



## Generación de la precipitación estimada con la herramienta Gridded Meteorological Ensemble Tool (GMET) para la cuenca Camacho del departamento de Tarija, Bolivia

### Estimated precipitation generation with the Gridded Meteorological Ensemble Tool (GMET) for the Camacho basin of the department of Tarija, Bolivia

*Evelin Jauregui y Mario Ramos*

**RESUMEN:**

El área de estudio seleccionado fue la cuenca del río Camacho que tiene una extensión de 950 km<sup>2</sup> y ubicado entre los 21°38'33,41" y 22°03'12,45" de latitud sur y los 64°36'14,033" y 65°03'1,117" de longitud oeste. Para el presente estudio se emplearon 17 estaciones pluviométricas del SENAMHI, para un periodo de análisis de 1980 al 2016. De las 17 estaciones, 2 se encuentran en la región alta, 7 en la región media, y 10 en la región baja de la cuenca. Con base a los datos de las estaciones meteorológicas se realizaron las corridas en la herramienta Gridded Meteorological Ensemble Tool (GMET) con una resolución espacial de 0.05° y 0.1° a escala de tiempo diario para un periodo de análisis de 1980 al 2016. Se corrieron, en la herramienta GMET, 30 ensambles con DEM de 90 m y otro DEM reescalado de 12 m con el objetivo de tener un mejor promedio de alturas para un pixel reescalado de 90 m. Los datos ya estandarizados y sometidos a un control de calidad y rellenados fueron introducidos al GMET para calcular los estimados de precipitación en una grilla para el periodo de 1980 al 2016. Los resultados muestran que el MAE cambió valores desde un mínimo 0.44 hasta un máximo de 2.89 con un promedio de 1.68 mm/día, lo cual indica que en promedio la estimación de GMET presenta una sobreestimación de 1.68 mm/día de diferencia con respecto a las observaciones o datos de tierra. Los resultados obtenidos sin pendiente presentan que el error sistemático y aleatorio descompuesto prueba la aplicabilidad del algoritmo de GMET con menos del 54% del error sistemático, lo cual muestra que el algoritmo está capturando los valores mensuales de precipitación para el territorio.

**PALABRAS CLAVE:**

Cuenca, estación meteorológica, precipitación, Gridded Ensemble Meteorological Tools (GMET), DEM.

**ABSTRACT:**

The selected study area was the Camacho river basin that has an extension of 950 km<sup>2</sup> and located between 21°38'33.41" and 22° 03' 12.45" south latitude and 64°36'14.033" and 65° 03'1,117" west longitude. For the present study, 17 rainfall stations of SENAMHI were used, for a period of analysis from 1980 to 2016. Of the 17 stations, 2 are in the high region, 7 in the middle region, and 10 in the lower region of the basin. Based on the meteorological station data, the runs were performed in the GMET tool with a spatial resolution of 0.05° and 0.1° at the daily time scale for a period of analysis from 1980 to 2016. Runs, in the GMET tool, 30 assemblies with DEM of 90 m and another DEM rescaled of 12 m with the aim of having a better average of heights for a rescaled pixel of 90 m. The data already standardized and subjected to a quality control and completed were introduced to the GMET to calculate the estimates of precipitation in a grid for the period from 1980 to 2016. The results show that the MAE changed values from a minimum 0.44 to a maximum of 2.89 with an average of 1.68 mm / day, which indicates that on average the GMET estimate presents an overestimation of 1.68 mm / day difference with respect to the observations or ground data. The results obtained without slope show that the systematic and random error decomposed test the applicability of the algorithm of GMET with less than 54% of the systematic error, which shows that the algorithm is capturing the monthly values of precipitation for the territory.

**KEYWORDS:**

Watersheds, meteorological station, precipitation, Gridded Ensemble Meteorological Tools (GMET), DEM.

**AUTORES:**

**Evelin Jauregui:** UCEP MI RIEGO – Ministerio de Medio Ambiente y Agua.

[evelin.jauregui@miriego.gob.bo](mailto:evelin.jauregui@miriego.gob.bo)

**Mario Ramos:** UCEP MI RIEGO – Ministerio de Medio Ambiente y Agua. Docente UMSA – Facultad agronomía. [mario.ramos@miriego.gob.bo](mailto:mario.ramos@miriego.gob.bo)

**Recibido:** 25/06/19. **Aprobado:** 26/07/19.

**DOI:** <https://doi.org/10.53287/nqas4564jv26p>





## INTRODUCCIÓN

Las aguas dulces superficiales, como componentes principales del medio natural, han desempeñado y desempeñarán un papel de suma importancia para el hombre y la sociedad. El estudio de las cuencas hidrográficas tiene, consecuentemente, una gran relevancia. Dentro de los métodos útiles para llevar a cabo una evaluación de los recursos de agua de una región se encuentra el del cálculo del balance hídrico. Con ello, se contribuye a conocer el ciclo hidrológico y a predecir cambios en el régimen de los ríos y arroyos. Obviamente ello se debe a que en zonas climáticas determinadas las lluvias modelan el régimen hidrológico de los ríos (Marini, M., Piccolo M., 2000).

En Bolivia el Programa Nacional de Riego con Enfoque de Cuenca (PRONAREC III) tiene entre unos de sus objetivos la “Mejora de la planificación de la Inversión y de la gestión de los recursos hídricos para riego en la microcuenca”, y se plantea el financiamiento de apoyo a los Gobiernos Municipales en la formulación de “Planes de Aprovechamiento Hídrico Local (PAHL)”, con el propósito de incentivar el proceso de planificación a partir del potencial hídrico de la microcuenca seleccionada en el territorio municipal, orientando las inversiones locales y nacionales en riego a partir de información procesada y sistematizada; en este entendido el 20 de julio del 2018 se ha iniciado con un estudio para la realización del PAHL en la cuenca del Camacho.

En ese entendido el área de estudio seleccionado fue la cuenca del río Camacho que tiene una extensión de 0 949,37 km<sup>2</sup> y ubicado entre los 21°38’33,41” y 22°03’12,45” de latitud sur y los 64°36’14,033” y 65°03’1,117” de longitud oeste (OEA, 1999). Dentro de la cuenca Camacho está el río Camacho que se extiende en dirección noreste, con una longitud aproximada de 78,67 km a partir de su nacimiento en el río Rejará hasta su confluencia con el río Guadalquivir. Debido a que las aguas de los ríos

en la parte alta se movilizan sobre afloramientos rocosos, la escorrentía superficial es mayor a la infiltración, siendo encauzada y controlada por estructuras pétreas, con un diseño de drenaje dendrítico. Los principales afluentes de la cuenca del río Camacho son los ríos: Armaus, Alisos, Tacuara, Camacho Alto, Cañas, Rejará y en segunda instancia también se alimenta por las Quebradas Colón, Saladillo, Almendros, Rumicanha, Cabildito y quebrada El Huayco. La cuenca es tributaria del río Guadalquivir, afluente del sistema río Grande de Tarija, río Bermejo, siendo parte de la región hidrográfica de La Plata.

En topografía sus diferencias altitudinales varían desde los 2670 m.s.n.m., en Uriondo, hasta los 4400 m.s.n.m. en Rejará. (SIHITA, 2019)

Por otro lado, en la cuenca predominan las pendientes muy pronunciadas y escarpadas con superficies de 225,82 y 223,95 km<sup>2</sup>, respectivamente, ambas pendientes representan el 47,07 % de la superficie total de la cuenca.

Con relación a la temperatura, en la zona de Miraflores de Cañas y Tacuara, oscila entre 16,4°C a 18,1°C, mientras que, en las zonas de Abra de San Miguel, Rejará y La Huerta, varían desde 10,6°C a 16,3°C. De un modo general, las temperaturas muestran una alta variación, desde los 19°C en la parte baja de la cuenca, hasta los 13°C en la parte alta (OEA, 1999).

Finalmente, la precipitación en las zonas de San José de Chaguaya, Tacuara, Camacho, La huerta y Cañas, la media anual oscila desde 800 mm a 900 mm; mientras que en las zonas de Rejará quebrada Cañas, Abra de San Miguel, la precipitación oscila entre los 900 y 1000 mm.

## METODOLOGÍA

Para el presente estudio se emplearon 17 estaciones pluviométricas del SENAMHI, para un periodo de análisis de 1980 al 2016. De las 17 estaciones, 2 se encuentran en la región alta, 7 en

la región media, y 10 en la región baja de la cuenca. Los datos climáticos fueron descargados de la base de datos SISMET del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SISMET – SENAMHI, 2018). La siguiente Figura 1, muestra el flujo de los procesos realizados para el presente estudio.

Como muestra la figura 1, los datos de precipitación del SENAMHI se sometieron a un control de calidad del periodo de análisis entre los años 1975 al 2018. Los datos diarios emplearon dos métodos: RCLIMDEX (RCLIMDEX, 2019) y DECADE de las cuales se obtuvieron correlaciones con umbrales aceptables bajo el método de regresión múltiple lineal tal y como muestra la Figura 2.



Figura 1. Flujo de procedimientos

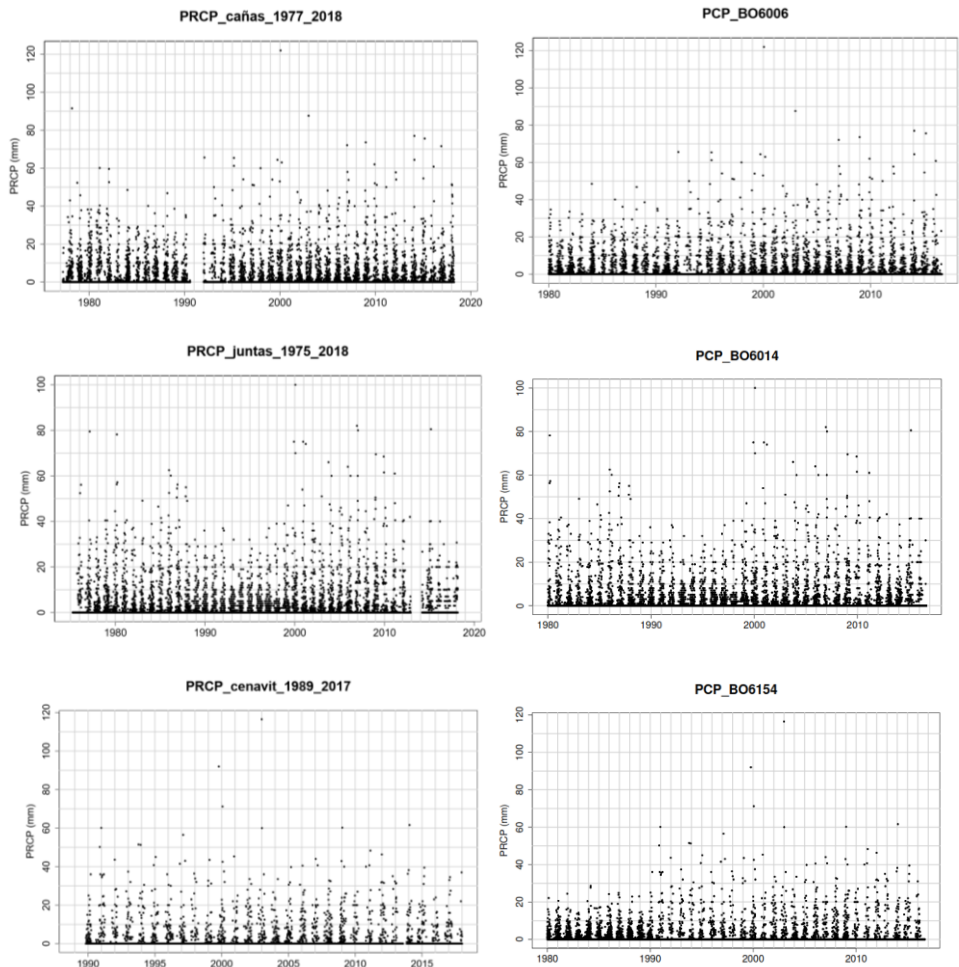


Figura 2. Control de calidad de datos de precipitación.



Realizado el control de calidad de los datos y relleno de datos faltantes, se efectuó una estandarización de los datos de precipitación a paso diario en el programa R (<https://www.r-project.org/>). Esta estandarización de datos se la realizó debido a que los datos de precipitación del SENAMHI se encuentran en hojas Excel bajo una estructura predefinida y el ingreso de datos a la herramienta GMET requiere una estructura matricial ordenada en filas y columnas, razón por la cual necesariamente debe realizarse el mencionado estandarizado de datos. La Herramienta de Ensamble Meteorológico de

Rejilla (GMET, por sus siglas en inglés) permite a los administradores del agua usar datos de estaciones para generar rejillas climáticas históricas para un área, junto con información estadística que puede proporcionar una estimación del nivel de incertidumbre.

En los últimos años, el Centro Nacional para la Atmósfera Research (NCAR) desarrolló GMET en colaboración con investigadores del Cuerpo de Ejército de EE. UU. Ingenieros y la Universidad de Washington. (SEI, 2019)

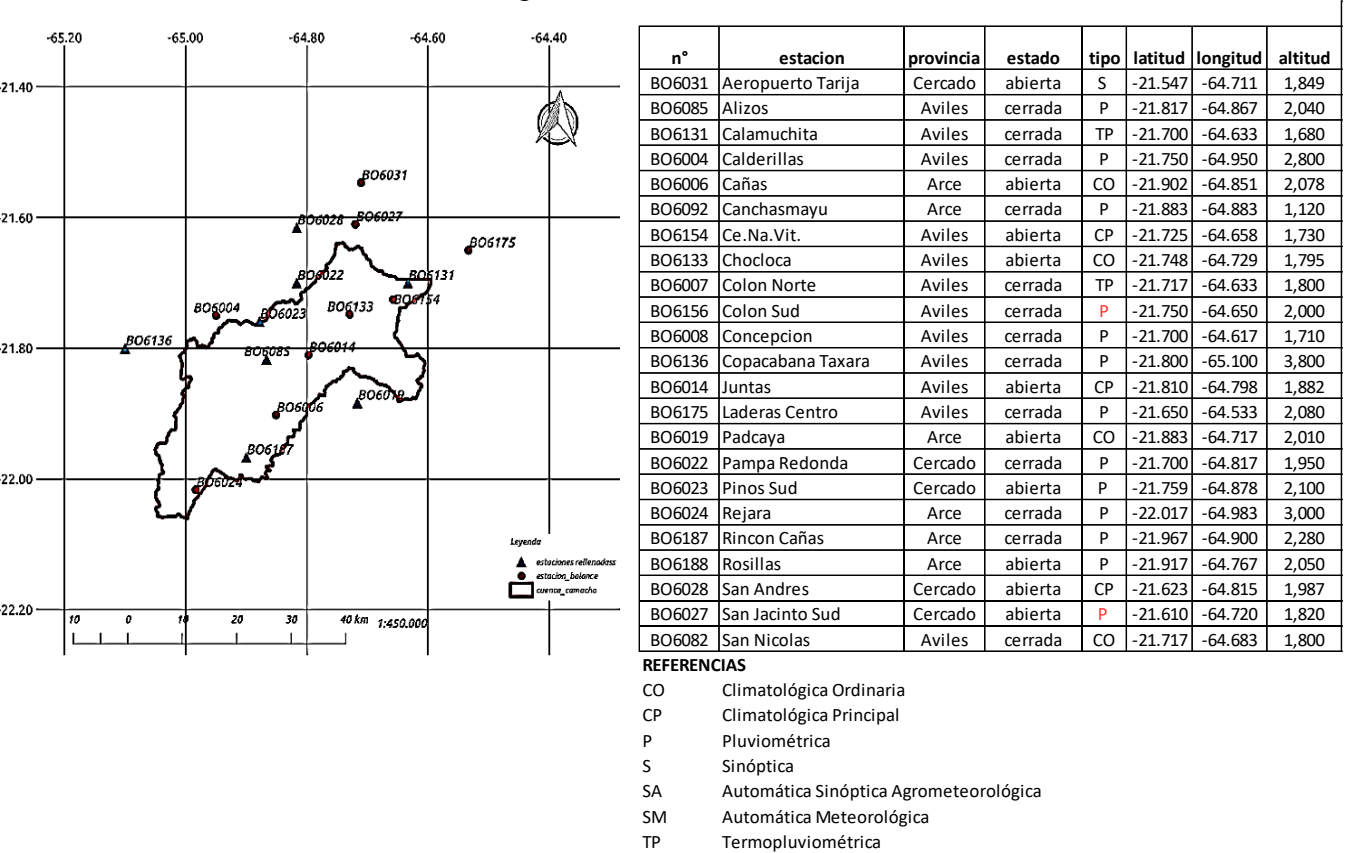


Figura 3. Control de calidad de los datos

Con los datos de tierra de precipitación (Pobs) a paso diario de las estaciones meteorológicas seleccionadas en el control de calidad y el modelo digital de elevación (DEM) de 90 metros de resolución descargados de la página (<http://srtm.csi.cgiar.org/>) se introdujeron al programa GMET para realizar las corridas de los datos para genera archivos NetCDF a una

resolución espacial de 0.05° y 0.1° para el periodo 1975 al 2016. Con las corridas realizadas, se obtuvieron 37 pasos de tiempo anual, 440 pasos de tiempo mensual y 13393 pasos de tiempo diario. Adicionalmente se reescaló un DEM de 12 m con el objetivo de tener un mejor promedio de alturas para obtener un pixel reescalado de 90 m. En las 2 corridas



realizadas con un DEM de 90 m y 12 m (reescalado), no se muestran grandes diferencias entre los tiempos de procesamiento de datos para la generación de los archivos NetCDF generado para un pixel de  $0.05^\circ$  a tiempo de paso diario y adicionalmente se realizó un estudio contemplando la influencia de la pendiente sobre las 17 estaciones.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación, se muestra los resultados de las medias mensuales, y anuales de la información de precipitación de la rejilla de precipitación generada por la herramienta GMET, para los escenarios: sin emplear datos de pendiente topográfica (Figura 4), y empleando datos de pendiente topográfica. (Figura 5)

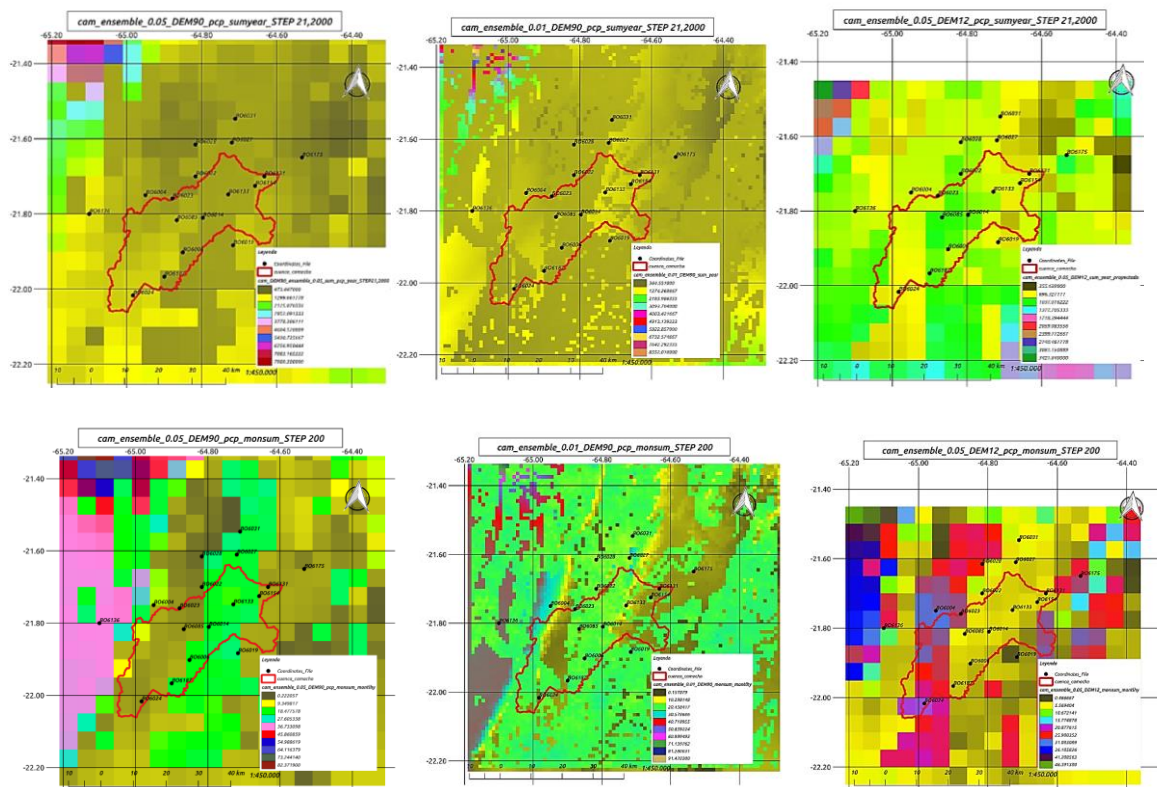


Figura 4. Precipitación generados por GMET (sin considerar valores de pendiente de la topografía).

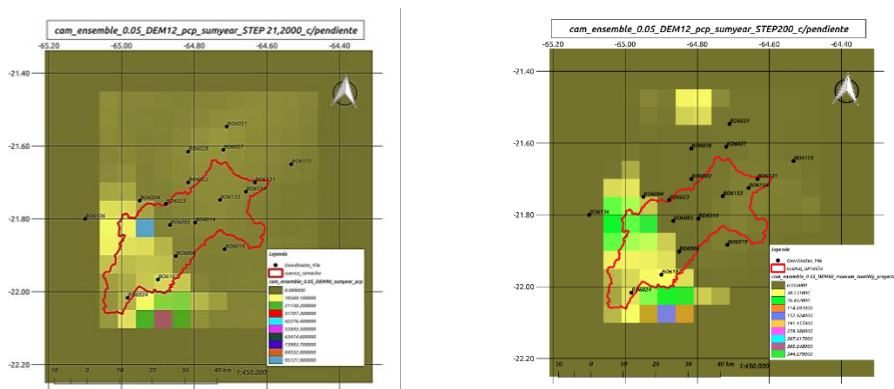


Figura 5. Precipitación generados por GMET (considerando valores de pendiente de la topografía).



La corrida con pendiente tiene una salida del ejecutable create\_grid\_regression representa un paso intermedio para la creación de archivos NetCDF, los campos resultantes son inestables, con valores de precipitación muy altas y los valores y errores para este paso de tiempo (relativo al resto de la grilla), es un indicador de problemas en la regresión. El "pcp error" que representan la incertidumbre estimada de la regresión presentan valores muy altos entre 5 a 10.

Los ensambles de precipitación con pendiente no generan un resultado valido, y esto es debido a que el área de estudio se realiza en una cuadrícula de 0.8° y GMET debe correrse en un área más extensa que permita capturar las condiciones del modelo de elevación digital y además se obtenga como mínimo 30 estaciones. Estas condicionantes para realizar corridas en GMET se contrapusieron con el área de estudio y la poca cantidad de estaciones de tierra para realizar unas corridas adecuadas y lo cual necesariamente incidió en los resultados y el hecho de contar con solo dos estaciones ubicadas

en la parte alta de la cuenca donde la pendiente es muy elevada.

Sin embargo, en un estudio realizado bajo el título de Gridded Ensemble Precipitation and Temperature Estimates over the Contiguous United States Versión 2.0 indica que el desarrollo de un conjunto cuadrulado, basado en observaciones, de precipitación y temperatura, un incremento diario para el período 1980-2012, permite la estimación de la precipitación y la incertidumbre de la temperatura en el modelado hidrológico y la asimilación de datos mediante el uso de la varianza del conjunto. La verificación estadística del conjunto indica que generalmente tiene buena confiabilidad y discriminación de eventos de diferentes magnitudes (Newman *et. al.*, 2015) lo cual no coincide con el presente estudio.

En la siguiente tabla se muestran las métricas estadísticas de la precipitación generada con la herramienta GMET a la escala de paso diaria para la rejilla de precipitación para los escenarios: sin emplear datos de pendiente topográfica (Tabla 1).

Tabla 1. Coeficiente de correlación de análisis comparativo entre precipitación observada y generados por GMET (sin considerar valores de pendiente de la topografía)

	Min	Prom	Max
<b>MBE (%)</b>	-107.83	2.2.2	52.81
<b>Correlación</b>	0.45	0.68	0.95
<b>RMSE</b>	1.40	4.45	7.76
<b>CV-RMSE</b>	1.27	2.31	3.04
<b>MAE (mm/día)</b>	0.44	1.68	2.89

Corel	MBE	RMSE	CVRMSE	MAE	
0.58	11.54	5.08	2.53	2.08	BO6014
0.45	47.17	6.68	2.08	2.89	BO6024
0.74	-0.95	3.93	2.39	1.30	BO6027
0.77	-9.23	3.57	2.23	1.20	BO6031
0.73	9.47	3.97	2.20	1.40	BO6133
0.74	-19.76	3.10	2.53	1.08	BO6154
0.62	18.77	5.08	2.34	2.08	BO6085
0.71	-40.73	2.62	2.70	0.85	BO6131
0.63	52.81	7.76	2.27	2.78	BO6004
0.54	10.55	5.02	2.57	2.10	BO6006
0.76	-107.83	2.67	3.04	1.08	BO6136
0.95	-21.20	1.40	1.27	0.44	BO6175
0.57	25.74	5.55	2.30	2.22	BO6022
0.60	5.49	4.44	2.43	1.86	BO6187
0.61	36.34	6.94	2.30	2.50	BO6028
0.85	17.37	3.43	1.71	1.11	BO6019

En la tabla se observa que los resultados generados bajo los escenarios sin considerar las pendientes de la topografía presentan un mejor

ajuste, el MAE que cambió desde un mínimo 0.44 hasta un máximo de 2.89 con un promedio de 1.68 mm/día, esto significa que en promedio

la estimación de GMET presenta una sobreestimación de 1.68 mm/día de diferencia con respecto a las observaciones o datos de tierra.

Para el área de influencia de la cuenca del río Camacho no se tiene una densidad espacial y disponibilidad de datos continuos de estaciones pluviométrica ya que solo existen 17 estaciones meteorológicas, lo cual limita la representación espacial de las variables climáticas, principalmente de la precipitación.

Por otro lado, la herramienta GMET intervino en varios estudios en latitudes sobre los 25° al norte en áreas extensas pero el presente trabajo se desarrolló en latitudes menores a 22°.

## CONCLUSIONES

En cuanto a la validación de la grilla se encontró que el producto generado por GMET para el cálculo de la estimación de la precipitación fue evaluado usando diferentes estadísticos para el tiempo de paso diario.

Los resultados obtenidos sin pendiente presentan que el error sistemático y aleatorio descompuesto prueba la aplicabilidad del algoritmo de GMET con menos del 54% del error sistemático, lo cual muestra que el algoritmo está capturando los valores mensuales de precipitación para el territorio.

Finalmente se indica que para la cuenca en estudio los escenarios empleando la regresión adicional de slope, no mejoran los resultados de la precipitación estimada.

## RECOMENDACIONES

Debido a la falta de estaciones para la zona de estudio se recomienda aumentar la cantidad de estaciones o en su defecto contar con otro tipo de datos de entrada como ser los sensores remotos: CHIRPS, SRTM o que el mejor se adecúe; previo a un análisis de densidades en la cuenca, que tenga como mínimo treinta estaciones, las cuales estén distribuidas de manera homogénea para una buena generación de la grilla y a la vez una mejor validación. Sin

embargo, considerando la disponibilidad de información genérica satelital, es posible mejorar la representación espacial de la variable de precipitación, realizando combinaciones con datos meteorológicos de tierra, y procesándolos con métodos de interpolación espacial.

Realizar el estudio de la cuenca por periodos de 1980-1993 y 1993-2016 para que se incorporen, en cualquiera de los periodos aquellas estaciones que fueron depuradas al inicio por falta de extensión de datos en todo el periodo estudiado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

HYDROSHEDS. (2019). Recuperado de: <https://hydrosheds.cr.usgs.gov/datadownload.php?reqdata=3demg>.

Marini, M. y Piccolo M. (2000). El balance hídrico en la cuenca del río Quequén salado, Argentina. Papeles de geografía, n° 31, 2000. Recuperado de: <https://revistas.um.es/index.php/geografia/article/view/47411>

Newman A., Clark M. y Craig J. Recuperado de: <https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/JHM-D-15-0026.1>.

O.E.A. (1999). Plan de manejo integral de los recursos naturales de la cuenca del río camacho. Tarija. Recuperado de: [http://servicios.ucbtja.edu.bo:8090/sihita/css/docs/PLN-00020/PLN-00020\\_DOC.pdf](http://servicios.ucbtja.edu.bo:8090/sihita/css/docs/PLN-00020/PLN-00020_DOC.pdf).

SIHITA. Estudio TESA Construcción Sistema de Riego Rejará. Recuperado de: [http://servicios.ucbtja.edu.bo:8090/sihita/css/docs/EST-00048/anexos/ANEXO\\_12\\_HIDROLOGIA.pdf](http://servicios.ucbtja.edu.bo:8090/sihita/css/docs/EST-00048/anexos/ANEXO_12_HIDROLOGIA.pdf).

SISMET – SENAMHI. (2017). Recuperado de: <http://senamhi.gob.bo/index.php/sismet>.

Generación de la precipitación estimada con la herramienta Gridded Meteorological Ensemble Tool (GMET) para la cuenca Camacho del departamento de Tarija, Bolivia.

SEI. (2019). Recuperado de:  
<https://www.sei.org/wp-content/uploads/2019/03/gmet-in-bolivia.pdf>.

RCLIMDEX, (2019). Recuperado de:  
[https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:ES7wN-yYnSsJ:scholar.google.com/&hl=es&as\\_sdt=0,5](https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:ES7wN-yYnSsJ:scholar.google.com/&hl=es&as_sdt=0,5)