



Alternative sources (satellite and gridded) of precipitation used in hydrological modeling case study Piráí-Bolivia.

FUENTES ALTERNATIVAS (SATELITALES y GRILLAS) DE PRECIPITACIÓN USADAS EN MODELACIÓN HIDROLÓGICA CASO DE ESTUDIO PIRÁÍ-BOLIVIA.

¹Villazón Mauricio F., ¹Delgadillo Franz, ¹Montenegro Luis E.

¹ Laboratorio de Hidráulica, Universidad Mayor de San Simón – Avenida Petrolera km 4.2 Cochabamba, Bolivia
mauricio.villazon@fcyt.umss.edu.bo, Franz.delgadillo.m@gmail.com, Edgarmontene@gmail.com

Palabras Clave: Piráí, WEAP, TRMM, GPM, CHIRPS, GMET, Monte Carlo

Abstract:

The present investigation is located in the department of Santa Cruz and is part of the Piráí basin, a tributary of the Amazon River. Although the Piráí river basin is a large basin, the study area focuses on the sub-basins upstream of the La Bélgica station, with an area of 2705 km², passing through Santa Cruz de la Sierra. The city of Santa Cruz has a population of more than 1.8 million inhabitants and is built along the Piráí River. The river is characterized by an enormous variability in the flow, which ranges between 10 and 2000 m³ s⁻¹ (Villazón, 2011).

In this research, an analysis was made of the differences between monthly rainfall, obtained from different sources of satellite information (TRMM, TRMM-WordClim, GPM, CHIRPS), and stochastic specialization grids (GMET). The analysis was also done with respect to modeled flow compared to data observed on land by sub-basins considering Bermejo, La Angostura and La Bélgica stations. For the calibration of the WEAP hydrological model, the Monte Carlo method was applied to improve the efficiencies and therefore the performance of the parameters within the acceptable physical ranges.

Resumen:

La presente investigación está ubicada en el departamento de Santa Cruz y forma parte de la cuenca del Piráí, un afluente del río Amazonas. Aunque la cuenca del río Piráí es una cuenca grande, el área de estudio se centra en la sub-cuencas aguas arriba de la estación La Bélgica, con una superficie de 2705 km², pasando por Santa Cruz de la Sierra. La ciudad de Santa Cruz tiene una población de más de 1,6 millones de habitantes y se construye a lo largo del río Piráí. El río se caracteriza por una enorme variabilidad en el caudal, que oscila entre 10 y 2000 m³ s⁻¹ (Villazon Gomez, 2011).

En esta investigación se realizó un análisis de las diferencias entre las precipitaciones a nivel mensual, obtenidas de distintas fuentes de información satelital (TRMM, TRMM-WordClim, GPM, CHIRPS), y grillas de especialización estocástica (GMET), también se analizó con respecto al caudal modelado comparando con datos observados en tierra por sub-cuencas considerando Bermejo, La Angostura y La Bélgica. Para la calibración del modelo hidrológico WEAP se aplicó el método de Monte Carlo para la mejora de las eficiencias y por ende el rendimiento de los parámetros dentro de los rangos físicos aceptables.

1 INTRODUCCIÓN: QUE JUSTIFIQUE LA RELEVANCIA DEL TRABAJO

Con el resultado del siguiente trabajo se realizará una comparación de la precipitación obtenida mediante distintas fuentes satelitales. En las que se analizará los caudales modelados respecto a los medidos en tierra en la cuenca del Río Piráí.

Ya que la densidad de estaciones meteorológicas no es suficientemente para contar con información continua y espacialmente distribuida; existe una demanda creciente de datos meteorológicos en tiempo y espacio, los sensores remotos son una alternativa que produce información confiable y muchos de estos sensores pueden ser utilizados sin costo alguno. Por tal motivo acudimos a la utilización de fuentes satelitales.

1.1 Ubicación de la zona de estudio

El río Piráí está ubicado en el departamento de Santa Cruz, pertenece a la cuenca del mismo nombre (Figura 1) y es un afluente del río Yapacaní. Aunque la cuenca del río Piráí es una cuenca grande, el área de estudio se centra en la subcuenca aguas arriba de la estación La Bélgica, con una superficie de 2705 km².

La red hídrica de la cuenca del Piráí drena sus aguas a zonas de clima húmedo, por lo que su régimen hidrológico es típico de estos lugares, presenta épocas de gran caudal en el cual se tienen crecidas considerables que en algunos tramos del río llegan a desbordarse. La agricultura es el principal

Las áreas morfológicas atravesadas por el río constituyen el criterio primordial para definir sus límites geomorfológicos. La clasificación está basada en las características del relieve, el clima y la cobertura vegetal.

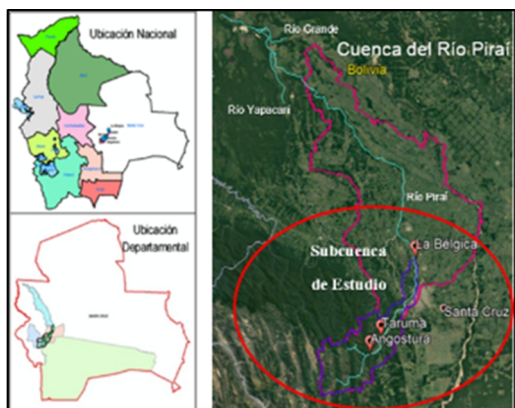


Figura 1 Ubicación

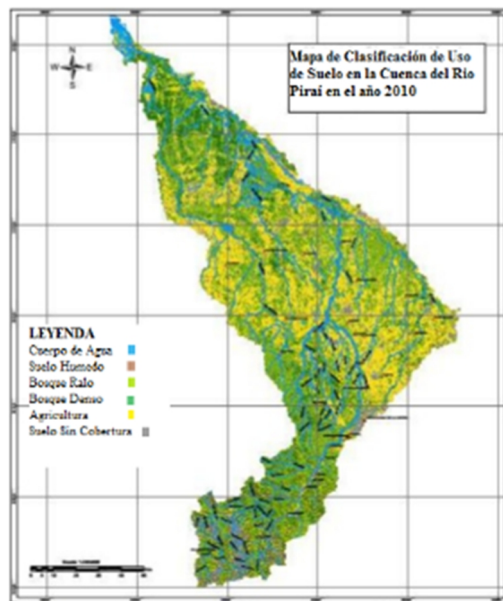


Figura 3 Mapa de Clasificación de Uso de Suelo en la Cuenca del Río Pirai para el año 2010 (Arias Paccieri, 2013).

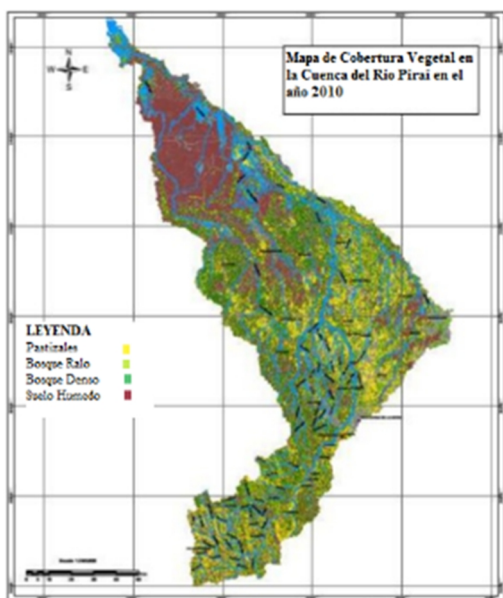


Figura 2 Mapa de Cobertura Vegetal en la Cuenca del Río Pirai para el año 2010 (Arias Paccieri, 2013)

En base a las características morfológicas del río, la cuenca puede ser subdividida en tres subregiones.

- Subregión Alta
- Subregión Media
- Subregión Baja

1.2 Disponibilidad de datos

La cuenca del río Pirai cuenta con cinco estaciones hidrométricas ubicadas en zonas estratégicas como se muestra en la (Figura 4), con una disponibilidad de datos

Los datos de precipitación está disponible en 16 estaciones, de las cuales 11 se encuentran dentro de la zona y 5 en los alrededores (Figura 5). Dos estaciones fueron despididos del estudio debido a que una serie corta estaba disponible (más del 50% de los datos que faltan). La superficie total se ha dividido en siete sub-cuencas. La Figura 1.6 presenta la distribución de las 14 estaciones seleccionadas, y los nombres de sub-captación. (Villazón, 2010)

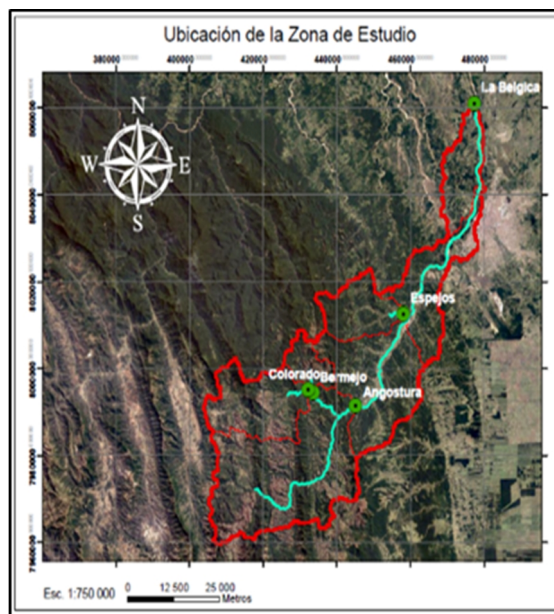


Figura 4 Ubicación de la zona de estudio y puntos de mediaciones hidrométricas.

En el cálculo de ETo la ecuación de FAO Penman-Monteith (FAO56) se considera como la metodología de referencia para calcular ETo. No obstante, en algunos países en desarrollo, como en el caso de Bolivia, los únicos datos disponibles en algunas estaciones meteorológicas son las temperaturas máximas, mínima o media; por lo tanto, la necesidad de métodos de menor demanda de datos es preponderante. (GONZALEZ, 2009)



Se realizó una calibración con los datos medidos en tierra, en la cual también se aplicó el método de Monte Carlos para la mejora de las eficiencias, de los caudales simulados con los observados.

En la cual nos sirvió en obtener modelo óptimo con datos medidos en tierra, para el análisis de sensibilidad de los caudales con diferentes fuentes de precipitación (TRMM, TRMM-WordClim, CHIRPS) y método de interpolación (GMET), grilla utilizada para el Balance Hídrico de Bolivia. De las cuales se realizó un análisis estadístico, gráficas comparativas entre caudales observados y simulados respecto a las nuevas fuentes de información

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Precipitación

Los resultados estadísticos de las distintas fuentes de información satelital e interpolación, respecto a los datos medidos en tierra son presentados en las Tablas 3, 4 y 5 para cada sub-cuenca.

Se tomaron en cuenta en la presentación de resultados la ubicación de 3 sub cuencas, ubicadas en la parte alta (Bermejo), media (Angostura), baja (Bélgica) de la cuenca.

Tabla 3 Estadísticas respecto a datos medidos en Tierra. Bermejo (Cuenca Alta)

Fuente de datos de calibración	TRMM	TRMM-WC	CHIRPS	GMET
MAE (Mean Absolute Error)	4.60	4.25	32.56	20.67
STD (Standard Deviation)	15.08	13.30	43.18	28.75
RMSE (Root Mean Squared Error)	15.07	13.64	46.03	28.69
EF (Efficiency)	0.76	0.81	0.49	0.80
CD (Coefficient of determination)	0.96	1.78	1.12	0.87
R or CC (Linear Goodness of Fit)	0.88	0.92	0.76	0.91
Model Skill	0.93	0.92	0.85	0.95
CR1 (Model Bias)	-0.10	-0.31	-0.17	0.01
CR4 (Natural Log Nash-Sutcliffe)	1.00	1.00	0.56	0.85
CR5 (Adapted Nash-Sutcliffe)	0.83	0.83	0.42	0.81

Tabla 4 Estadísticas respecto a datos medidos en Tierra. Angostura (Cuenca Media)

Fuente de datos de calibración	TRMM	TRMM-WC	CHIRPS	GMET
MAE (Mean Absolute Error)	4.62	5.17	33.15	20.97
STD (Standard Deviation)	15.33	16.60	46.08	29.91
RMSE (Root Mean Squared Error)	15.52	17.15	49.84	29.83
EF (Efficiency)	0.80	0.76	0.55	0.84
CD (Coefficient of determination)	1.41	2.37	1.31	1.17
R or CC (Linear Goodness of Fit)	0.90	0.93	0.79	0.92
Model Skill	0.93	0.89	0.86	0.95
CR1 (Model Bias)	-0.25	-0.41	-0.20	0.01
CR4 (Natural Log Nash-Sutcliffe)	0.99	0.99	0.66	0.87
CR5 (Adapted Nash-Sutcliffe)	0.84	0.77	0.45	0.84

Tabla 5 Estadísticas respecto a datos medidos en Tierra. Bélgica (Cuenca Baja)

Fuente de datos de calibración	TRMM	TRMM-WC	CHIRPS	GMET
MAE (Mean Absolute Error)	4.86	6.53	45.61	30.52
STD (Standard Deviation)	17.08	22.09	62.25	42.27
RMSE (Root Mean Squared Error)	17.56	22.89	69.24	42.67
EF (Efficiency)	0.86	0.76	0.41	0.77
CD (Coefficient of determination)	1.84	2.87	1.38	1.11
R or CC (Linear Goodness of Fit)	0.96	0.97	0.73	0.88
Model Skill	0.95	0.89	0.81	0.94
CR1 (Model Bias)	-0.29	-0.42	-0.22	-0.05
CR4 (Natural Log Nash-Sutcliffe)	0.99	0.99	0.56	0.05
CR5 (Adapted Nash-Sutcliffe)	0.85	0.75	0.32	0.76

Las Figuras 8, 9 y 10 muestran las medias mensuales multianuales, junto con los datos observados en tierra de las estaciones pluviométricas interpoladas mediante polígonos de Thiessen para las mismas sub-cuencas. Se puede observar que los datos del GMET son los que más se aproximan a los observados y de las fuentes satelitales en ocurrencia y distribución el CHIRPS da buenos resultados.

Las Figuras del 11 al 14 muestran las series continuas de precipitación mensual de los datos observados en tierra versus las diferentes fuentes alternativas.

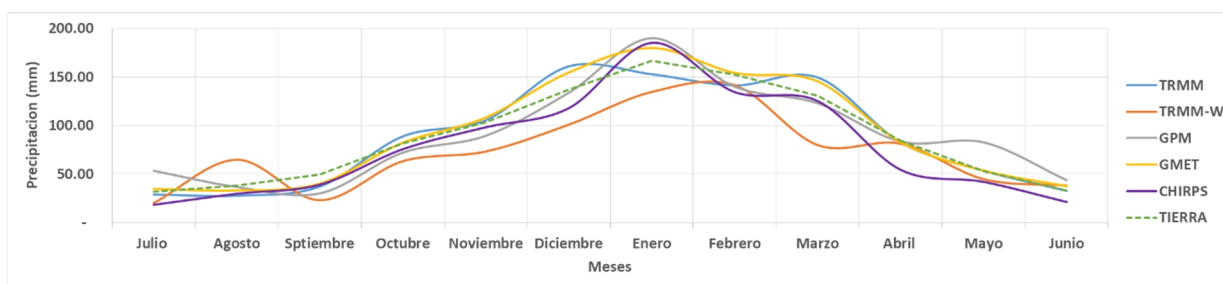


Figura 8 Multi Anual-mensual. Bermejo (Cuenca Alta)

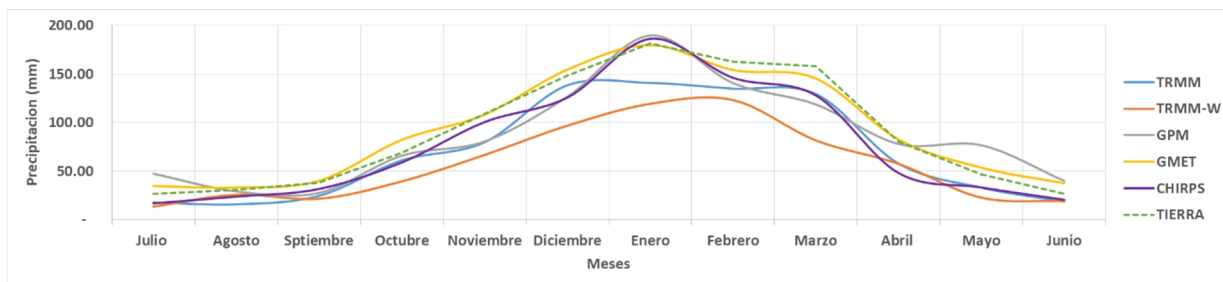


Figura 9 Multi Anual-mensual. Angostura (Cuenca Media)

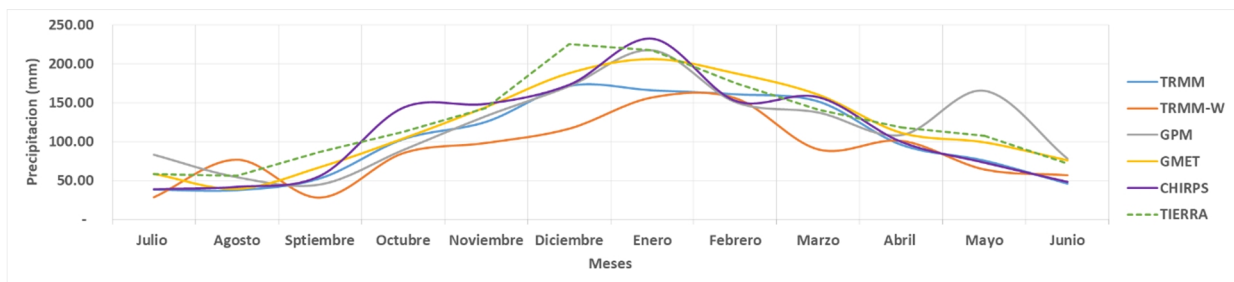


Figura 10 Multi Anual-mensual. Bélgica (Cuenca Baja)

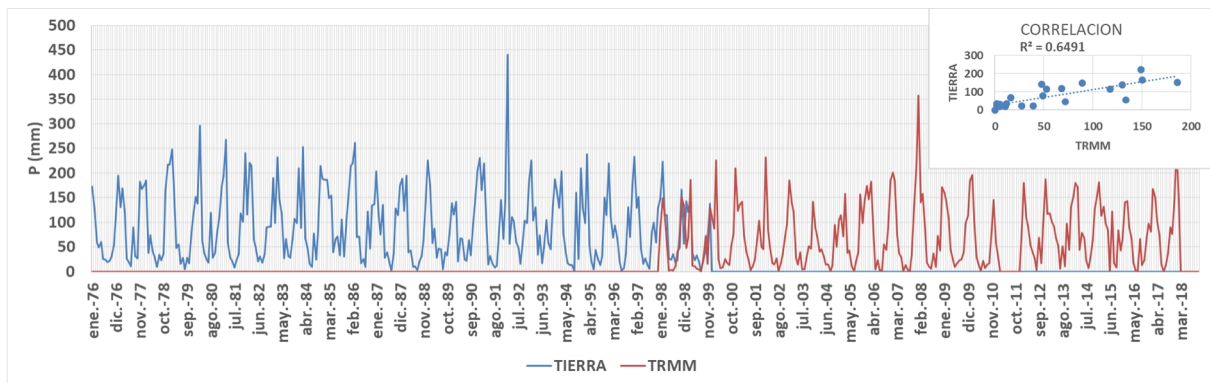


Figura 11 Comparación de precipitación nivel mensual Tierra vs TRMM

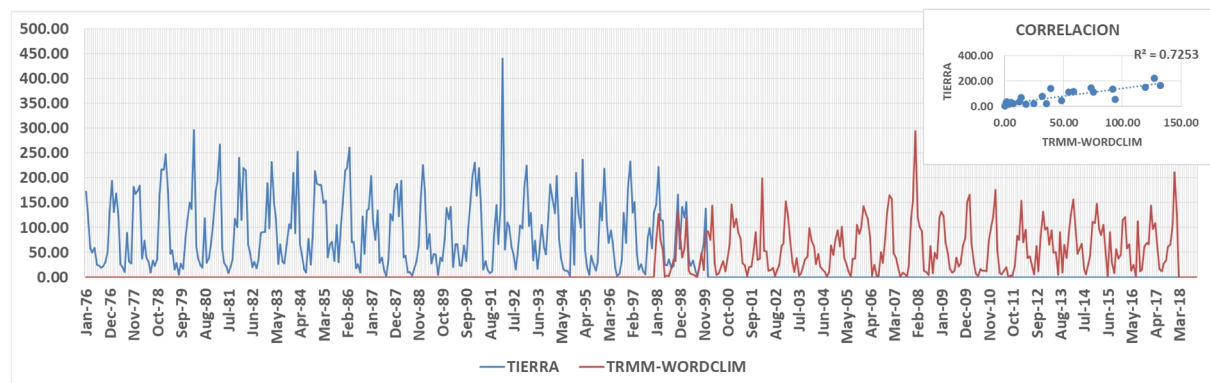


Figura 12 Comparación de precipitación acumulada a nivel mensual Tierra vs TRMM-WC

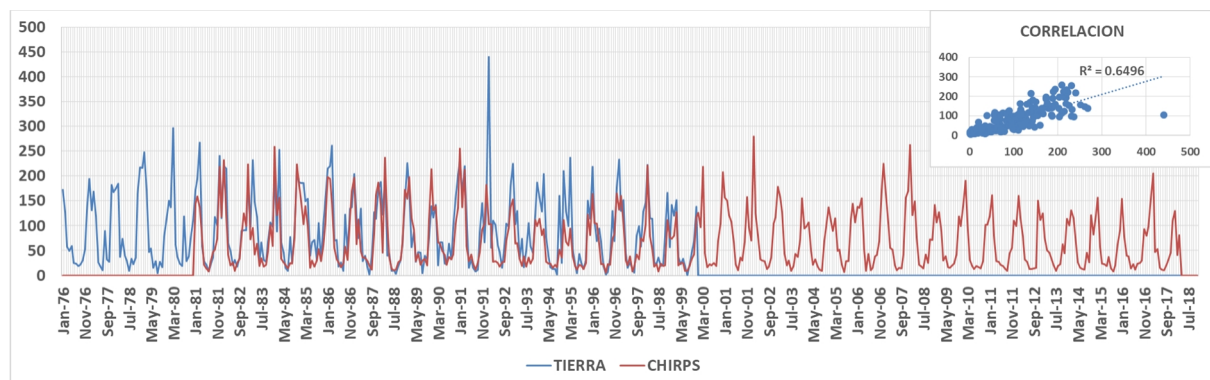


Figura 13 Comparación de precipitación nivel mensual Tierra vs CHIRPS

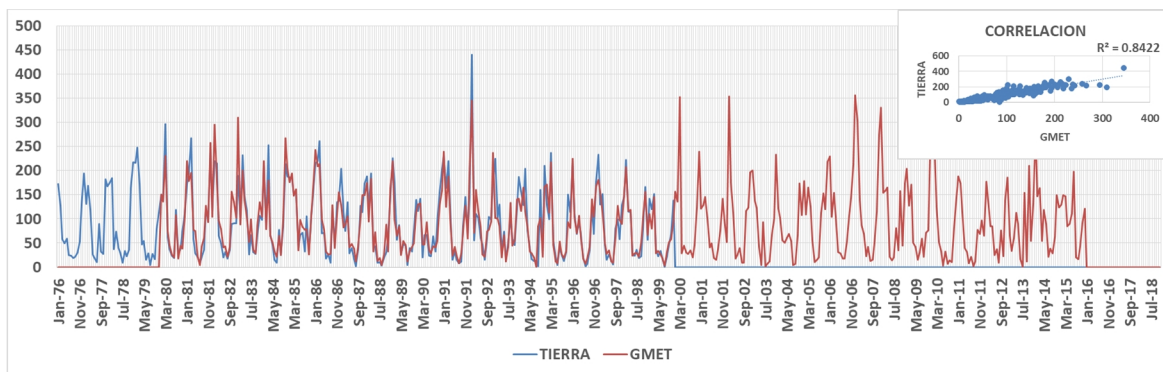


Figura 14 Comparación de precipitación mensual Tierra vs GMET

3.2 Caudales Modelados en WEAP

Una vez calibrado el modelo hidrológico (método de Monte Carlo) con los datos observados en tierra los resultados de los caudales con los parámetros óptimos fueron comparados con los caudales obtenidos de correr el modelo con las diferentes fuentes de precipitación en grilla. Las Tablas de 6 al 8 muestran la estadística de las comparaciones únicamente en los periodos coincidentes donde se tiene datos observados y datos de las fuentes alternativas de precipitación, vemos que en la cuenca alta las Eficiencias son mucho mayores. Las Figuras del 15 al 18 muestran los caudales acumulados en los periodos coincidentes, de estos vemos que los TRMM subestiman el volumen de precipitación, el CHIRPS de igual manera subestima, la fuente GMET es la más próxima en lo que a acumulados respecta.

Tabla 8 Estadísticas respecto a datos medidos en Tierra. Bélgica (Cuenca Baja)

Fuente de datos de calibración	TRMM	TRMM-WC	CHIRPS	GMET
MAE (Mean Absolute Error)	3639.05	3639.05	32579.96	23053.33
STD (Standard Deviation)	15777.34	15777.34	48663.43	36501.02
RMSE (Root Mean Squared Error)	16077.80	16077.80	56519.28	38030.27
EF (Efficiency)	0.48	0.48	-0.09	0.51
CD (Coefficient of determination)	5.43	5.43	1.99	1.73
R or CC (Linear Goodness of Fit)	0.82	0.82	0.45	0.74
Model Skill	0.68	0.68	0.54	0.82
CR1 (Model Bias)	-0.61	-0.61	-0.59	-0.22
CR4 (Natural Log Nash-Sutcliffe)	1.00	1.00	-1.10	0.26
CR5 (Adapted Nash-Sutcliffe)	0.46	0.46	-0.11	0.57

Tabla 6 Estadísticas respecto a datos medidos en Tierra. Bermejo (Cuenca Alta)

Fuente de datos de calibración	TRMM	TRMM-WC	CHIRPS	GMET
MAE (Mean Absolute Error)	548.06	548.06	5191.04	2978.09
STD (Standard Deviation)	2649.56	2649.56	8538.78	5092.62
RMSE (Root Mean Squared Error)	2650.81	2650.81	9058.40	5088.70
EF (Efficiency)	0.66	0.66	0.23	0.76
CD (Coefficient of determination)	2.26	2.26	2.42	1.83
R or CC (Linear Goodness of Fit)	0.83	0.83	0.57	0.88
Model Skill	0.85	0.85	0.66	0.92
CR1 (Model Bias)	-0.19	-0.19	-0.30	-0.03
CR4 (Natural Log Nash-Sutcliffe)	1.00	1.00	0.38	0.82
CR5 (Adapted Nash-Sutcliffe)	0.64	0.64	0.17	0.76

Tabla 7 Estadísticas respecto a datos medidos en Tierra. Angostura (Cuenca Media)

Fuente de datos de calibración	TRMM	TRMM-WC	CHIRPS	GMET
MAE (Mean Absolute Error)	1490.85	1718.09	9190.14	11606.88
STD (Standard Deviation)	6185.36	6740.10	18189.50	20552.42
RMSE (Root Mean Squared Error)	6333.90	6936.16	19660.52	23150.55
EF (Efficiency)	0.42	0.30	0.47	0.27
CD (Coefficient of determination)	7.08	11.05	3.11	3.24
R or CC (Linear Goodness of Fit)	0.84	0.90	0.80	0.74
Model Skill	0.60	0.43	0.75	0.64
CR1 (Model Bias)	-0.63	-0.75	-0.31	-0.45
CR4 (Natural Log Nash-Sutcliffe)	1.00	1.00	0.70	0.19
CR5 (Adapted Nash-Sutcliffe)	0.36	0.25	0.40	0.26

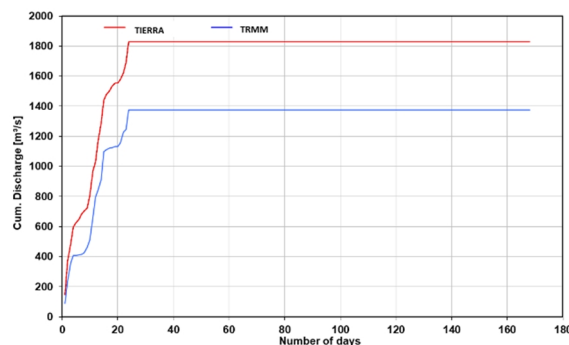


Figura 15 Caudales acumulados cuenca Angostura TIERRA-TRMM

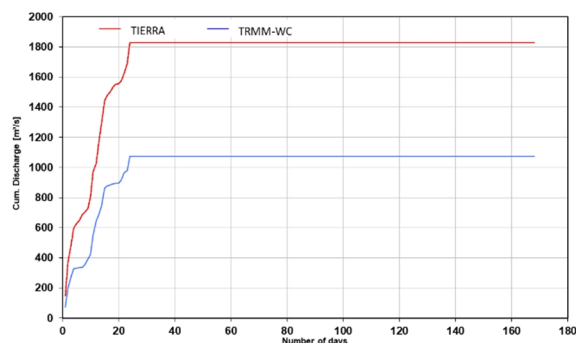


Figura 16 Caudales acumulados cuenca Angostura TIERRA-TRMMCM

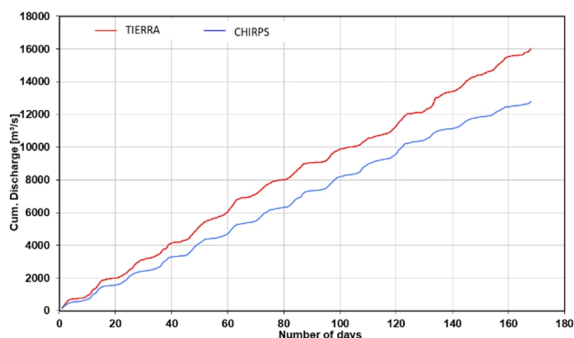


Figura 17 Caudales acumulados cuenca Angostura TIERRA-CHIRPS

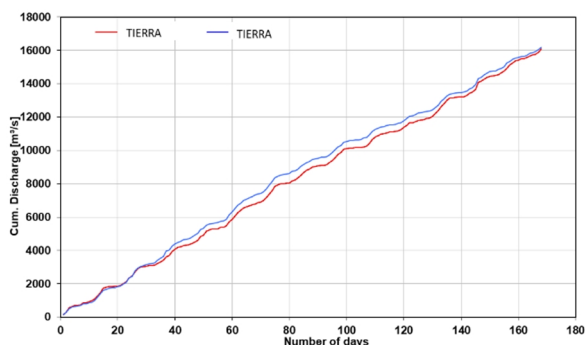


Figura 18 Caudales acumulados cuenca Angostura TIERRA-GMET

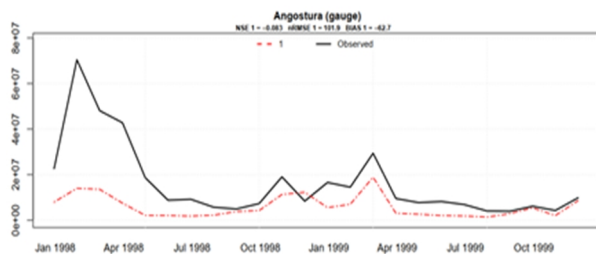


Figura 19 Caudales modelados con datos Observados – TRMM a nivel mensual.

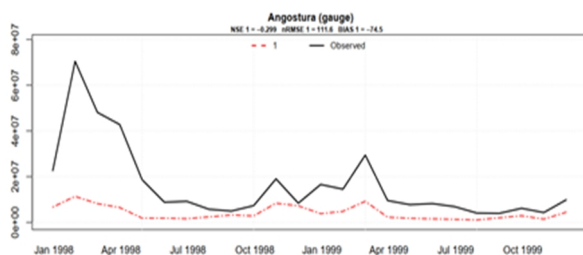


Figura 20 Caudales modelados con datos Observados – TRMM a nivel mensual.

4 CONCLUSIONES

En el análisis estadístico se pudo ver que la fuente TRMM y TRMM-WC tiene una buena eficiencia comparada con las otras fuentes; sin embargo, la longitud de datos bajo comparación es mucho más (dos años). Para las otras fuentes contamos con más de 19 años de comparación. Se

obtuvo con el producto GMET una muy buena eficiencia y dejando a CHIRPS con una casi aceptable eficiencia.

En la Figura 21 y 22 vemos que la ocurrencia y distribución de los caudales modelados tiene concordancia con los observados; sin embargo, las magnitudes de los picos están subestimadas, se aconseja realizar una calibración específica para cada fuente de precipitación y verificar que estos valores están dentro de los físicamente aconsejables.

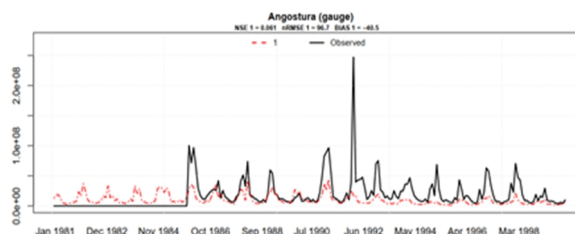


Figura 21 Caudales modelados con datos Observados – TRMM a nivel mensual.

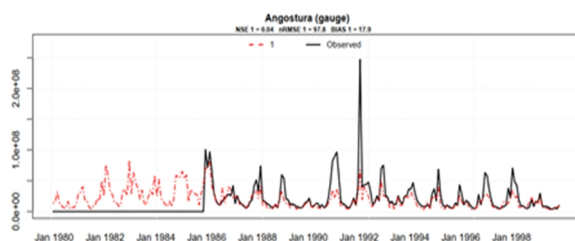


Figura 22 Caudales modelados con datos Observados – TRMM a nivel mensual.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias Paccieri, M. R. (2013). Utilización de herramientas de SIG para la identificación de zonas críticas para la restauración ecológica de riberas de la cuenca del Río Pirai. Santa Cruz.
- CCGUC-SEI. (2009). Fortalecimiento de las capacidades para hacer frente al cambio global.
- FAO56. (s.f.). Evapotranspiración del cultivo. *Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*.
- GONZALEZ, Á. (August de 2009). REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION WITH LIMITED CLIMATIC. *INTERNATIONAL CONGRESS OF HYDROCLIMATOLOGY(1ST)*, 14.
- Villazon Gomez, M. F. (Noviembre de 2011). Modelling and conceptualization of hydrology and river hydraulics in flood conditions, for Belgian and Bolivia basins. Bolivia.
- Villazón, M. y. (5-7 de Julio de 2010). Evaluación de desacumulación por hora de los datos de precipitación para el modelado de. *0 ° Simposio Internacional en el estocástico Hidráulica y 5ª Conferencia Internacional sobre*, 8.