



# Desempeño de los modelos hidrológicos SWAT y GR2M en la cuenca hidrográfica del Amazonas en Perú: cuenca del río Mayo

Santiago Alberto Casas Luna<sup>1,2</sup>, Waldo Sven Lavado Casimiro<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, San Martín - Perú

<sup>2</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Perú

<sup>3</sup> Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Lima 11 - Perú



## INTRODUCCION

La cuenca del río Amazonas es la más grande del planeta, con un área de drenaje de 6 200 000 km<sup>2</sup> y un caudal anual promedio de 6 300 km<sup>3</sup> de agua que vierte al océano Atlántico (Molinier et al. 1996, Marengo 2006). Emanuel & Escurra (2000) mencionan que la cuenca del río Amazonas tiene casi el 99% del total de los recursos hídricos existentes en el territorio peruano y un estudio realizado por la UNESCO (2006) considera que la disponibilidad anual neta de agua en esta cuenca es de 2696 mm. La cuenca del río Mayo cubre aproximadamente el 0.14 % del total de la cuenca del Amazonas y el 0.72 % del territorio peruano (Figura 1), se caracteriza por presentar grandes variaciones altitudinales de 200 hasta 4000 msnm.

Los modelos de balance hídrico para la cuenca amazónica son más utilizados a macro escala abarcando toda la cuenca (por ejemplo, Russell & Miller 1990, Miller et al. 1994, Marengo et al. 1994, Nijssen et al. 1997, 2001, Beighley et al. 2009) y confrontan el problema de la subestimación sistemática de las precipitaciones y los caudales, debido a la falta de disponibilidad de la información pluviométrica en la cuenca amazónica (Lavado, et al., 2011).

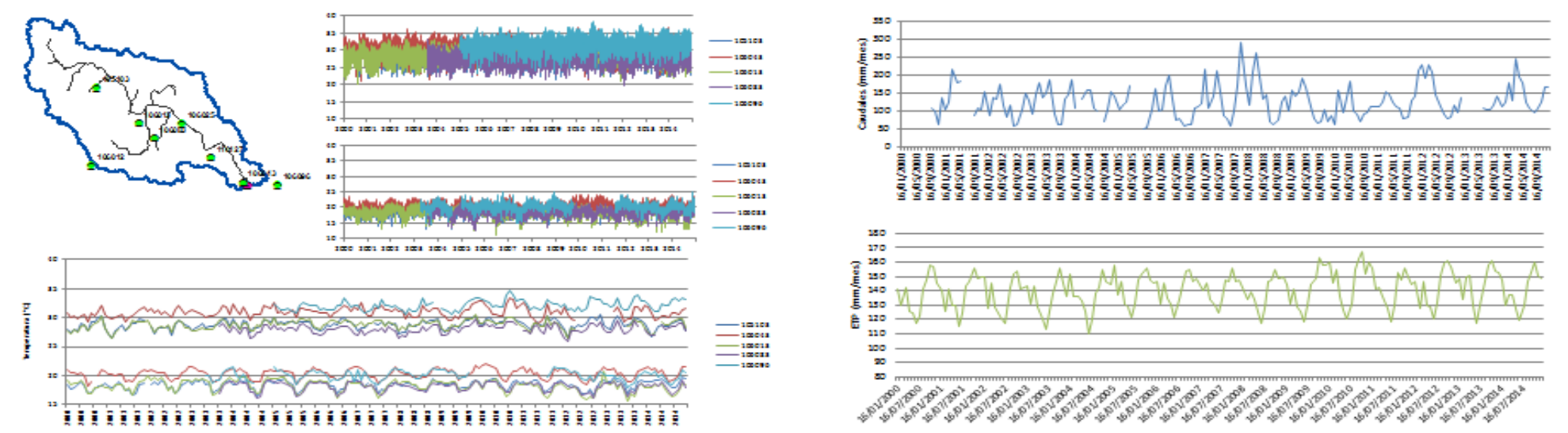


Figura 2. Distribución de estaciones y datos hidrológicos utilizados para el modelo SWAT y GR2M

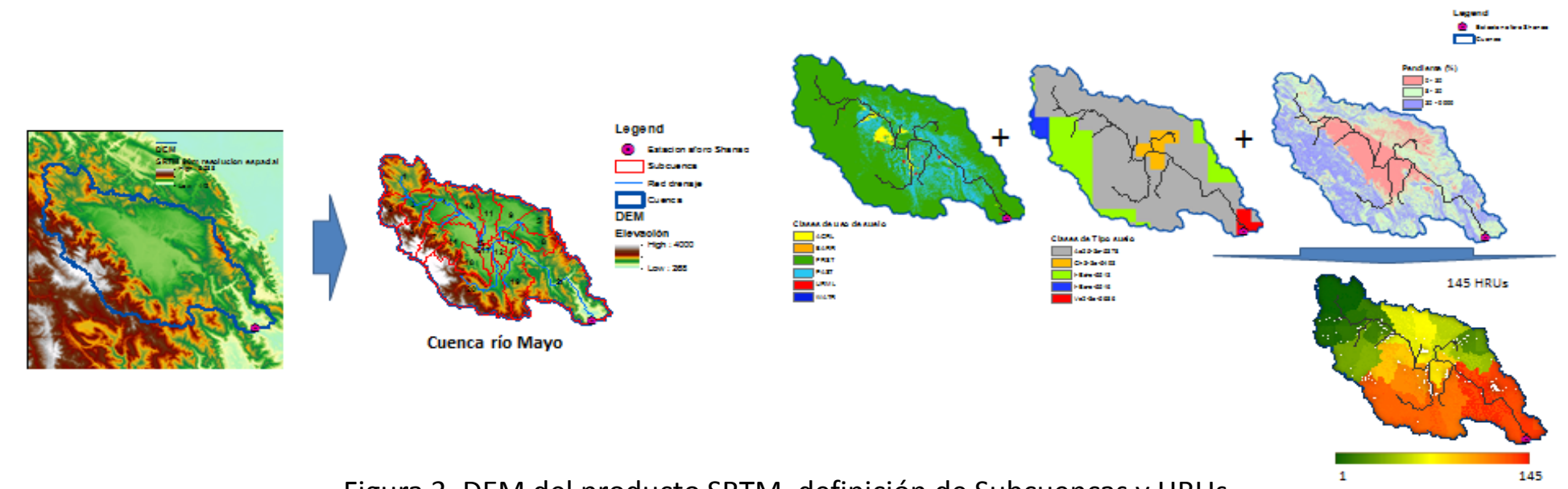


Figura 3. DEM del producto SRTM, definición de Subcuenas y HRUs



Figura 1. Localización del área de estudio, elevaciones, subcuenas y estaciones hidroclimáticas

## AREA DE ESTUDIO

La cuenca del Río Mayo se ubica al nor oeste de la cuenca del río Amazonas (Figura 1), entre los departamentos de Amazonas, San Martín y Loreto; se extiende a las provincias de Jumbilla, Rioja, Moyobamba, Lamas y San Martín y Alto Amazonas; el estudio comprende aguas arriba a la estación Shanao, que tiene una superficie de 8 372 km<sup>2</sup>. Su altitud máxima es de 4000 msnm y la mínima 268 msnm. La cuenca, tiene un clima predominante de cálido lluvioso en la parte baja y media, clima predominante de bosque húmedo lluvioso en la parte alta (Bosque de Protección Alto Mayo – BPAM).

## METODOLOGIA

La distribución de estaciones y datos hidrológicos utilizados corresponden a los años 2000 – 2014 (Figura 2). Para el modelo hidrológico GR2M, se requiere información procesada de las variables climáticas a escala de la cuenca de drenaje; con el módulo espacial de Hydraccess (Vouchel 2006) se determinó los valores areales de la precipitación y evapotranspiración mensuales para el periodo 2000-2014. La variable evapotranspiración se analizó con el modelo de Hargreaves & Samani (1985), cuya ecuación es:

$$ETP = 0.0023(T_{med} + 17.8)(T_{máx} - T_{mín})^{0.5} * Ra \quad [1]$$

Donde: ETP es evapotranspiración (mm.día<sup>-1</sup>), T<sub>med</sub> es temperatura media (°C), T<sub>máx</sub> es temperatura máxima (°C), T<sub>mín</sub> es temperatura mínima (°C) y Ra es Radiación (mm.día<sup>-1</sup>).

Para el modelo hidrológico SWAT, el balance hídrico se basa en la siguiente ecuación:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad [2]$$

Donde, SW<sub>t</sub>: Contenido de agua final en el suelo (mm), SW<sub>0</sub>: Contenido de agua inicial en el suelo del día i (mm), R<sub>day</sub>: Cantidad de precipitación del día i (mm), Q<sub>surf</sub>: Cantidad de escorrentía superficial del día i (mm), E<sub>a</sub>: Cantidad de evapotranspiración del día i (mm), W<sub>seep</sub>: Cantidad de agua que entra en la zona no saturada del perfil del suelo en el día i (mm), Q<sub>gw</sub>: Cantidad de flujo de retorno del día i (mm) y t es el tiempo (días). El contenido de agua en el suelo SW se considera como la cantidad de humedad dentro de la zona radical menos el contenido de agua a punto de marchitez (Neitsch et al., 2002a).

La cantidad de escorrentía es estimada con la metodología del número de la curva del SCS de los Estados Unidos, con datos de lluvia diarios. Esta ecuación se fundamenta en que la escorrentía está determinada por el suelo, la cobertura de suelo y la práctica de manejo que en este se realice. El SWAT considera flujo lateral, percolación y flujo de retorno.

El modelo SWAT ofrece tres métodos para la estimación de la evapotranspiración potencial: Penman-Monteith, Hargreaves and Samami y Priestley – Taylor. Las variables climáticas utilizadas por el SWAT son la precipitación, la temperatura del aire, radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa. La producción de sedimentos es calculada para cada unidad de respuesta hidrológica con la modificada ecuación [3] de la pérdida universal del suelo (MUSLE):

$$Y = 11.8 (V_{qp})^{0.56} (K) (C) (PE) (LS) \quad [3]$$

Donde Y: producción de sedimentos desde la subcuenca en t; V: volumen de escurrimiento superficial para la subcuenca en m<sup>3</sup>; qp: tasa de flujo pico en m<sup>3</sup>/s; K es el factor de erodabilidad del suelo, C: factor de manejo; PE: factor de práctica del control de la erosión; LS: factor de longitud de inclinación.

Para el presente estudio, El DEM utilizado es del producto SRTM (<http://srtm.csi.cgiar.org/>); se delimitó la cuenca en SWAT utilizando el DEM, luego se ha dividido en 21 sub-cuenas, con umbral mínimo de 25000 has. Para definir el HRU en SWAT se ha clasificado los datos de entrada: uso de suelo (GlobeLand30 - <http://www.globallandcover.com/>), tipo de suelo (Mapa de suelo de FAO - [http://www.waterbase.org/download\\_data.html](http://www.waterbase.org/download_data.html)) y la clasificación de pendiente en rangos de 0-8, 8-30 y 30-9999% (Figura 3).

## RESULTADO Y DISCUSION

En el modelo SWAT, se tiene el uso de suelo predominante: forestales (77.9 %) y pastizales (19.4%); el tipo de suelo predominante es Ao25-3c-5378 (74 %) que pertenece a los acrisoles órticos y litosoles (17%); el mayor porcentaje (44%) de pendiente en la cuenca se encuentra en el rango de 8-30 %, seguido (32 %) de la pendiente en el rango 30-99-99 %.

Los resultados del desempeño hidrológico del modelo SWAT de la cuenca (Figura 4.), tiene una contribución de precipitación anual es 1567mm de los cuales 789 mm se evapotranspiran; el rendimiento hídrico de la cuenca es de 725 mm de los cuales 37 % es escorrentía superficial y 63 % es flujo base (Figura 5).

En el modelo GR2M, a paso mensual, se desarrollan tres procesos fundamentales, que ha permitido el análisis de aplicación a la cuenca del río Mayo: la calibración, la validación del modelo y la sensibilidad de los parámetros. Para el primer caso, en la parte de la calibración del modelo, se usó la herramienta solver, incorporado dentro del programa Excel.

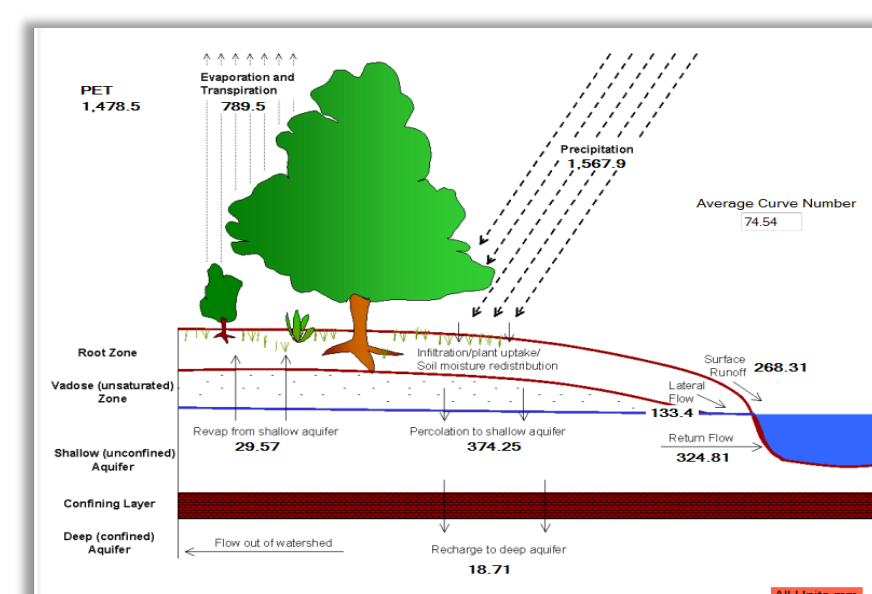


Figura 4. Desempeño hidrológico de la cuenca río Mayo

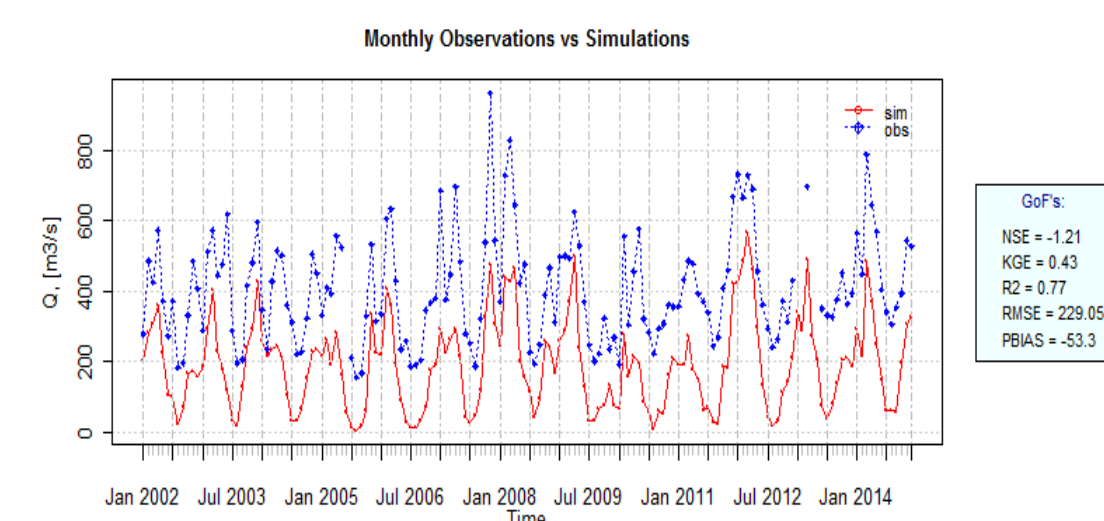


Figura 5. Primera simulación del Modelo SWAT de la cuenca

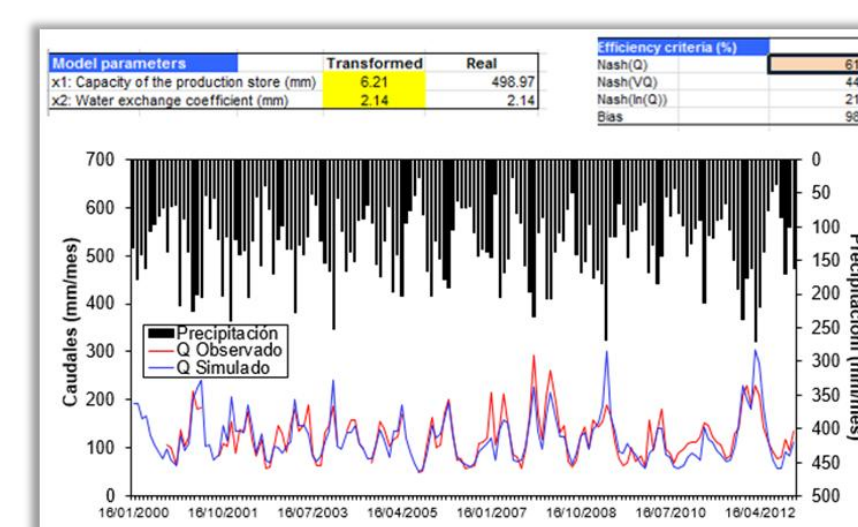


Figura 6. Calibración del modelo GR2M de la cuenca

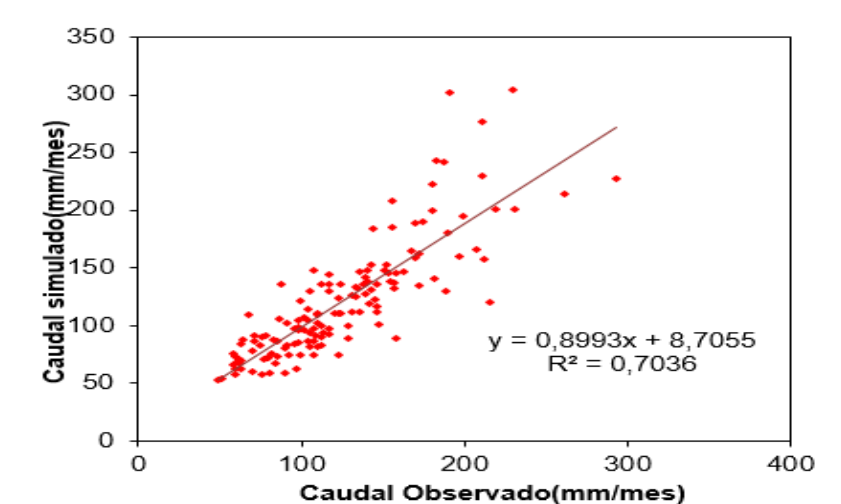


Figura 7. Correlación entre los caudales simulados y observados

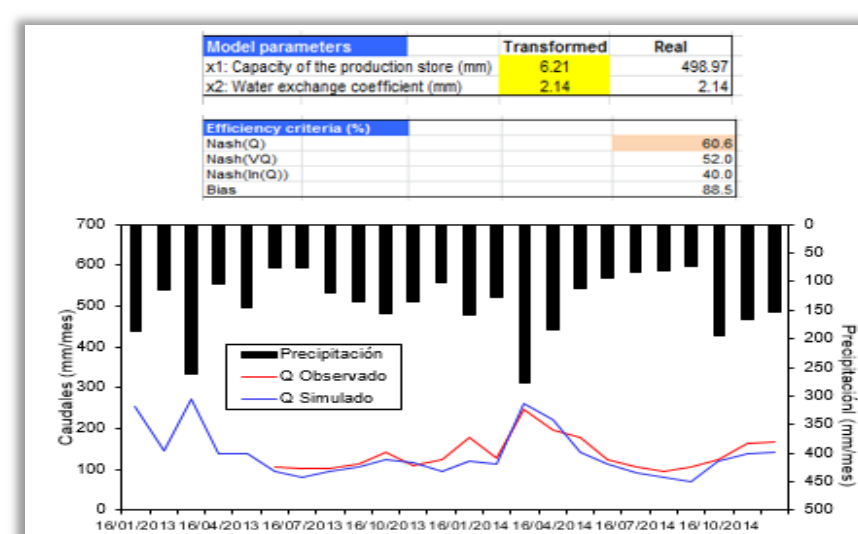


Figura 8. Validación del modelo GR2M de la cuenca

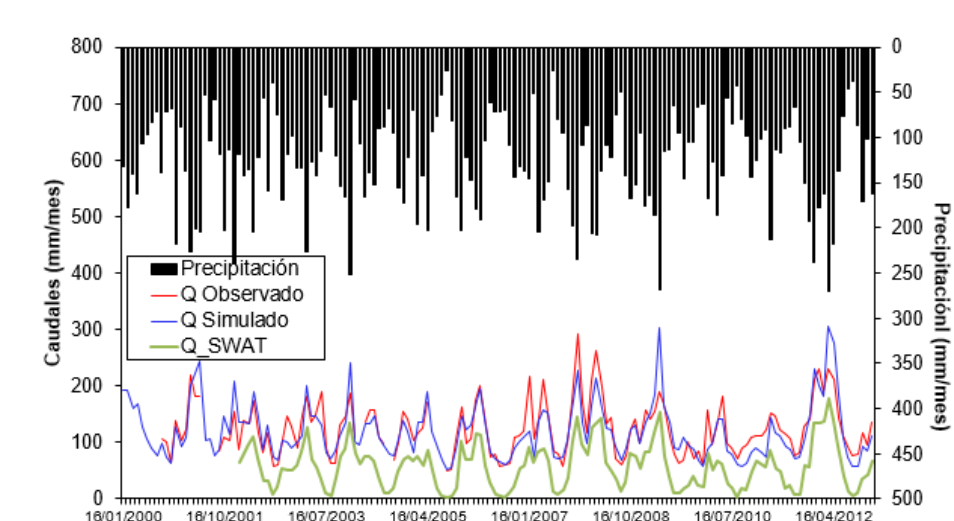


Figura 9. Desempeño de los modelos SWAT y GR2M

## CONCLUSION

Del análisis de desempeño de los modelos hidrológicos SWAT y GR2M, para la cuenca del río Mayo, se concluye que el modelo GR2M logra un mejor ajuste pero forzando el parámetro X1 (Capacidad máxima de almacenamiento del reservorio suelo) durante la calibración. Por lo que, en las condiciones de datos empleados en el presente estudio, la aplicación del modelo GR2M es recomendable pronosticar los caudales mensuales en la cuenca del río Mayo.

## BIBLIOGRAFIA

- Alcántara, A., Montalvo, N., Mejía, A., Ingol, E. 2014. Validación de modelos hidrológicos lluvia-escorrentía para su aplicación a la cabecera de cuenca del río Jequetepeque. Perú.  
 Lavado, W., Labat, D., Loup, J., Ardoin-Bardin, S., Ordoñez, J. 2011. Modelos de balance hídrico mensual en la cuenca hidrográfica del Amazonas en Perú: cuenca del río Ucayali.  
 Vera, H., Obando, Oscar. 2011. Modelización de los caudales medios mensuales en la cuenca del río Ramis. Puno, Perú.  
 Oñate, F., Aguilar, G. 2014. Aplicación del modelo SWAT para la estimación de caudales y sedimentos en la cuenca alta del río Catamayo. Ecuador.