

Fecha de recibido: 08-08-2024

Fecha de aceptado: 11-04-2025

DOI: 10.22490/21456453.8484

ANÁLISIS ESPACIOTEMPORAL DE ESTIMACIONES DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURAS DE CHIRPS Y WORLDCLIM EN LA CUENCA DEL RÍO SONORA, MÉXICO

SPATIO TEMPORAL ANALYSIS OF MONTHLY PRECIPITATION AND TEMPERATURE ESTIMATES FROM CHIRPS AND WORLDCLIM IN THE SONORA RIVER BASIN, MEXICO

Ildefonso Narváez-Ortiz¹

Rocío Alexandra Ortiz-Paz²

Claudio César Hernández-Vásquez³

Citación: Narváez-Ortiz, I., Ortiz-Paz, R. y Hernández-Vásquez, C. (2026). Análisis espacio temporal de estimaciones de precipitación y temperaturas de Chirps y WorldClim en la cuenca del río Sonora, México. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 17(1), 319 - 343. <https://doi.org/10.22490/21456453.8484>

¹Ingeniero agroforestal, Ph. D, Mg, Programa de Ingeniería Agroforestal - Universidad Internacional del Trópico Americano, Yopal, Casanare, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-4988-8886>
ildenarvaez@unitropico.edu.co

²Ingeniera Agroforestal, MSc, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia, C.I La Selva, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0003-3931-8780> rortizp@agrosavia.co

³Ingeniero en Recursos Naturales, Ph. D, Universidad Autónoma Chapingo, Edo México, México.
<https://orcid.org/0000-0003-2945-2118> claudiahdezvqz@gmail.com

RESUMEN

Contextualización: se analizan las estimaciones de precipitación y temperatura en la cuenca del río Sonora, México, utilizando datos ráster de Chirps y WorldClim. Con estas plataformas se puede suplir la ausencia de datos debido a la baja o nula instrumentación, aportando información para la planificación y toma de decisiones a nivel territorial.

Vacío de conocimiento: a pesar de la información generada a partir de sensores remotos que facilitan la interpolación y estimación de variables climáticas en áreas sin mediciones directas, persisten dudas sobre la precisión de los datos interpolados en rás-
ters en comparación con los registros climatológicos obtenidos en tierra, especialmente en áreas de baja densidad de estaciones y diversidad geográfica.

Propósito: el objetivo principal es evaluar la precisión de las estimaciones de precipitación de Chirps y de las temperaturas máxima y mínima de WorldClim, usando registros mensuales de 19 estaciones climatológicas

en la cuenca del río Sonora durante el periodo 1981-2013.

Metodología: se recopilaron datos de Chirps y WorldClim, comparándolos con registros de estaciones climatológicas mediante el Valor Absoluto del Error Relativo (PBIAS) y la relación de la Desviación Estándar (RSR). Se utilizaron rutinas de código en R.

Resultados y conclusiones: los resultados muestran que las estimaciones de Chirps y WorldClim presentan un ajuste “Bueno” a “Muy bueno”. No obstante, se identificaron casos de subestimación y sobreestimación principalmente en las temperaturas. Las estimaciones de temperaturas mostraron un alto grado de ajuste, mientras que las de precipitación fueron más dispersas. Las plataformas con datos en ráster son confiables para estudios climáticos y de planificación en la región.

Palabras clave: clima, interpolación, baja instrumentación, estaciones climatológicas, ráster

ABSTRACT

Contextualization: The precipitation and temperature estimates in the Sonora River Basin, Mexico, are analyzed using Chirps and WorldClim raster data. These platforms help compensate for the lack of data due to low or nonexistent instrumentation, providing valuable information for territorial planning and decision-making.

Knowledge Gap: Despite the information generated from remote sensors that facilitate the interpolation and estimation of climate variables in areas without direct measurements, uncertainties persist regarding the accuracy of interpolated raster data compared to ground-based climatological records, especially in regions with low station density and diverse geographical features.

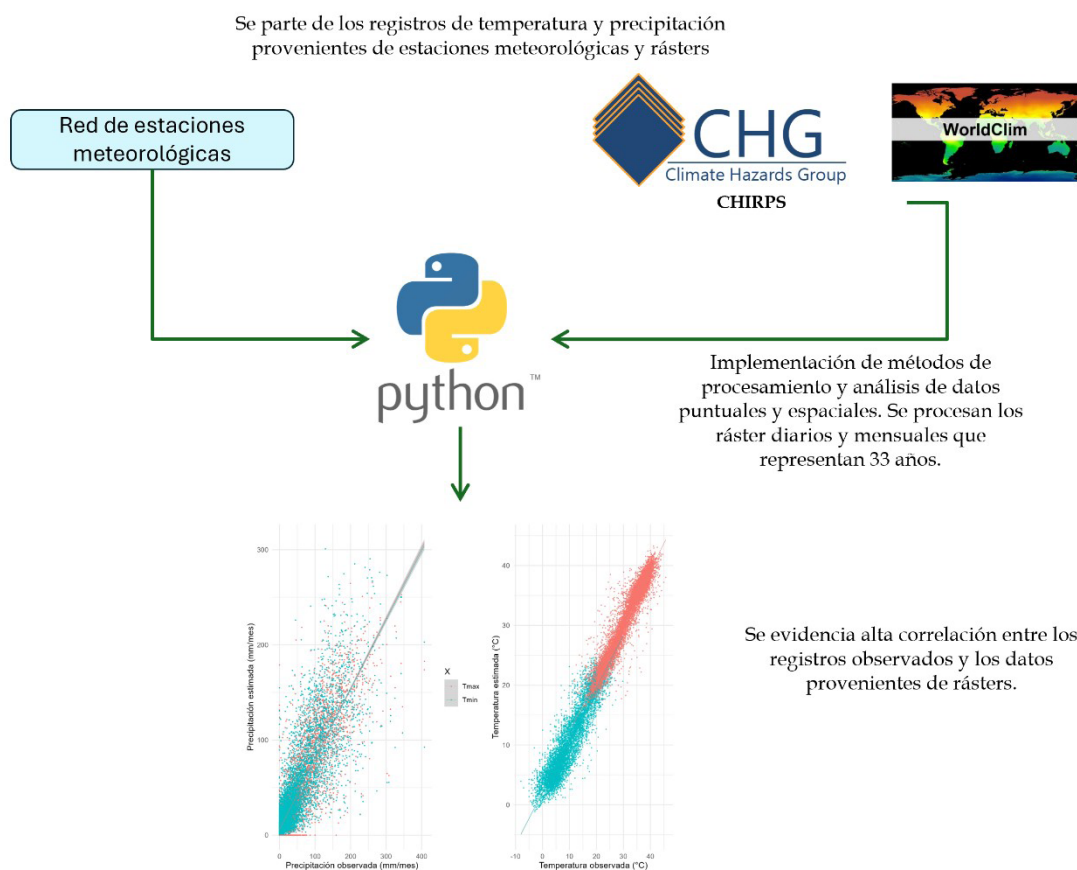
Purpose: The main objective is to assess the accuracy of Chirps precipitation estimates and WorldClim maximum and minimum temperature estimates using monthly records from 19 climatological stations in the Sonora River Basin during the period 1981–2013.

Methodology: Data from Chirps and WorldClim were collected and compared with climatological station records using the Percentage Bias (PBIAS) and the Standard Deviation Ratio (RSR). R programming routines were used for analysis.

Results and Conclusions: The results show that Chirps and WorldClim estimates exhibit a “Good” to “Very Good” fit. However, cases of underestimation and overestimation were identified, primarily in temperature estimates. Temperature estimates showed a high degree of accuracy, whereas precipitation estimates displayed greater dispersion. Raster-based data platforms are reliable for climate studies and planning in the region.

Keywords: Climate, Interpolation, Low instrumentation, Climatological stations, Rasters.

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores

1 INTRODUCCIÓN

La forma tradicional para obtener datos climatológicos necesarios para el estudio de fenómenos hidrometeorológicos como las sequías e inundaciones es mediante las observaciones de los registros de las estaciones climatológicas *in situ*. Este método empleado durante años presenta serias limitaciones, tanto espaciales como temporales, debido a que no existe uniformidad en la distribución geográfica de las estaciones; ade-

más, en muchos de los casos, los registros climatológicos presentan errores de captura y ausencia de datos (Dinku, 2019; Infante y Zárata, 2012). Los datos faltantes son un problema recurrente en la mayoría de las estaciones climatológicas de México y ocasionan limitaciones a la hora de hacer análisis y modelación. La Organización Meteorológica Mundial (OMM), en su *Guía de prácticas climatológicas* (OMM, 2018), ofrece in-

formación detallada sobre diversos métodos para datos faltantes, pero requieren de un análisis particular y detallado de uso y forma de aplicación (Herrera Oliva et al., 2017).

En México, para obtener datos de temperatura y precipitación, a menudo se recurre a los registros de estaciones meteorológicas; sin embargo, las plataformas Chirps y WorldClim son herramientas de origen satelital para acceder a registros climatológicos históricos confiables, cuasi globales de alta resolución espaciotemporal (Paredes Trejo et al., 2016; Paredes-Trejo et al., 2021; Zakeri & Mariethoz, 2024). Chirps y WorldClim están siendo utilizadas con mayor frecuencia en estudios de aprovechamiento de recursos hídricos, de planeación en cultivos y ganadería (Romero & Alfaro, 2024; Romero-Hernández et al., 2024; Shumilo & Skakun, 2024); también, son importantes en el monitoreo de sequías (Tikuye et al., 2024) y, en la estimación de recarga de agua subterránea (Belay et al., 2024).

A nivel mundial, se han realizado diversos estudios que buscan evaluar la precisión de los registros con respecto a estaciones en tierra. Shrestha et al. (2017) evaluaron la precisión de Chirp y Chirps en la cuenca del río Koshi en Nepal y encontraron que los registros guardan ajuste aceptable con variaciones, en función de las configuraciones geográficas, es decir, mejor ajuste a mayor

altitud. Rivera et al. (2019) compararon las condiciones de humedad y sequía en el centro-oeste semiárido de Argentina y concluyen que Chirps es una herramienta promisoría para estudios hidrometeorológicos, a la vez que sugieren estudiar su aplicación para el cálculo de índices como el SPI. Shen et al. (2020) realizaron la evaluación de la precisión a nivel global de Chirps, concluyendo que guarda precisión aceptable pero que se debe tener precaución cuando se trate con registros previos al año 2000. López-Bermeo et al. (2022) evaluaron la precisión de Chirps a nivel regional en el departamento de Antioquia, en Colombia, encontraron que la precisión varía en función de la diversidad climática y condiciones geográficas, evidenciaron sub y sobre estimaciones, no obstante, concluyeron que es una herramienta aceptable como fuente de información para estudios de precipitación anuales e interanuales, pero no es recomendable con datos diarios.

Por lo anterior, el objetivo de este estudio es evaluar la precisión de las estimaciones de precipitación de Chirps y de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima de WorldClim en la cuenca del río Sonora, México, utilizando como conjunto de datos de referencia los registros mensuales de 19 estaciones climatológicas en el periodo comprendido desde 1981 hasta 2013.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio. La cuenca del río Sonora se localiza en la región centro-noreste del estado que lleva el mismo nombre y

se enmarca por las coordenadas geográficas 28°5'19.23" y 30°59'18.56" de latitud norte y 109°52'8.92" y 111°37'52.81" de longitud

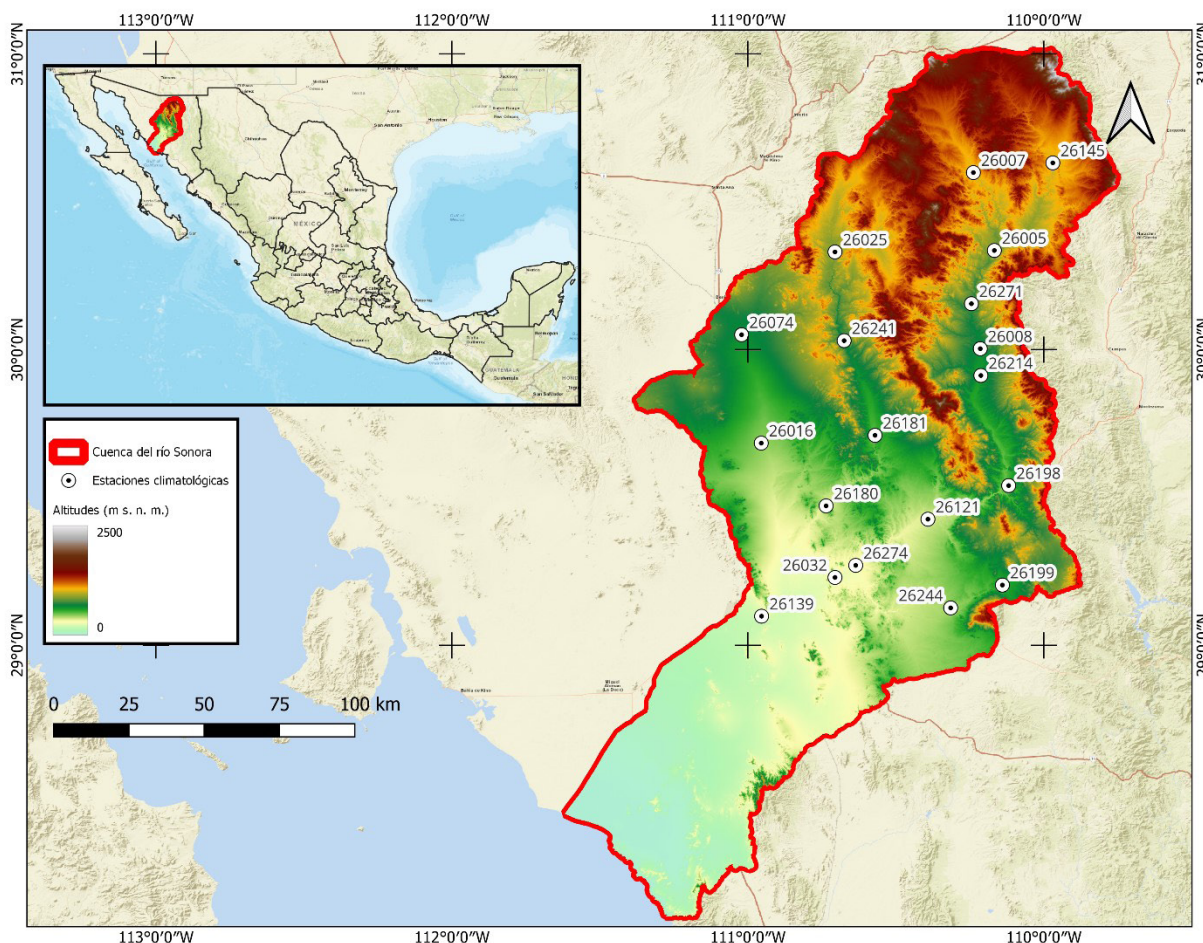
oeste. Se extiende desde la costa del mar de Cortés desde los 0 hasta los 2.411 m s. n. m., con una superficie total de 26 827 km². La zona de estudio comprende la parte media y alta de la cuenca con una extensión territorial de 21 220 km² (Figura 1).

La precipitación media anual varía entre 300 y 600 mm, con dos periodos de lluvias, el más importante se presenta en verano y se asocia a los efectos del monzón de Norteamérica. La temperatura media oscila entre 12 °C y 24 °C, con registros de las temperaturas más bajas en las zonas montañosas y las más altas en las zonas cercanas a la ciudad de Hermosillo (SMN, 2019).

Información climatológica. Se utilizaron dos fuentes de datos para las variables de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima (P, T_{máx} y T_{mín}): i) los registros históricos de las estaciones climatológicas ubicadas dentro de la zona de estudio y ii) las bases de datos ráster de los productos Chirps y WorldClim. La plataforma Chirps consiste en una serie de rásters que representan la precipitación diaria, y WorldClim integra rásters con valores mensuales de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima.

Chirps (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data*) y WorldClim (Kyrgyzbay et al., 2023) se apoyan con estaciones en tierra para validar las estimaciones mediante la tecnología infrarroja, cuentan con datos diarios de precipitaciones en formatos como NetCDF y tif desde 1981 a la fecha, con una extensión espacial que comprende de las latitudes de 50 °S a 50 °N y todas las longitudes a una resolución de 0,05°. Es administrada por el U.S. Geological Survey (USGS) y la University of California, Santa Bárbara (UCSB) (Funk et al., 2015; Kyrgyzbay et al., 2023). WorldClim es una plataforma que ofrece datos climáticos en formato tif de variables como temperatura, precipitación, radiación solar, velocidad del viento y presión del vapor del agua, a una resolución espacial que está entre 30 segundos y 10 minutos, con una extensión temporal desde 1961 hasta el presente (Fick & Hijmans, 2017; Hijmans et al., 2005; Perrin et al., 2020). Se basa en la interpolación de datos de estaciones meteorológicas y otras fuentes como la NASA, NOAA y servicios meteorológicos nacionales.

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio y de las estaciones climatológicas



Fuente: autores.

Estaciones climatológicas. Se obtuvieron registros mensuales (observados) de 19 estaciones climatológicas (*in situ*) (Figura 1, Tabla 1) que pertenecen al Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2019). El conjunto de

datos climatológicos corresponde a 33 años de observación (1981-2013) y fueron sometidos a un estricto control de calidad en lo que respecta a su continuidad, variabilidad y magnitud (Hernández-Vásquez et al., 2020).

Tabla 1.

Características geográficas y climáticas de las estaciones climatológicas.

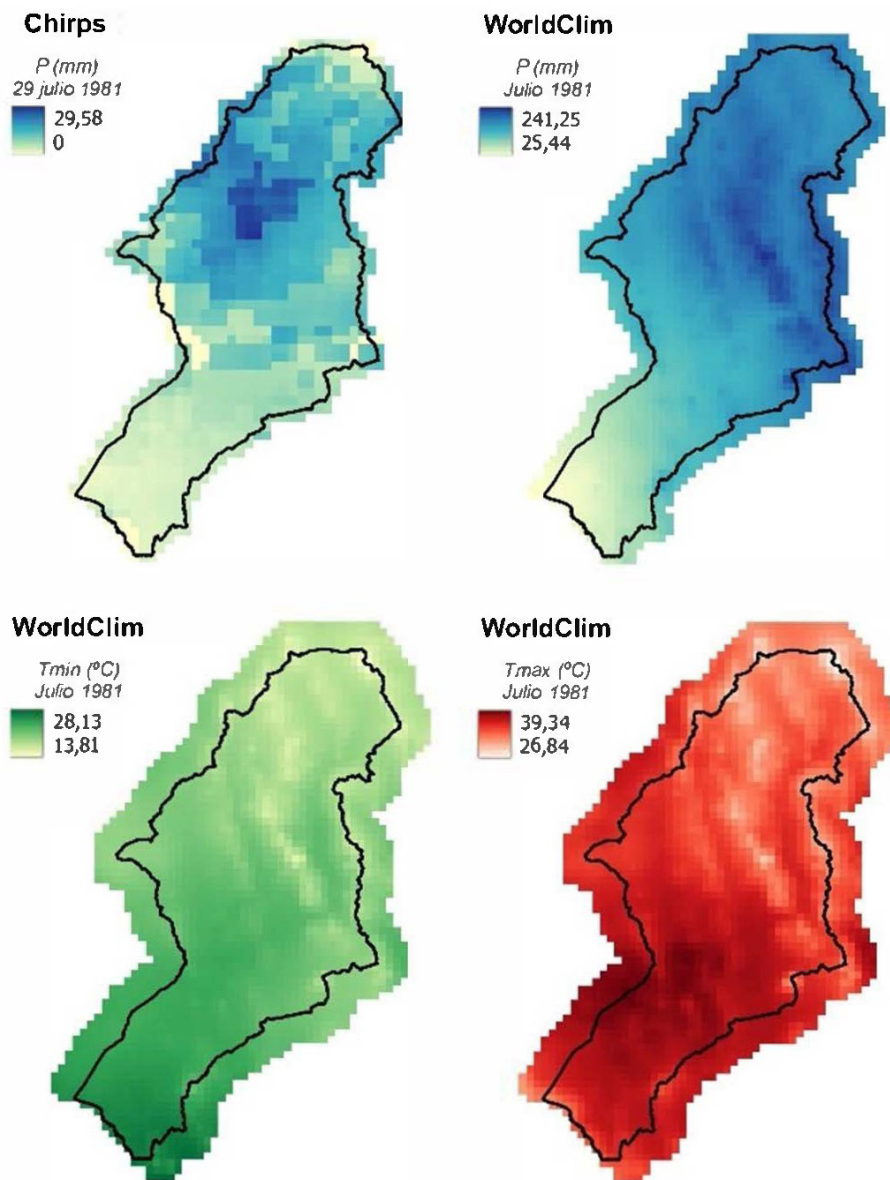
Clave	Estación	Altitud	Latitud (N)	Longitud (W)	P (mm)	Tmáx (°C)	Tmín (°C)
26005	Arizpe	836	30°20'08"	110°10'03"	474,5	29,4	10
26007	Bacanuchi	1049	30°35'56"	110°14'18"	489,1	28	7,4
26008	Banamichi	675	30°00'12"	110°12'54"	459,7	30,7	13,3
26016	Carbo	464	29°41'03"	110°57'18"	374,6	31,2	13
26025	Cucurpe	853	30°19'50"	110°42'21"	524,7	29,6	10,3
26032	El Orégano	279	29°13'48"	110°42'21"	410,6	33,8	14,1
26074	Querobabi	661	30°03'02"	111°01'17"	394	31,2	11,3
26121	Ures	385	29°25'37"	110°23'31"	375,6	31,8	9,1
26139	Hermosillo II	221	29°05'56"	110°57'14"	363,5	32,2	17,7
26145	Bacoachi	1049	30°37'54"	109°58'12"	465,5	28	8,2
26180	El Cajón	390	29°28'19"	110°44'09"	414,2	32,1	11,7
26181	Rayón	560	29°42'38"	110°34'14"	500,5	30,6	11,8
26198	Mazocahui	449	29°32'26"	110°07'09"	517,6	31,4	11,2
26199	Pueblo de Álamos	589	29°12'15"	110°08'25"	498,8	30,8	11,7
26214	Huepac	644	29°54'46"	110°12'47"	496,5	30,1	9,7
26241	Meresichic	712	30°01'50"	110°40'30"	521,8	28,5	11
26244	Rancho Viejo	450	29°07'37"	110°18'54"	458,6	31,1	12,4
26271	Sinoquipe	740	30°09'20"	110°14'42"	504,5	30,5	11,6
26274	Topahue	300	29°16'15"	110°38'09"	418,6	33,1	12,9
<i>P = Precipitación promedio anual, Tmáx = Temperatura máxima promedio, Tmín = Temperatura mínima promedio</i>							

Fuente: autores.

Productos ráster. Los rásters se obtuvieron para el mismo periodo que en las estaciones *in situ*. De Chirps (Funk et al., 2015) (www.chc.ucsb.edu/data/chirps) se adquirieron datos de precipitación a una escala de tiempo diaria (12 053 rásters) con una resolución espacial de 3 minutos de arco y

de WorldClim (www.worldclim.org/data) se obtuvieron datos de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima a una escala de tiempo mensual (396 rásters de cada variable) con resolución espacial de 2,5 minutos de arco (Figura 2).

Figura 2. Ejemplo de capa ráster con datos de Precipitación (P), Temperatura mínima (T_{min}) y Temperatura máxima (T_{max}) de Chirps y WorldClim



Fuente: autores.

Herramientas de análisis. La preparación de rásters, organización y extracción de los datos se hizo mediante rutinas de código con el lenguaje de programación Python (QGIS Development Team, 2023; Van Rossum & Drake, 2009) y el programa QGIS 3.16.9-Hannover (QGIS Development Team, 2023).

Las capas que representan precipitación y temperatura se descargaron de los servidores <https://climateserv.servirglobal.net/map> (Chirps) (Funk et al., 2015) y <https://www.worldclim.org/data/monthlywth.html> (WorldClim), el primero provee capas ráster de precipitación diaria y el segundo capas ráster de precipitación, temperatura máxima y mínima mensual. La preparación de las capas ráster se hizo con el programa QGIS 3.X (QGIS Development Team, 2023) y la consola de Python que trae incorporada, donde se generaron rutinas de código, utilizando los módulos GDAL (GDAL/OGR contributors, 2024), Numpy (Harris et al., 2020) y Pandas (Pandas development team, 2020).

Mediante rutinas de Python se hicieron los recortes de los ráster según el polígono de la zona de estudio, a fin de tener archivos con similar tamaño y peso. Para obtener la temperatura media mensual se sumó y se dividió entre dos los rásters de temperatura máxima y temperatura mínima para cada uno de los 396 meses.

Una vez preparados los ráster mensuales de precipitación y temperatura, mediante Python y los módulos Numpy (Harris et al., 2020) y Pandas (Pandas Development Team, 2020) se generaron arreglos matriciales tri-

dimensionales donde los ejes X y Y representan las coordenadas de latitud y longitud, ubicando los píxeles de cada ráster, y el eje Z representa el tiempo en meses durante el periodo de estudio 1981 y 2013. Con la propiedad `iloc` del módulo Pandas (Pandas Development Team, 2020) se extrae la serie de datos en un punto dado de los ejes X y Y en función de las coordenadas geográficas de cada una de las 19 estaciones consideradas en este estudio.

Se generaron tres matrices tridimensionales; dos de precipitación (CHIRPS y WorldClim) y la de temperatura media (WorldClim), las cuales resumen las variables climáticas en tiempo y espacio. Las series de datos en la ubicación de las 19 estaciones meteorológicas mostradas en la tabla 1 se extrajeron y se exportaron a un archivo delimitado por comas. Para cada una de las 19 estaciones se tienen cuatro series: registros observados de temperatura y precipitación mensuales, precipitación Chirps, precipitación y temperatura de WorldClim.

De cada matriz tridimensional, se tomó el valor correspondiente al píxel donde coinciden las coordenadas de la ubicación de cada una de las 19 estaciones climatológicas conformando series diarias de precipitación con datos de Chirps y series mensuales de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima con datos de WorldClim. Las series diarias (Chirps) fueron sumadas para obtener la precipitación total acumulada a nivel mensual. Las series de tiempo con los datos de las variables climatológicas de los rásters y las estaciones climatológicas fueron guardadas en archivos de texto separado por comas.

Análisis estadístico. Se realizó con lenguaje de programación R (R Core Team, 2025), donde se procesaron los archivos de texto y se evaluó el ajuste de las series mediante correlaciones y los índices presentados en la tabla 2. Se analizaron las series de precipitación de Chirps y WorldClim vs. estaciones y las series de temperaturas mínimas y máximas de WorldClim vs. estaciones. La visualización de los datos y de los resultados se realizó gracias a la librería ggplot (Wickham, 2016). Las series de precipitación diaria de Chirps se sumaron para obtener valores mensuales que pudieran ser comparables con la precipitación, temperatura mínima y máxima de WorldClim y las 19 estaciones meteorológicas.

Índices para evaluar el ajuste. El ajuste de los datos rásters comparados con los datos de la precipitación y la temperatura registrada en las estaciones climatológicas *in situ*, fue evaluado usando los estadísticos del valor absoluto del error relativo (PBIAS)

(Shen et al., 2020) y el RSR que corresponde a la relación de la desviación estándar de las observaciones y la raíz del error cuadrático medio (Moriassi et al., 2007; Shrestha et al., 2017). Los índices mencionados se calculan con las ecuaciones 1 y 2, respectivamente.

$$PBIAS = \frac{\sum(R_{est} - R_{sat})}{\sum(R_{est})} * 100$$

$$RSR = \frac{\sqrt{\sum(R_{est} - R_{sat})^2}}{\sqrt{\sum(R_{est} - \bar{R}_{est})^2}}$$

donde, R_{est} es el registro de la estación climatológica *in situ* y \bar{R}_{est} es el promedio del periodo considerado para la estación *in situ*, R_{sat} es la serie con las estimaciones de las variables climatológicas de los satélites Chirps o WorldClim. Los valores del PBIAS y del RSR se interpretaron cualitativamente con base en las categorías propuestas por Moriassi et al. (2007) presentadas en la tabla 2.

Tabla 2.

Rangos de valores del PBIAS y RSR para su interpretación cualitativa

Clasificación	RSR
Muy bueno	0 a 0,5
Bueno	0,5 a 0,6
Satisfactorio	0,6 a 0,7
Insatisfactorio	> 0,7
Clasificación	PBIAS (%)
Insatisfactorio	< -55
Satisfactorio	-55 a -30
Bueno	-3 a -15
Muy bueno	-15 a 15

Clasificación	RSR
Bueno	15 a 30
Satisfactorio	30 a 55
Insatisfactorio	> 55

Fuente: autores.

Además, el PBIAS permite determinar si en la serie comparada se tiene subestimación o sobreestimación en función de su valor. Si el valor es menor de 20 se considera

subestimación y cuando es superior a 20 se considera sobreestimación (López-Bermeo et al., 2022).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Ajuste de las estimaciones de los rás-
ters.** Se realizó la evaluación estadística del ajuste de las estimaciones basadas en interpolaciones y datos mixtos con los registros en estaciones climatológicas, con la finalidad de analizar la capacidad que tienen las plataformas con datos ráster para capturar y almacenar información climática histórica.

La evaluación estadística (PBIAS y RSR) del ajuste de las estimaciones de las variables climatológicas (P, T_{máx} y T_{mín}) se presenta en la tabla 3. De manera general y con base en las categorías presentadas en la tabla 2, las estimaciones de la precipitación y la tempera-

tura de Chirps y WorldClim guardan un ajuste “Bueno” y “Muy bueno”, ocasionales apariciones de “Satisfactorio” y ausencia de ajustes “Insatisfactorios”, con respecto a los registros históricos de las estaciones climatológicas en tierra. Los índices estadísticos menores de -20 o superiores a 20 para PBIAS (López-Bermeo et al., 2022), y mayores de 0,6 con RSR, corresponden a datos donde los sensores remotos sobrestiman o subestiman las series de temperatura y los picos de precipitación. Los resultados obtenidos son consistentes con lo concluido por Bai et al. (2016), Katsanos et al. (2016) y Peng et al. (2020).

Tabla 3.
Estadísticas de ajuste

Estación	Estación vs. Chirps				Estación vs. WorldClim			
	P		P		Tmin		Tmax	
	PBIAS	RSR	PBIAS	RSR	PBIAS	RSR	PBIAS	RSR
26005	-7,574	0,433	0,263	0,527	9,567	0,376	-0,797	0,283
26007	-5,112	0,417	0,787	0,530	24,522	0,328	-0,501	0,157

Estación	Estación vs. Chirps		Estación vs. WorldClim					
	P		P		Tmin		Tmax	
	PBIAS	RSR	PBIAS	RSR	PBIAS	RSR	PBIAS	RSR
26008	-4,139	0,386	-1,425	0,470	-5,158	0,220	-0,203	0,224
26016	-2,748	0,544	-3,011	0,597	-6,487	0,265	0,675	0,198
26025	-20,548	0,484	-5,830	0,515	2,505	0,441	-1,593	0,503
26032	-16,082	0,478	-11,495	0,559	-2,251	0,255	-2,668	0,295
26074	-22,424	0,583	-13,926	0,644	-1,320	0,192	-4,587	0,354
26121	25,811	0,672	19,724	0,644	49,668	0,653	2,530	0,399
26139	-29,539	0,614	-18,368	0,651	-18,876	0,603	0,383	0,175
26145	-8,772	0,452	-1,398	0,531	19,504	0,434	0,795	0,346
26180	-20,097	0,527	-6,801	0,586	13,523	0,275	1,068	0,199
26181	-20,385	0,472	-10,298	0,524	6,625	0,251	1,052	0,238
26198	-19,883	0,463	-0,778	0,550	10,144	0,274	-1,464	0,263
26199	-5,053	0,399	10,838	0,495	-0,669	0,231	0,729	0,320
26214	-9,594	0,418	-7,780	0,513	37,958	0,557	2,596	0,307
26241	-13,019	0,521	-8,728	0,587	8,946	0,491	5,344	0,543
26244	-7,965	0,373	4,833	0,473	-3,328	0,224	3,223	0,312
26271	-13,775	0,432	-9,099	0,469	4,472	0,266	-2,707	0,278
26274	-15,141	0,544	-13,228	0,613	7,229	0,203	0,467	0,209

Fuente: autores.

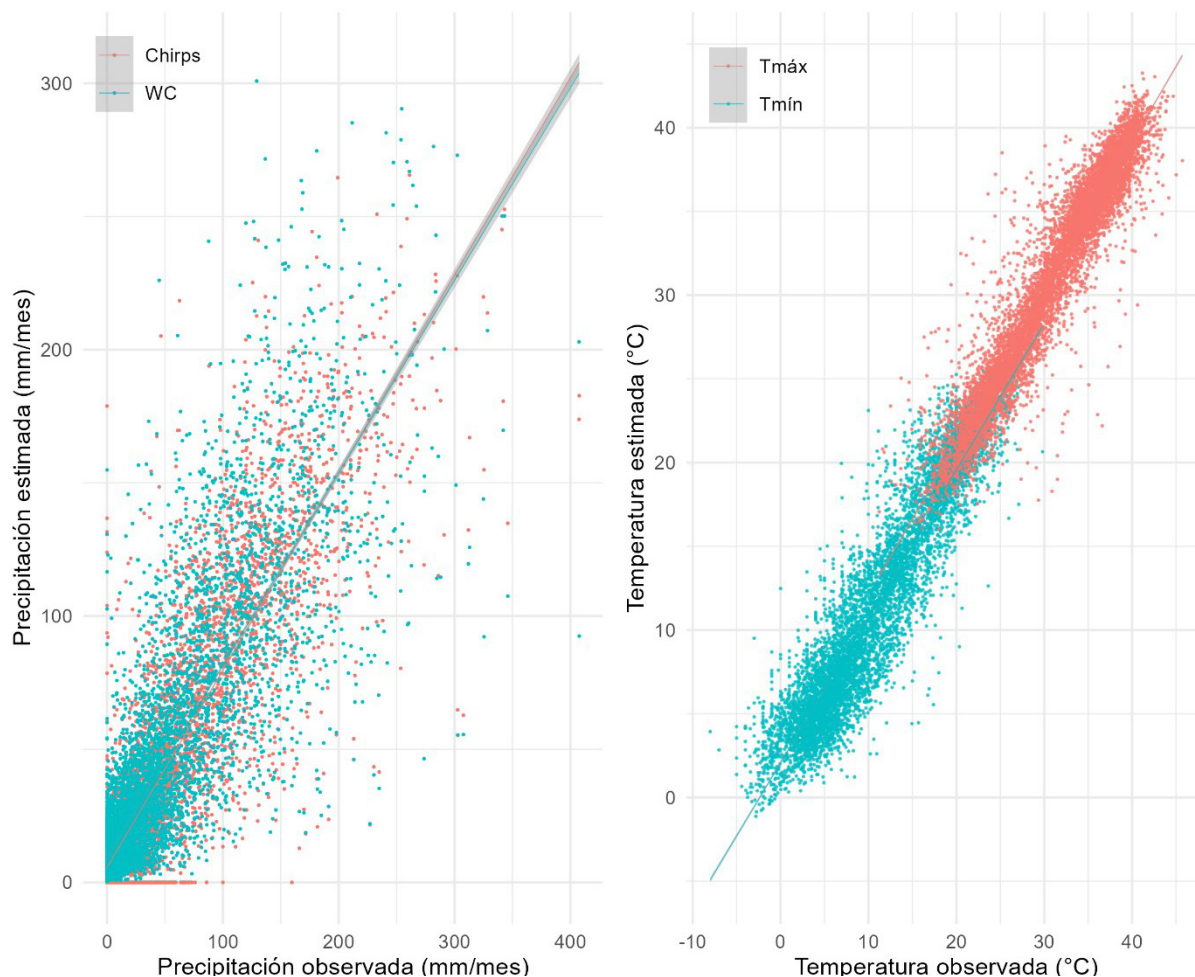
La dispersión de los registros de las estaciones y su equivalente estimación de cada ráster se presenta en la figura 3. Se aprecia que la precipitación presenta mayor dispersión que la temperatura, tanto con Chirps como con WorldClim, es decir, existe mayor diferencia entre los datos observados y las estimaciones de los rásters. A diferencia de lo encontrado por López-Bermeo et al. (2022), en este trabajo, Chirps tiende a sobrestimar

al considerar los valores en las 19 estaciones analizadas, posiblemente relacionado con la diferencia del volumen de precipitación entre Colombia y el norte de México, donde predomina la región árida o semiárida (Bai et al., 2018). Por otra parte, WorldClim tiende a subestimar ligeramente los valores mensuales de precipitación. En cuanto a las temperaturas mínima y máxima, sus estimaciones muestran un alto ajuste, con ligera

sobrestimación. El ajuste de las estimaciones de temperatura proporcionadas por WorldClim es notablemente alto; según las categorías de interpretación, son “Muy buenos”

(Figura 3), evidenciado al tener un intervalo de confianza estrecho (banda gris: intervalo de confianza al 95 %).

Figura 3. Dispersión de los registros de estaciones *in situ* vs. rásters



Fuente: autores.

El ajuste lineal de los registros de las estaciones, en comparación con los valores interpolados en rásters (Tabla 4) confirma las interpretaciones cualitativas. El valor esperado del intercepto para un ajuste ideal es de cero, no obstante, se tienen valores desde - 0,76 hasta 3,03, lo cual corresponde a las variaciones presentes en las series y que se manifiestan en subestimación o sobrestima-

ción. La precipitación tanto en Chirps como en WorldClim muestran mayor magnitud en el intercepto, en comparación que las temperaturas, esto debido a la escala de los registros. Similar situación se encuentra en el coeficiente de correlación, donde los mayores ajustes que rondan el 0,9 se encuentran en la temperatura, mientras que la precipitación ronda en 0,7.

Tabla 4.

Modelo lineal de estaciones en comparación con los rásters

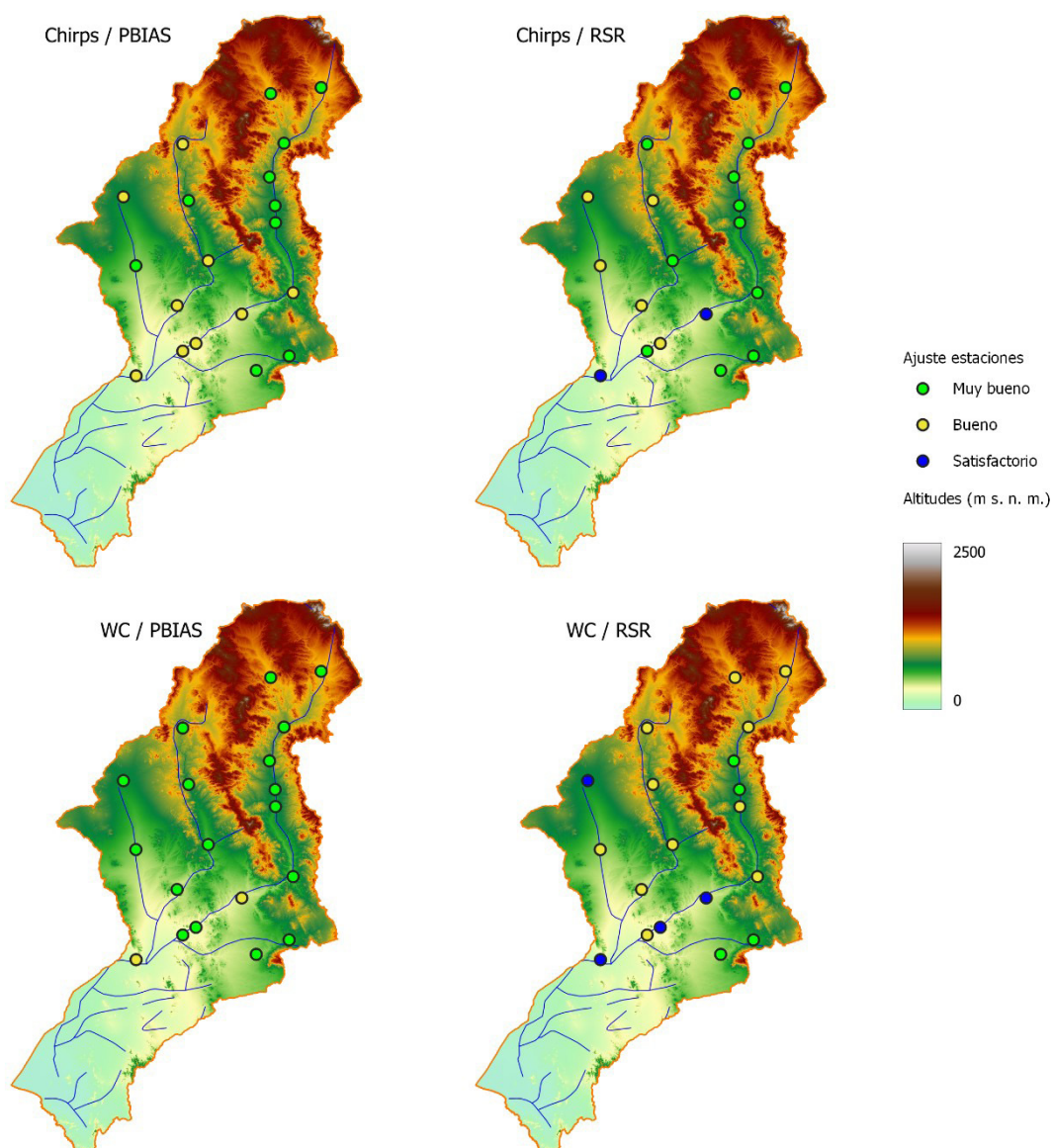
	Intercepto	Pendiente (Error estándar)	Intervalo de confianza 95% de la pendiente	R ²	Valor P
PP Chirps	3,03	1,05 (0,0065)	1,03 - 1,06	0,78	p < 0,0001
PP WC	2,71	0,97 (0,0073)	0,96 - 0,99	0,7	p < 0,0001
T min	-0,76	1,01 (0,0042)	1,001 - 1,018	0,88	p < 0,0001
T max	-0,13	1 (0,0038)	0,995 - 1,009	0,9	p < 0,0001

Fuente: autores.

La distribución geográfica de las estaciones con su respectiva interpretación cualitativa del ajuste se muestra en las figuras 4 y 5. No se determina ningún patrón de asocia-

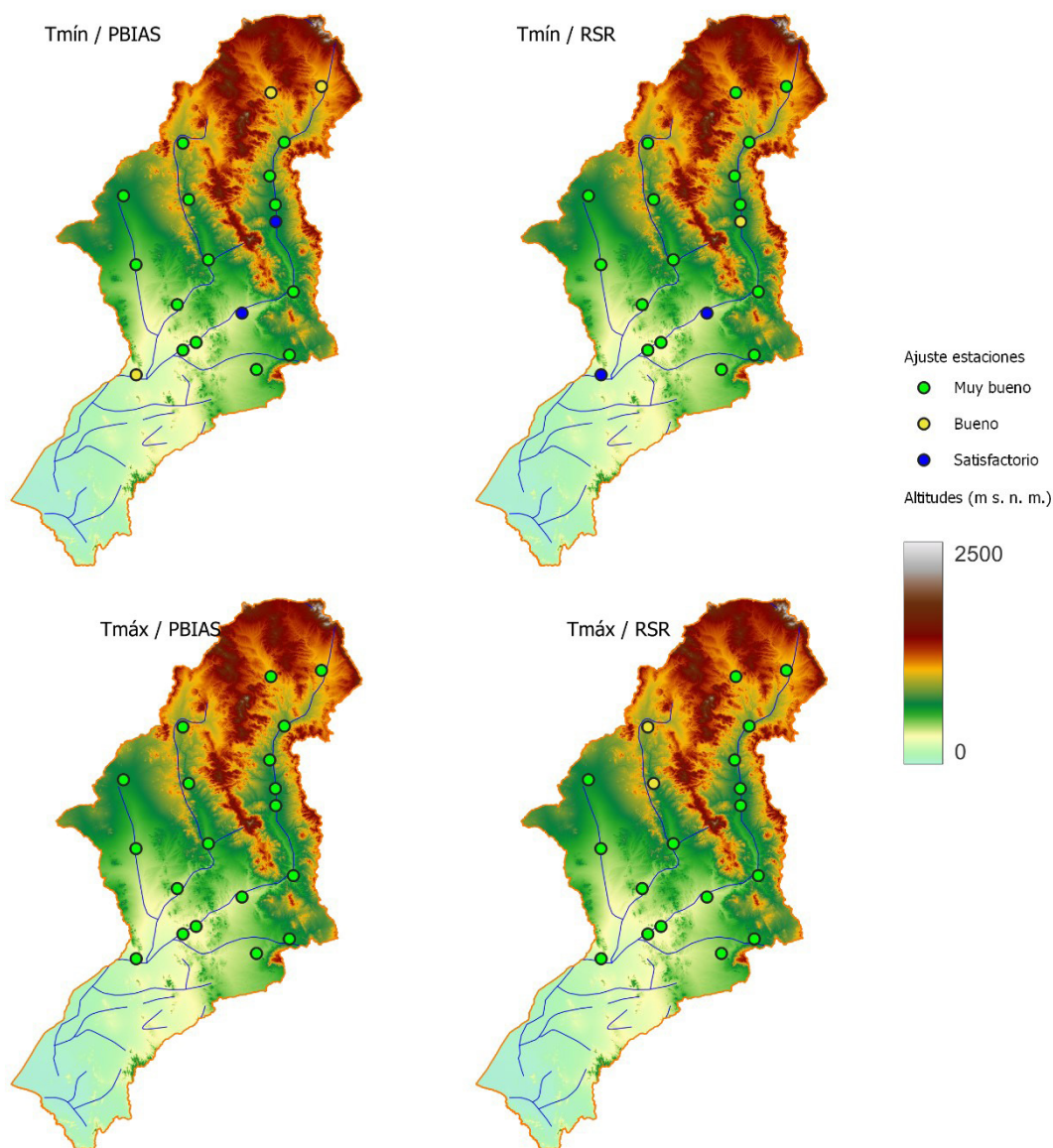
ción entre el grado de ajuste y la altitud, posiblemente porque la variabilidad en cuanto a altitud no es significativa e inferior a 1000 m s.n.m. (Katsanos et al., 2016).

Figura 4. Ajuste de los registros de precipitación de rásters



Fuente: autores.

Figura 5. Ajuste de los registros de temperatura de rásters

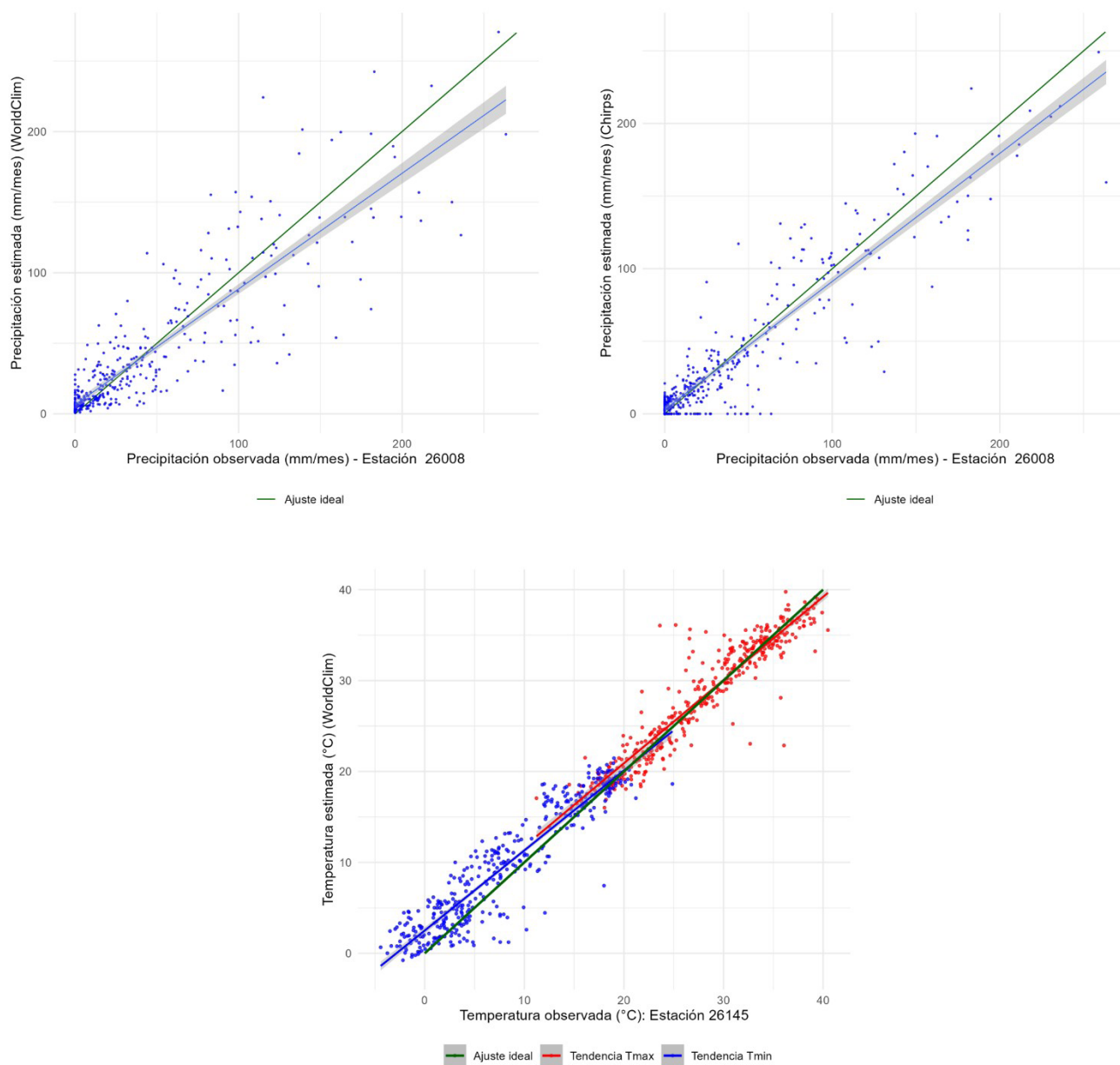


Fuente: autores.

Las series de precipitación y temperatura con ajuste “Muy bueno” se presentan en la figura 6. Se puede observar mayor dispersión en los registros de precipitación que en los registros de temperatura, esta tendencia es

similar en WorldClim y Chirps. En la dispersión de la temperatura mínima tiende a formarse una línea sobre los 45°, lo cual indica alto nivel de ajuste.

Figura 6. Series con ajuste “Muy bueno”: Precipitación WorldClim y Chirps – Estación 26145, Temperatura – Estación 26198

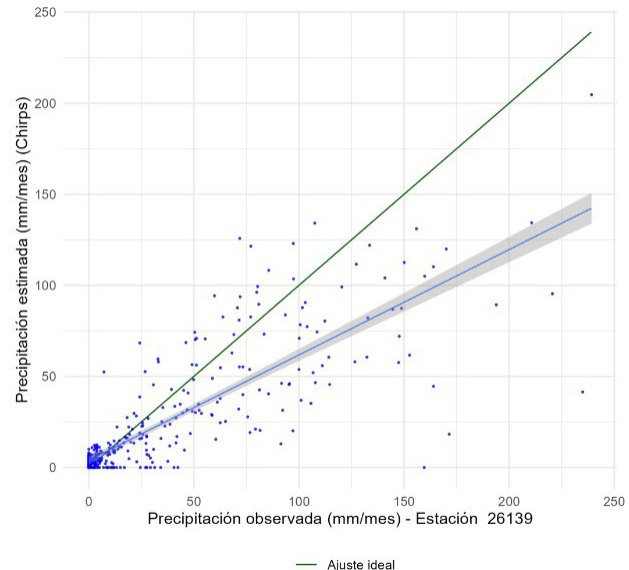
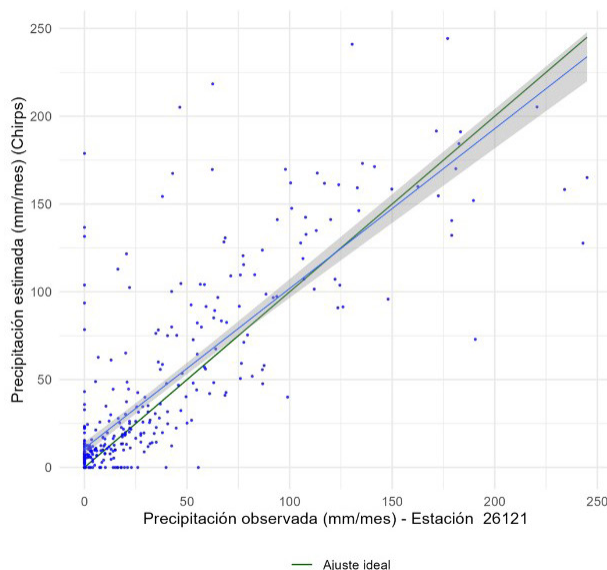


Fuente: autores

Sobre la precipitación estimada a través de Chirps, se tienen cinco casos de subestimación y un caso de sobrestimación de acuerdo con los rangos propuestos por López-Bermeo et al. (2022). Los registros de precipitación obtenidos por sensores remotos en las ubicaciones de las estaciones 26121 y 26139 presentan el menor grado de ajuste, debido

a la mayor dispersión que conlleva a generar tendencia hacia la sobrestimación o subestimación (Figura 7). La proporción de puntos atípicos que influyen hacia la sobre o subestimación es pequeña con relación al total, no obstante, tener mayor dispersión influencia para obtener estadísticas que indiquen bajo ajuste.

Figura 7. Series con bajo nivel de ajuste en precipitación: Arriba – Estación 26121, Abajo – Estación 26139.

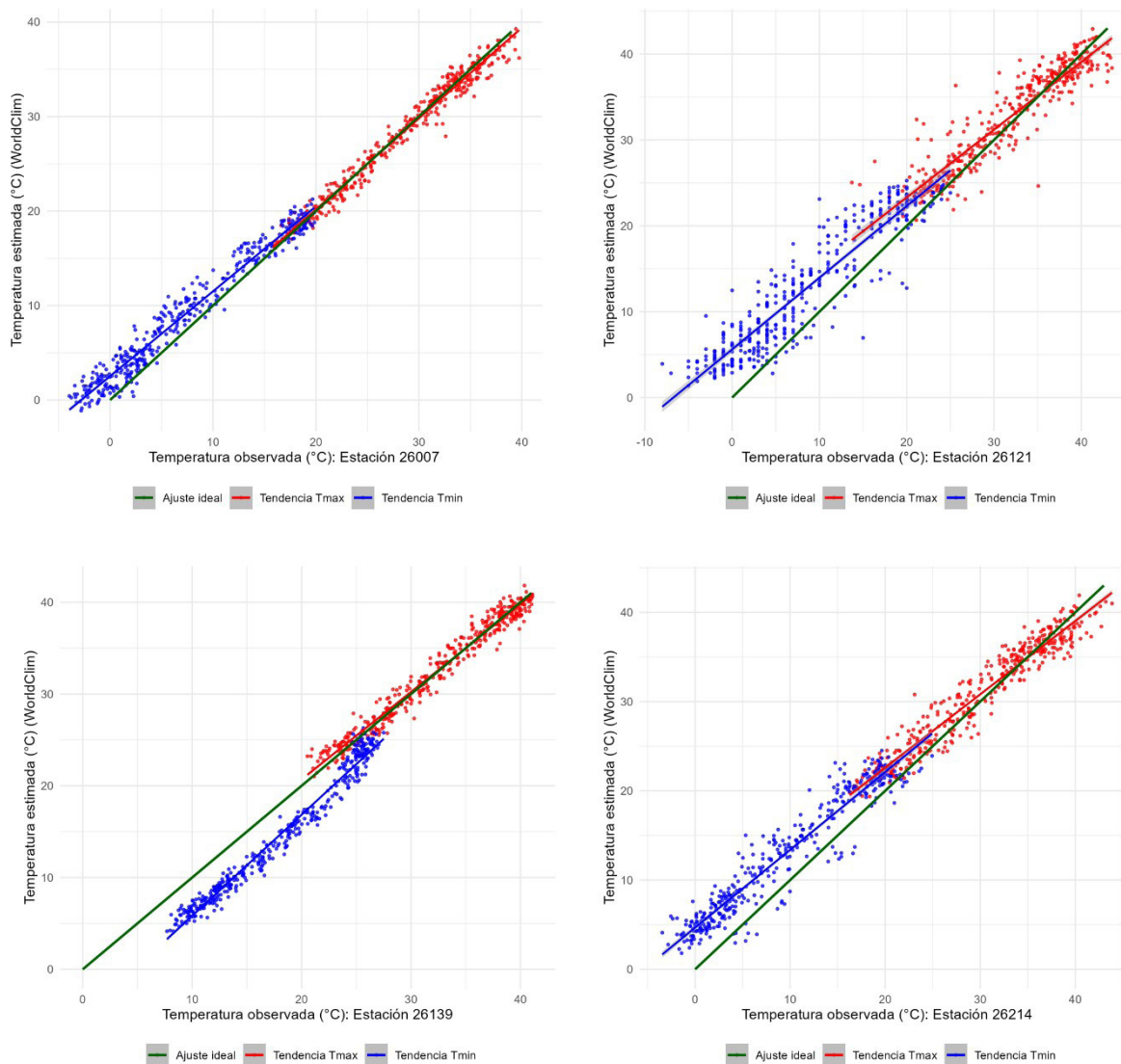


Fuente: autores.

En el caso de las estimaciones de temperatura máxima de WorldClim los ajustes son “Bueno” o “Muy bueno”, en cambio las series de temperatura mínima presentan casos donde el ajuste es “Satisfactorio”, debido a la sobrestimación (Figura 8). No obstante,

las estimaciones por sensores remotos son representativas del comportamiento de la temperatura y pueden ser utilizadas para estudios o planeación territorial considerando reescalamiento y ajuste de errores sistemáticos (Hempel et al., 2013; Poggio et al., 2018).

Figura 8. Series con bajo nivel de ajuste en temperatura mínima y máxima



Fuente: autores.

Las series de temperatura presentan errores sistemáticos que sobrestiman o subestiman el valor observado (Figura 8). El grado de ajuste y la aplicabilidad de los datos y resultados de análisis basados en sensores

remotos pueden ser optimizados al realizar corrección de errores sistemáticos con métodos como el ISI-MIP (Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project) (Hempel et al., 2013; Méndez, 2016).

4 CONCLUSIONES

Los registros históricos de precipitación y temperatura de las bases de datos ráster de Chirps y WorldClim tienen alto grado de confiabilidad y pueden ser utilizados en estudios hidrológicos y de clima con fines de planeación agrícola u ordenamiento territorial. Las estimaciones de temperatura tienden a integrar errores sistemáticos que subestiman o sobreestiman el valor de la variable, este comportamiento se puede tratar con estrategias de corrección de errores como el ISI-MIP (Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project). No se encontró una asociación significativa entre el grado de ajuste de las estimaciones y la altitud.

Por otra parte, para que la información que se encuentra en los ráster de Chirps o WorldClim sea cada vez más utilizada y aprovechada por los tomadores de decisiones, sobre todo en espacios territoriales, es esencial profundizar en el manejo de las plataformas y el desarrollo de aplicaciones que faciliten su uso. Una alternativa para mejorar el ajuste es promediar los píxeles vecinos. Asimismo, promover la implementación de herramientas y uso de *software* libre para alcanzar entidades territoriales que no cuentan con los recursos para acceder a información y tecnología.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Autor 1: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original.

Autor 2: análisis de datos, escritura, revisión y edición.

Autor 3: logística, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo fue posible gracias al apoyo de la Universidad Internacional del Trópico Americano – Unitrópico

y la Universidad Autónoma Chapingo. Se extiende agradecimiento a la Dra. Laura Alicia Ibáñez Castillo.

FINANCIAMIENTO

Esta investigación fue posible gracias al apoyo de una beca de CONACYT 2018-2021 Autor 1, en el marco de la investigación

Pronóstico de caudales mediante filtros de Kalman, Programa Nacional de Becas del Gobierno de México.

LITERATURA CITADA

- Bai, L., Chen, Z., Xu, J. & Li, W. (2016). Multi-scale response of runoff to climate fluctuation in the headwater region of Kaidu River in Xinjiang of China. *Theoretical and Applied Climatology*, 125(3-4), 703-712. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1539-2>
- Bai, L., Shi, C., Li, L., Yang, Y. & Wu, J. (2018). Accuracy of CHIRPS satellite-rainfall products over Mainland China. *Remote Sensing*, 10(3), 362. <https://doi.org/10.3390/rs10030362>
- Belay, A. S., Yenehun, A., Nigate, F., Tilahun, S. A., Dessie, M., Moges, M. M., Chen, M., Fentie, D., Adgo, E., Nyssen, J. & Walraevens, K. (2024). Estimation of spatially distributed groundwater recharge in data-scarce regions. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 56, 102072. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.102072>
- Dinku, T. (2019). Challenges with availability and quality of climate data in Africa. *Extreme hydrology and climate variability* (pp71-80). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815998-9.00007-5>
- Fick, S. E. & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreiros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A. & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2(1), Article 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- GDAL/OGR contributors. (2024). *GDAL/OGR Geospatial Data Abstraction software Library*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5884351>
- Harris, C. R., Millman, K. J., van der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., Wieser, E., Taylor, J., Berg, S., Smith, N. J., Kern, R., Picus, M., Hoyer, S., van Kerkwijk, M. H., Brett, M., Haldane, A., del Río, J. F., Wiebe, M., Peterson, P., Gérard-Marchant, P., ... Oliphant, T. E. (2020). Array programming with NumPy. *Nature*, 585(7825), 357-362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>
- Hempel, S., Frieler, K., Warszawski, L., Schewe, J. & Piontek, F. (2013). A trend-preserving bias correction – the ISI-MIP approach. *Earth System Dynamics*, 4(2), 219-236. <https://doi.org/10.5194/esd-4-219-2013>
- Hernández-Vásquez, C. C., Ibáñez-Castillo, L. A., Gómez-Díaz, J. D. & Arteaga-Ramírez, R. (2020). Analysis of meteorological droughts in the Sonora river basin, Mexico. *Atmósfera*. <https://doi.org/10.20937/ATM.52954>
- Herrera Oliva, C. S., Campos Gaytán, J. R. y Carrillo González, F. M. (2017). Esti-

- mación de datos faltantes de precipitación por el método de regresión lineal: Caso de estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 71, 34-44. <https://doi.org/10.33064/iycuaa201771598>
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965-1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Infante, S. y Zárate, G. (2012). *Métodos estadísticos: Un enfoque interdisciplinario* (2.ª ed.). La Goya Ciencia.
- Katsanos, D., Retalis, A. & Michaelides, S. (2016). Validation of a high-resolution precipitation database (CHIRPS) over Cyprus for a 30-year period. *Atmospheric Research*, 169, 459-464. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.05.015>
- Kyrgyzbay, K., Kakimzhanov, Y. & Sagin, J. (2023). Climate data verification for assessing climate change in Almaty region of the Republic of Kazakhstan. *Climate Services*, 32, 100423. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100423>
- López-Bermeo, C., Montoya, R. D., Caro-Lopera, F. J. & Díaz-García, J. A. (2022). Validation of the accuracy of the CHIRPS precipitation dataset at representing climate variability in a tropical mountainous region of South America. *Physics and Chemistry of the Earth*, 127, 103184. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103184>
- Méndez, R. (2016). *Productos de precipitación satelital de alta resolución espacial y temporal en las zonas de topografía compleja* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica de Chile].
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D. & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2018). *Guía de prácticas climatológicas* (OMM-N° 100).
- Pandas Development Team. (2020). *pandas-dev/pandas: Pandas* [Versión 1.0]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3509134>
- Paredes Trejo, F. J., Álvarez Barbosa, H., Peñaloza-Murillo, M. A., Moreno, M. A. & Farias, A. (2016). Intercomparison of improved satellite rainfall estimation with CHIRPS gridded product and rain gauge data over Venezuela. *Atmósfera*, 29(4), 323-342. <https://doi.org/10.20937/ATM.2016.29.04.04>
- Paredes-Trejo, F., Alves Barbosa, H., Venkata Lakshmi Kumar, T., Kumar Thakur, M. & de Oliveira Buriti, C. (2021). Assessment of the CHIRPS-based satellite precipitation estimates. In *Inland Waters - Dynamics and Ecology*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.91472>
- Peng, F., Zhao, S., Chen, C., Cong, D., Wang, Y. & Ouyang, H. (2020). Evaluation and

- comparison of the precipitation detection ability of multiple satellite products in a typical agriculture area of China. *Atmospheric Research*, 236, 104814. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104814>
- Perrin, G., Rapinel, S., Hubert-Moy, L. & Bioret, F. (2020). Bioclimatic dataset of Metropolitan France under current conditions derived from the WorldClim model. *Data in Brief*, 31, 105815. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105815>
- Poggio, L., Simonetti, E. & Gimona, A. (2018). Enhancing the WorldClim dataset for national and regional applications. *Science of The Total Environment*, 625, 1628-1643. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.258>
- QGIS Development Team. (2023). *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>
- R Core Team. (2025). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Rivera, J. A., Hinrichs, S. & Marianetti, G. (2019). Using CHIRPS dataset to assess wet and dry conditions along the semiarid Central-Western Argentina. *Advances in Meteorology*, 8413964. <https://doi.org/10.1155/2019/8413964>
- Romero, D. & Alfaro, E. J. (2024). Spatiotemporal variability of the rainy season in the Yucatan Peninsula. *International Journal of Climatology*, 44(8), 2561-2574. <https://doi.org/10.1002/joc.8468>
- Romero-Hernández, C. M., Avila-Diaz, A., Quesada, B., Medeiros, F., Cerón, W. L., Guzman-Escalante, J., Ocampo-Marulanda, C., Rodrigues Torres, R. & Zulua-ga, C. F. (2024). Bias-corrected high-resolution precipitation datasets assessment over a tropical mountainous region in Colombia: A case of study in Upper Cauca River Basin. *Journal of South American Earth Sciences*, 140, 104898. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2024.104898>
- Shen, Z., Yong, B., Gourley, J. J., Qi, W., Lu, D., Liu, J., Ren, L., Hong, Y. & Zhang, J. (2020). Recent global performance of the Climate Hazards group Infrared Precipitation (CHIRP) with Stations (CHIRPS). *Journal of Hydrology*, 591, 125284. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125284>
- Shrestha, N. K., Qamer, F. M., Pedreros, D., Murthy, M. S. R., Wahid, S. M. & Shrestha, M. (2017). Evaluating the accuracy of Climate Hazard Group (CHG) satellite rainfall estimates for precipitation based drought monitoring in Koshi Basin, Nepal. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 13, 138-151. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.08.004>
- Shumilo, L. & Skakun, S. (2024). Optical flow of temperature reveals climate change patterns for agriculture and forestry. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 34, 101198. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101198>
- SMN. (2019). *Sistema de Información Climática Computarizada CLICOM*. Servicio Meteorológico Nacional. <https://cucapa-clicom.cicese.mx/malla/index.php>

- Tikuye, B. G., Ray, R. L., Manjunatha, B., Tefera, G. W. & Gurau, S. (2024). Drought monitoring using the Climate Hazards InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) in Ethiopia. *Natural Hazards Research*, 5 (2), 348-362. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2024.12.002>
- Van Rossum, G. & Drake, F. L. (2009). *Python 3 Reference Manual*. CreateSpace. <https://dl.acm.org/doi/book/10.5555/1593511>
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlag. <https://ggplot2.tidyverse.org>
- Zakeri, F. & Mariethoz, G. (2024). Synthesizing long-term satellite imagery consistent with climate data: Application to daily snow cover. *Remote Sensing of Environment*, 300, 113877. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113877>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.

