa cobertura de estaciones meteorológicas, como es el caso de Sucre, Bolivia.

Además, los datos de lluvia del satélite CHIRPS han demostrado ser una alternativa confiable a las observaciones terrestres en regiones escasamente pobladas como el noreste de Brasil (Paredes-Trejo, F., Barbosa, H., Kumar, T., Thakur, M. y Buriti, C., 2020). Este hallazgo resalta el potencial de los

datos satelitales para complementar y mejorar la monitorización de la precipitación en áreas con limitaciones en la disponibilidad de datos terrestres, como es el caso de Sucre, Bolivia.

**Figura 13.** Comparación de resultados obtenidos

Nº	Satelital	tipo	Terrestre	Año inicio	Año fin	r	Bias	RMSE	R2	NSE
1	CHIRPS	Histórico	SUCRE SENAMHI	1981	2023	0.86	-2	31.03	0.75	0.74
2	JAXA	Histórico	SUCRE SENAMHI	2001	2023	0.81	38.2	51.93	0.66	0.27
3	CHIRPS	Corrección de sesgo	SUCRE SENAMHI	1981	2023	0.85	2.1	32.33	0.73	0.72
4	CHIRPS	Histórico	USFX Tucsupaya	nov_2023	abr_2024	0.62	4.4	48.07	0.38	0.24
5	CHIRPS	Corrección de sesgo	USFX Tucsupaya	nov_2023	abr_2024	0.64	6.2	49.97	0.41	0.18
6	JAXA	Corrección de sesgo	SUCRE SENAMHI	1981	2023	0.83	47.7	51.07	0.69	0.29
7	JAXA	Histórico	USFX Tucsupaya	nov_2023	abr_2024	0.61	55.5	103.73	0.37	-2.54
8	JAXA	Corrección de sesgo	USFX Tucsupaya	nov_2023	abr_2024	0.76	52	76.88	0.57	-0.95

## CONCLUSIONES

La investigación realizada evalúa el desempeño de registros satelitales de lluvia comparando estos con mediciones en tierra, teniendo como zona de estudio la ciudad de Sucre, Bolivia. Se encontró que para los valores satelitales de CHIRPS y JAXA muestran una buena correlación con las mediciones de lluvia en las estaciones pluviométricas de SUCRE SENAMHI y TUCSUPAYA USFX, sin embargo se observan sesgos significativos en los datos satelitales no corregidos, por lo que se resalta la importancia de la corrección de este sesgo para mejorar la precisión de las estimaciones satelitales de lluvia. La aplicación de la técnica de corrección de sesgo requiere años completos de mediciones para cálculo del Sesgo y realizar los ajustes adecuados, esta metodología permitió mejorar algunos parámetros del desempeño de los datos satelitales. Por ejemplo, después de la corrección de sesgo, el valor de correlación ( $r$ ) entre los registros de CHIRPS y las mediciones terrestres aumentó de 0.62 a 0.64, y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) aumentó de 0.38 a 0.41. En el caso de JAXA, se observó un aumento similar en la correlación, de 0.61 a 0.76 y en el coeficiente de determinación de 0.37 a 0.57.

Es importante destacar que la precisión de los conjuntos de datos de precipitación obtenidos por satélite puede variar según la región y la estación (Zambrano, F., Wardlow, B. y Tadesse, T., 2016). En el contexto de esta investigación, se observa que los datos satelitales CHIRPS y JAXA muestran una buena correlación con las mediciones terrestres, pero persisten sesgos significativos que requieren correcciones para mejorar su utilidad en aplicaciones hidrológicas y climáticas. A pesar de estas mejoras, con la corrección de sesgo, persisten desafíos en la precisión de las estimaciones,

especialmente en la sobreestimación observada en los datos de JAXA. Esto subraya la necesidad de continuar refinando los métodos de corrección de sesgo y validar los datos satelitales con mediciones terrestres para garantizar su fiabilidad en aplicaciones hidrológicas y climáticas.

La estación USFX Tucsupaya ha implementado con éxito un pluviómetro de bajo costo, Considerando los hallazgos obtenidos en esta investigación y la referencia proporcionada por Williams y Erdman (1987) se demuestra que se mejora la resolución temporal, reduce costos y acorta el tiempo de análisis de datos en comparación con los pluviómetros tradicionales. Además, tras la corrección de sesgo, se observa una mejora en las métricas de correlación entre los datos obtenidos por satélite y los de la estación meteorológica terrestre. Estos hallazgos resaltan la fiabilidad del dispositivo en la medición de la precipitación y su valor como herramienta eficiente para la gestión del agua y la investigación hidrológica, especialmente en regiones con recursos limitados.

Es necesario sin embargo continuar con las mediciones con equipos pluviométricos de bajo costo, por lo menos en un año hidrológico completo donde sea aplicado, con el fin de determinar el sesgo promedio de una zona de estudio con el fin de posteriormente se pueda utilizar toda la serie historia satelital con la certeza de que los datos satelitales aplicados en los estudios son los más parecidos a los reales, sobre todo en las regiones y cuencas no monitoreadas y de difícil acceso.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- Barrett, E. (1970). The estimation of monthly rainfall from satellite data. \*Monthly Weather Review, 98\*(5), 322-327. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1970\)098<0322:TEOMRF>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1970)098<0322:TEOMRF>2.3.CO;2)
- Paredes-Trejo, F., Barbosa, H., Kumar, T., Thakur, M., & Buriti, C. (2020). Assessment of the CHIRPS-based satellite precipitation estimates. In \*Inland Waters - Dynamics and Ecology\*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.91472>
- Rivera, J., Marianetti, G., & Hinrichs, S. (2018). Validation of CHIRPS precipitation dataset along the Central Andes of Argentina. \*Atmospheric Research, 213\*, 437-449. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.06.023>
- Williams, R., & Erdman, M. (1987). Low-cost computer interfaced rain gauge. \*Computers and Electronics in Agriculture, 2\*(1), 67-73. [https://doi.org/10.1016/0168-1699\(87\)90018-4](https://doi.org/10.1016/0168-1699(87)90018-4)



- Zambrano, F., Wardlow, B., & Tadesse, T. (2016). Evaluating satellite-derived long-term historical precipitation datasets for drought monitoring in Chile. In P. J. Wilfred (Ed.), \*Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering\* (Vol. 9998).  
<https://doi.org/10.1117/12.2241032>
- Blanco, M., Demaria, E., Pima County Regional Flood Control District, Tucson, AZ, USA, & Cazenave, G. (2023). Validación y corrección de estimaciones de precipitación satelital utilizando observaciones en superficie en la región pampeana argentina. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 14(2), 110-168. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-14-02-04>
- Flores, K., & Garay, N. (2024). *Métodos propuestos para la evaluación de datos de precipitación medidos en estaciones automáticas*.
- Garay, D. D. (2021). *Análisis comparativo entre datos anuales de precipitación estimada por satélite y observaciones pluviométricas de los Llanos de La Rioja*.
- Goshime, D. W., Absi, R., & Ledésert, B. (2019). Evaluation and Bias Correction of CHIRP Rainfall Estimate for Rainfall-Runoff Simulation over Lake Ziway Watershed, Ethiopia. *Hydrology*, 6(3), 68. <https://doi.org/10.3390/hydrology6030068>
- Hamlet, A. F., Snover, A., & Lettenmaier, D. P. (2020). *Climate Change Scenarios for Pacific Northwest Water Planning Studies: Motivation, Methodologies, and a User's Guide to Applications*.
- Rodriguez-Sucre, A., Castrellom, M., & Tejedor-Flores, N. (2022). Validación de datos satelitales de precipitación en cuencas seleccionadas de Panamá. *REVISTA HIDROLATINOAMERICANA*, 6.