



## Determinación del método eficiente para calcular la evapotranspiración potencial para un modelo Lluvia - escorrentía en la cuenca Huancané Puno

### Determination of the efficient method to calculate the potential evapotranspiration for a Rain - runoff model in the Huancané basin - Puno

PEDRO HUACCOTO GARCIA<sup>1</sup> y ALCIDES HECTOR CALDERON MONTALICO<sup>2</sup>

#### RESUMEN

La investigación se realizó en la cuenca Huancané con el objetivo de determinar el método eficiente para calcular la evapotranspiración potencial para un Modelo Lluvia - Escorrentía en la Cuenca Huancané-región Puno. Los datos usados son mensuales de siete estaciones meteorológicas de periodos 1964 a 2016 registrados por la institución SENAMHI, para determinar el método más eficiente se plantearon nueve métodos de evapotranspiración potencial (tanque tipo 'A', Penman Monteith, Thornthwaite y Wilm, Hargreaves en base a Temperatura y Radiación, Oudin, Blaney y Criddle, Turc y Jensen - Haise), con diferentes variables climáticas de entrada: temperatura media, temperatura mínima, temperatura máxima, velocidad del viento, humedad relativa, evaporación y horas de sol; para los cuales se realizó un modelamiento hidrológico con los nueve métodos de ETP. Con el modelo hidrológico GR2M que tiene como datos de entrada precipitación, evapotranspiración potencial y caudal. Los caudales observados de la estación hidrométrica Puente Huancané se compararon con caudales simulados. Para determinar el desempeño de los métodos empíricos de evapotranspiración potencial se utilizó indicadores estadísticos como: el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), coeficiente de correlación ( $r$ )

<sup>1</sup>Colegio de Ingenieros del Perú, Consejo Departamental Puno. Puno, Perú

<sup>2</sup>Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú

y eficiencia de Nash y Sutcliffe (NSE). Finalmente, la investigación ha logrado establecer como método eficiente para determinar la evapotranspiración potencial a los métodos de Thornthwaite y Wilm, Hargreaves en base a temperatura, Oudin y Blaney-Criddle, en donde presentan un mejor desempeño en fase de calibración una eficiencia de Nash (NSE: 0,73 – 0,80; NSEL: 0,84 – 0,86), coeficiente de determinación ( $R^2$ : 0,80 – 0,84). Pero para la fase de validación estos métodos tienen mejor desempeño.

**Palabras clave:** método eficiente; modelo lluvia-escorrentía; evapotranspiración potencial.

## **ABSTRACT**

The research was carried out in the Huancané basin, with the objective of determining the efficient method to calculate the potential evapotranspiration for a Rain-Runoff Model in the Huancané Basin - Puno region. The data used were monthly from seven meteorological stations from periods 1964 to 2016 registered by the SENAMHI institution. To determine the most efficient method, nine potential evapotranspiration methods were proposed (tank type 'A', Penman Monteith, Thornthwaite and Wilm, Hargreaves in based on Temperature and Radiation, Oudin, Blaney and Criddle, Turc and Jensen - Haise), with different input variables: average temperature, minimum temperature, maximum temperature, wind speed, relative humidity, evaporation and hours of sunshine, for which a hydrological modeling was performed with the nine ETP methods. With the hydrological model GR2M that has as input data precipitation, potential evapotranspiration and flow. The observed flows were compared with simulated flows at Puente Huancané station. To determine the performance of empirical methods of potential evapotranspiration, statistical indicators were used, such as the coefficient of determination ( $R^2$ ), correlation coefficient ( $r$ ) and Nash and Sutcliffe efficiency (NSE). Finally, potential research has established as an efficient method to determine evapotranspiration to the methods of Thornthwaite and Wilm, Hargreaves based on temperature, Oudin and Blaney-Criddle, where they present a better performance in the calibration phase a Nash efficiency (SEN: 0,73 – 0,80; NSEL: 0,84 – 0,86), coefficient of determination ( $R^2$ : 0,80 – 0,84). But for the validation phase these methods perform better.

**Keywords:** efficient method; rain-runoff model; potential evapotranspiration.

## INTRODUCCIÓN

La evapotranspiración potencial es una variable climática de gran importancia para los sistemas hidrológicos, agrícola, industrial y energético. El principal problema que presenta la región de Puno es la ausencia relativamente escasas de pluviómetros convencionales y mal distribuidos (Alexander et al. , 2018), los cuales tiene representatividad alrededor de  $25 \text{ km}^2$  alrededor de cada una según Lujano et al. (2015), por lo tanto la ausencia de datos climáticos como radiación solar, velocidad del viento, humedad relativa y evaporación, así mismo en la cuenca Huancané cuenta con escasa mediciones directas de ETP (Flores , 2013), por lo cual se hace estrictamente necesaria su correcta aplicación mediante las fórmulas teóricas y/o empíricas que ofrecen autores como Penman, Thornthwaite, Blaney, Criddle y Turc, entre otros.

Tal es necesidad de recorrer a métodos empíricos que determinen la evapotranspiración potencial sin usar estos parámetros climáticos, y a su vez comprobar su influencia de estos métodos de varios parámetros climáticos con respecto a métodos que determinan la ETP en base a un parámetro climático en un estudio hidrológico (Bai et al. , 2016; Lang et al. , 2017; Michel et al. , 2005).

Paradójicamente, la existencia de tantas metodologías ha convertido la estimación de la ETP en una ardua labor que los hidrólogos tienen que enfrentar a diario para realizar con éxito su trabajo en los últimos años (Almorox et al. , 2016). Dado que la ETP se calcula a partir de información climatológica, la preocupación por encontrar una metodología óptima para su estimación se presenta en muchos países alrededor del mundo.

A lo largo de los años, numerosos estudios han sido desarrollados a partir de la evapotranspiración potencial podemos mencionar los estudios realizados por DehghaniSanij et al. (2004) extienden la estimación de la evapotranspiración potencial a seis métodos: Penman, Penman Monteith, Wright Penman, Blaney Criddle, Hargreaves y el de Balance de Radiación. Los valores son calculados en un ambiente semiárido de Irán, y comparados con las mediciones experimentales obtenidas con lisímetros, concluyendo en que la mejor estimación en esta zona se alcanza con el método de Penman. Así mismo Almorox et al. (2016) compararon diferentes métodos de estimación de la evapotranspiración (Thornthwaite, Thornthwaite modificado, Blaney-Criddle, Turc y Hargreaves) con el método de Penman-Monteith, que se ha tomado

como el estándar, en doce estaciones meteorológicas de Uruguay. Los resultados muestran que los métodos de Turc y Hargreaves, son los que mejor se aproximan al valor de Penman - Monteith. Igualmente [Li et al. \(2016\)](#) compararon seis métodos de evapotranspiración potencial para uso regional en el sureste de Estados Unidos. Se comparan tres métodos de ETP basados en la temperatura (Thornthwaite, Hamon y Hargreaves-Samani) y tres basados en la radiación (Turc, Makkink y Priestley-Taylor). Se encontró que los valores de ETP calculados a partir de los seis métodos estaban altamente correlacionados (coeficiente de correlación de Pearson 0,85 a 1,00). En general, los métodos de Priestley-Taylor, Turc y Hamon se desempeñaron mejor que los otros métodos de ETP.

Similarmente [Ahmad et al. \(2017\)](#) compararon métodos de estimación de ETP, los métodos que se estudiaron, Penman Monteith Modificado, Hargreaves, Turc, Blaney Criddle, Christiansen y Open Pan con referencia al método de Penman Monteith (FAO-56). El método de Penman modificado estuvo más correlacionado con el método Penman Monteith (FAO-56) con el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) tan alto como 0,99. El método de Penman modificado fue seguido por el método de Hargreaves con  $R^2$  de 0,98; [Lang et al. \(2017\)](#) realizaron un estudio comparativo de ocho métodos de evapotranspiración potencial con respecto al método de Penman Monteith (FAO-56) mostraron un buen desempeño en zona árido valle del río, los métodos de Hargreaves-Samani, Makkink y Abtew mientras que los métodos basados en la temperatura, Hargreaves-Samani, Thornthwaite, Hamon, Linacre y Blaney-Criddle, tuvieron mejor desempeño en Zonas húmedas (épocas de verano y otoño).

El objetivo del presente estudio fue determinar el método eficiente, en base a nueve métodos de evapotranspiración potencial el método que presenta menor parámetro climático y que tenga mayor representatividad en la simulación de caudal con modelo hidrológico GR2M, las cuales serán calibradas y validadas con medidas directas de caudales de la estación hidrológica puente Huancané.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Área de estudio**

La cuenca del río Huancané, se encuentra ubicada dentro de la región hidrográfica del Titicaca, entre las coordenadas UTM (WGS84, zona 19 sur); Este: 376030m-468557m, Norte: 8301965m-8397410m y altitud comprendida entre los 3806 – 5100m.s.n.m. El área hasta el punto de

*Determinación del método eficiente para calcular la evapotranspiración potencial para un modelo Lluvia -escorrentía en la cuenca Huancané Puno*

confluencia de la estación hidrológica es de  $3631\text{km}^2$  (figura 1). La longitud de su río principal desde sus nacientes hasta su desembocadura llega a medir aproximadamente 142 km. La precipitación sobre el Altiplano se encuentra prácticamente concentrada en el verano austral (diciembre, enero y febrero), especialmente a lo largo del parte suroeste del mismo, donde más del 70 % de precipitación ocurre de diciembre a febrero (Alexander et al. , 2018).

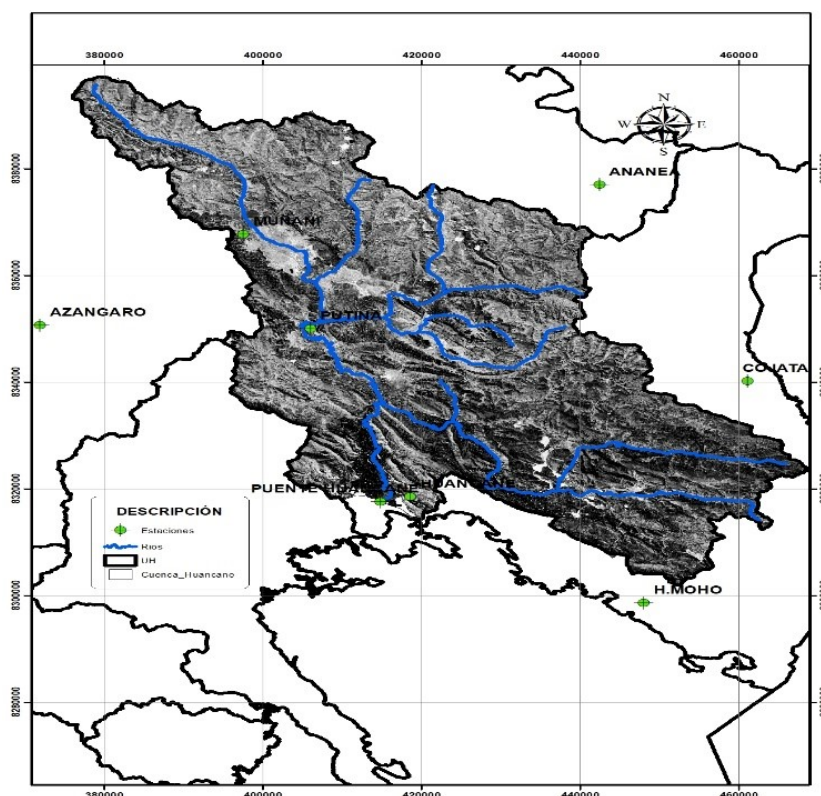


Figura 1. Localización geográfica de la cuenca del río Huancané, al Norte de la región hidrográfica del Titicaca lado Peruano, los círculos representan la ubicación espacial de las estaciones hidrometeorológicas.

### Datos utilizados

Se utilizó la información Hidrometeorológica de ocho estaciones (tabla 1) que corresponde a precipitación media mensuales correspondientes a los años 1964 – 2016 ubicadas en la zona de estudio (dentro y cercanas a la cuenca) y administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI-PERÚ). Los datos de precipitaciones fueron interpolados mediante el método de Kriging, Media Aritmética, Thiessen y Distancia inversa Cuadrática (IDW) utilizando para ello el Software Hydraccess, así mismo se utilizó para la calibración y validación

La información de caudales medios mensuales de la estación Puente Huancané en la tabla 1 se muestran las características de las estaciones en estudio.

Tabla 1. Características de ubicación de las estaciones hidrometeorológicas

N°	Estación	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m)
1	Ananea	442448, 637	8377140, 23	4660
2	Azángaro	371914, 753	8350788, 02	3848
3	Cojata	461164, 829	8340339, 62	4327
4	Huancané	418559, 305	8318649, 61	3840
5	H. Moho	448065, 955	8298690, 1	3832
6	Muñani	397570, 068	8367817, 07	3948
7	Putina	406021, 952	8350187, 25	3856
8	Puente Huancané	414873, 009	8317644, 05	3814

### Modelo Hidrológico GR2M

Es un modelo desarrollado por el CEMAGREF (Centro de Investigación Agrícola e Ingeniería Ambiental, Francia), quien propuso un modelo global, lo más simple posible, para reconstruir los caudales a partir de la precipitación y la evapotranspiración. El modelo GR2M, funciona a paso de tiempo mensual, el cual está basado en la transformación de la lluvia en escorrentía, a través de la utilización de un conjunto de ecuaciones (Mouelhi et al. , 2006).

### Métodos Empleados

Para la estimación de la evapotranspiración se seleccionó Método directo de tanque de evaporación clase 'A', así mismo los Métodos indirectos los cuales son Método Penman- Monteith Allen et al. (2018), Thornthwaite y Wilm (Thornthwaite et al. , 1944), Hargreaves (Por Temperatura y Radiación) (Hargreaves y Samani, 1982; Hargreaves y Samani , 1985), Oudin (Michel et al. , 2005), Blaney y Criddle (Obioma et al. , 2015), Turc (Diouf et al. , 2016) finalmente Jensen y Haise (Jensen y Haise , 1963).

### Eficiencia de Nash y Sutcliffe (NSE)

El criterio utilizado para cuantificar los resultados o para evaluar el poder predictivo de modelos hidrológicos, fue propuesto por Nash y Sutcliffe (1970), se puede utilizar para describir cuan-

titativamente la precisión de los resultados de modelos hidrológicos para descargas. Para evaluar la calidad del modelo, se puede realizar mediante una evaluación cuantitativa o cualitativa, se basa en la comparación entre los valores calculados y los valores observados (Alcántara et al., 2014).

Así mismo para cuantificar la eficiencia del modelo simulado respecto al modelo observado, fue clasificado bajo los criterios de muy bueno  $> 0,90$ , bueno de  $0,80 - 0,90$ , aceptable de  $0,65 - 0,80$  e insatisfactorio  $< 0,65$  según Ritter y Muñoz (2013).

### **Coefficiente de Determinación ( $R^2$ )**

El coeficiente de determinación describe la proporción de la Varianza en los datos observados que puede ser explicada por el modelo (Legates y McCabe, 2005). El  $R^2$  fue clasificado bajo los criterios de muy bueno  $> 0,95$ , bueno de  $0,85 - 0,95$ , satisfactorio de  $0,65 - 0,85$  e insatisfactorio  $< 0,65$  bajo los criterios de Andersen et al. (2001).

### **Coefficiente de Correlación (r)**

Corresponde a la raíz cuadrada del coeficiente de determinación y es una medida del grado de asociación entre dos variables (Barria, 2010), el r fue clasificado bajo los criterios de coeficiente de correlación  $0,2 - 0,3$  muy bajo,  $0,4 - 0,5$  bajo,  $0,6 - 0,7$  alto y  $0,8 - 1,0$  muy alto.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}_i)^2} \quad (1)$$

$$NSEL = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (\ln(x_i) - \ln(\hat{x}_i))^2}{\sum_{i=1}^N (\ln(x_i) - \ln(\bar{x}_i))^2} \quad (2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{(n-1) \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2}{n \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}_i)^2} \quad (3)$$

$$r = \sqrt{1 - \frac{(n-1) \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2}{n \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}_i)^2}} \quad (4)$$

Donde,  $N$  Número de observaciones,  $x_i$  Valor observado,  $\hat{x}_i$  Valor estimado por el modelo,  $\bar{x}_i$  Promedio de los datos observados.



## RESULTADOS

### Estimación de la evapotranspiración potencial

Con la información climatológica disponible en las estaciones en la cuenca y cercanas a la cuenca Huancané, se determinó la evapotranspiración potencial empleando los métodos empíricos de Hargreaves (Temperatura y Radiación), Blaney y Criddle, Thornthwaite, Jensen y Haise, Oudin, Penman Monteith - FAO, Turc y Tanque clase 'A'.

### Calibración y validación del modelo GR2M

La calibración del modelo GR2M con datos de evapotranspiración potencial calculados por el método de Penman Monteith, se realizó con datos de diecisiete años para la fase de calibración y nueve años para la fase de validación los datos entrada fueron; caudales, precipitación (datos registrados por la institución SENAMHI) y evapotranspiración potencial (calculado por el método de Penman - Monteith), en la fase de calibración se determinaron con el programa Solver, incorporado dentro del programa Excel, del cual obtenemos como parámetros  $x_1$  y  $x_2$  con valores 5, 38 y 1, 5 como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Calibración y validación del modelo GR2M con ETP de método Penman-Monteith

Nombre de la cuenca		Huancane		
Superficie de la cuenca		3599, 7		
		Calibración		Validación
Parámetros del modelo	Transf.	Real	Transf.	real
$x_1$ : capacidad de producción (mm)	5,38	216,88	5,38	216,88
$x_2$ :parámetros de intercambio(mm)	1,15	1,15	1,15	1,15
Periodo				
Dureción del periodo de prueba en marcha (meses)	12			12
duración de periodo de prueba(meses)	204			108
Fecha de salida	01/1990			01/2008
Fecha final	12/2007			12/2016
Criterio de eficiencia				
Nash(Q)	0,82			0,65

(Continúa en la página siguiente)



Tabla 2. Calibración y validación del modelo GR2M con ETP de método Penman-Monteith

	Nombre de la cuenca	Huancané
	Superficie de la cuenca	3599,7
	Calibración	Validación
Nash(VQ)	0,85	0,79
Nash(ln(Q))	0,86	0,84
Coefficiente de correlación	0,92	0,91

### Análisis estadístico de caudales simulados con ETP determinados por el método de Penman- Monteith

Así mismo para la fase de calibración en la tabla 2 los criterios de eficiencia de Nash es de 0,82 según los criterios de Ritter y Muñoz (2013); interpretado como 'bueno'; coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es de 0,84 según la referencia de Andersen et al. (2001) es interpretado como ajuste 'satisfactorio' y su respectiva coeficiente de correlación ( $r$ ) tiene un valor de 0,92 según la calificación de Barria (2010) 'muy alto' los cuales indican que los caudales simulados tienen un buen ajuste con respecto a los observados. Los hidrogramas comparativos entre caudales observados y simulados para la fase de calibración se muestran en la figura 3.

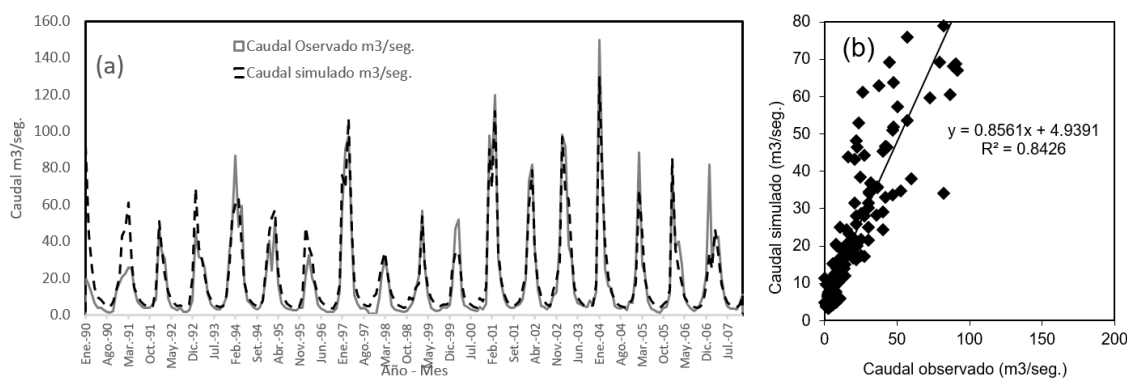


Figura 2. Caudales observados y simulados en la fase de calibración calculados la ETP por el método de Penman-Monteith

Igualmente para la fase de validación en la tabla 2 los criterios de eficiencia de Nash es de 0,65 según los criterios de Ritter y Muñoz (2013) interpretado como 'aceptable'; coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es de 0,83 según la referencia de Andersen et al. (2001) es interpretado como ajuste 'satisfactorio' y su respectiva coeficiente de correlación ( $r$ ) tiene un valor de 0,91 según la calificación de Barria (2010) 'muy alto' los cuales indican que los caudales simulados tienen un

buen ajuste. Los hidrogramas comparativos entre caudales observados y simulados para la fase de validación se muestran en la figura 4.

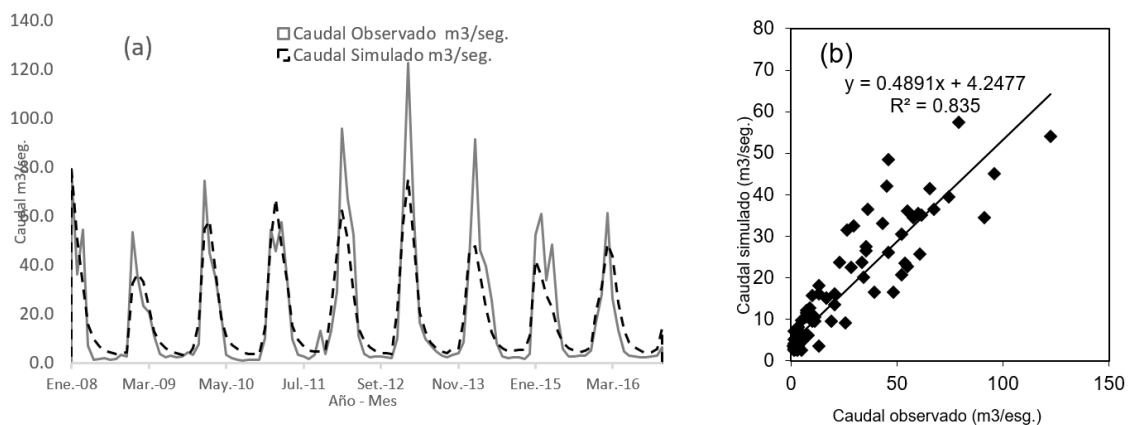


Figura 3. Caudales observados y simulados en la fase de validación calculados la ETP por el método de Penman-Monteith

Similarmente se realizó el mismo procedimiento ocho veces más tanto para la calibración y validación del modelo GR2M, pero con diferentes datos de entrada de evapotranspiración potencial (estos datos fueron calculados por los métodos de: tanque tipo 'A', Thornthwaite y Wilm, Hargreaves en base a Temperatura y Radiación, Oudin, Blaney y Criddle, Turc y Jensen - Haise).

En la tabla 3. se aprecia los resultados estadísticos de la modelación hidrológica en la fase de calibración los cuales se realizaron con el mismo modelo hidrológico (GR2M), Los métodos (Hargreaves en base a radiación solar, Turc, Penman-Monteith y Jensen-Haise) tienen valores más representativos en la simulación de caudales picos y bajos (NSE: 0, 82–0, 88; NSEL: 0, 73–0, 86) resultados similares fueron obtenidos por Flores (2013). un coeficiente de determinación ( $R^2$  : 0, 81 – 0, 87) que representan están en el rango de 'bueno' y 'satisfactorio' según los criterios de Andersen et al. (2001); su coeficiente de correlación ( $r$ : 0, 90 – 0, 93); según la calificación de Barria (2010) 'muy alto' los cuales indican que los caudales simulados tienen un buen ajuste con respecto a los observados. Pero en la fase de validación (NSE: 0, 65 – 0, 76; NSEL: 0, 73–0, 78) 'aceptable'; ( $R^2$  : 0, 84 – 0, 85) 'satisfactorio'; ( $r$ : 0, 91 – 0, 92) 'muy alto'.

*Determinación del método eficiente para calcular la evapotranspiración potencial para un modelo Lluvia - escorrentía en la cuenca Huancané Puno*

Tabla 3. Indicadores estadísticos de Nash y Sutcliffe (NSE), coeficiente de determinación ( $R^2$ ), coeficiente de correlación (r), calibración 70 % del total de datos, validación 30 % del total de datos

Métodos de ETP.	Parámetros	FASE CALIBRACION					FASE VALIDACION					
		Nash	Nash(ln)	Nash (VQ)	r	$R^2$	Nash	Nash (ln)	Nash (VQ)	r	$R^2$	
Tanque Clase A	Ev, K	0,87	0,65	0,82	0,93	0,87						
Penman Monteith	Tm, HS, HR, U	0,82	0,86	0,85	0,92	0,84	0,65	0,79	0,84	0,91	0,84	
Thornthwaite y Wilm	Tm	0,8	0,85	0,79	0,91	0,83	0,87	0,85	0,82	0,95	0,89	
Hargreaves Temp.	Tm, HR	0,73	0,84	0,81	0,89	0,8	0,83	0,88	0,85	0,93	0,87	
Hargreaves Rad.	HR,HS	0,86	0,86	0,87	0,93	0,86	0,7	0,81	0,87	0,92	0,85	
Oudin	Tm	0,79	0,86	0,82	0,91	0,83	0,87	0,85	0,85	0,94	0,89	
Blaney y Criddle	Tm, HR-min,	0,79	0,86	0,85	0,91	0,84	0,86	0,85	0,87	0,94	0,89	
Turc	HR, Tm, HS	0,82	0,73	0,39	0,9	0,81	0,69	0,73	0,48	0,91	0,83	
Jensen y Haise	Tm, HS,Tmin,Tmax	0,88	0,81	0,64	0,93	0,87	0,76	0,78	0,72	0,92	0,85	

## DISCUSIÓN

En base a los resultados determinados en la comparación de los nueve métodos empíricos para determinar la evapotranspiración potencial para un Modelo Lluvia - Escorrentía en la Cuenca Huancané - región Puno. En la fase de calibración los métodos (Thornthwaite y Wilm, Hargreaves en base a temperatura, Oudin, Blaney y Criddle) presentan un mejor desempeño con una eficiencia de Nash (NSE: 0,73 – 0,80; NSEL: 0,84 – 0,86). Según los criterios de Ritter y Muñoz (2013) 'aceptable'; su coeficiente de determinación ( $R^2$  : 0,80 – 0,84), en un estudio realizado en Uruguay por Almorox et al. (2016); Bai et al. (2016); donde indica que el método que más se aproxima es el método empírico de Hargreaves en base a temperatura con un coeficiente de correlación (r: 0,89 – 0,91) 'muy alto'.

Para la fase de validación estos métodos tienen mejor desempeño de caudales máximos y mínimos con respecto a los caudales observados. En un estudio realizado en suroeste de China por Ahmad et al. (2017); Lang et al. (2017), en un clima semi árida donde indica que el método empírico de Hargreaves en base a temperatura tiene mejor desempeño. Así en el estudio que hemos

realizado este método tiene mayor representación en la simulación hidrológica con respecto a los datos registrados por la estación hidrométrica puente Huancané.

Finalmente, los resultados estadísticos de la simulación hidrológica con datos de entrada de evapotranspiración potencial determinado con tanque clase A (método directo de cálculo de ETP) tiene una eficiencia de Nash 0,87, coeficiente de determinación  $R^2$  de 0,87 y su coeficiente de correlación es de 0,93.

## **CONCLUSIONES**

Los métodos de evapotranspiración potencial (ETP) para la zona evaluada, muestran como métodos eficientes a los métodos de Thornthwaite y Wilm, Hargreaves en base a temperatura, Oudin, Blaney y Criddle que requieren como máximo dos variables de datos para determinar la evapotranspiración potencial (temperatura, humedad relativa), Además se observó que la calibración de parámetros del modelo hidrológico (GR2M) puede eliminar las influencias de diferentes entradas de ETP en las simulaciones de escorrentía para la zona que estudio, lo cual indica que el tipo de método de cálculo de ETP no influye significativamente en los resultados de la simulación hidrológica con en modelo GR2M (a nivel mensual).

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecemos al Servicio Nacional de Meteorología e hidrología (SENAMHI) que facilitaron la información climática y la Universidad Nacional del Altiplano Puno.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Ahmad, L.; Parvaze, S.; Mahdi, S.; Dekhle, B.; Parvaze, S.; Majid, M. & Wani, F. 2017. Comparison of Potential Evapotranspiration Models and Establishment of Potential Evapotranspiration Curves for Temperate Kashmir Valley. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 24(3), 1 – 10. <<https://doi.org/10.9734/CJAST/2017/36356>>
- Alcántara, A.; Moltalvo, N.; Mejia, A.; & Ingol, E. 2014. Validación de los Modelos Hidrológicos LLuvia-Escorrentía Para su Aplicación a la Cabecera de la Cuenca del Rio Jequetupeque. Retrieved from <<http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11492>>

- Alexander, F; Véliz, A.; Leónidas, C.; Taipe, R. & Lavado, W. S. 2018. Evaluación de los productos Tropical Rainfall Measuring Mission ( TRMM ) y Global Precipitation Measurement ( GPM ) en el modelamiento hidrológico de la cuenca del río Huancané , Perú. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 53–62.<<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.06>>
- Allen G., R.; Pereira S., L.; Raes, D. & Smith, M. 2006. Crop Evapotranspiration -Guidelines for computing crop water requeriments -FAO irrigation and Drainage Paper 56. (p. 15). Retrieved from <[https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/pdf/Allen\\_FA01998.pdf](https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/pdf/Allen_FA01998.pdf)>
- Almorox, J.; Hontoria, C. & Benito, M. 2016. Comparación de algunos métodos de estimación de la evapotranspiración en Uruguay. *Research Gate*, 48, 11. Retrieved from <<https://www.researchgate.net/publication/280830934>>
- Andersen, J.; Refsgaard, J. C. & Jensen, K. H. 2001. Distributed hydrological modelling of the Senegal River Basin -model construction and validation. *Journal of Hydrology*, 247(3 – 4), 200 – 214.<[https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00384-5](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00384-5)>
- Bai, P.; Liu, X.; Yang, T.; Li, F.; Liang, K.; Hu, S. & Liu, C. 2016. Assessment of the Influences of Different Potential Evapotranspiration Inputs on the Performance of Monthly Hydrological Models under Different Climatic Conditions. *Journal of Hydrometeorology*, 17(8), 2259 – 2274.<<https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0202.1>>
- Barria, P. A. 2010. Pronóstico de Caudales Medios Mensuales en las Cuencas de los Ríos Baker y Pascua. Universidad de Chile.
- DehghaniSanij, H.; Yamamoto, T.; & Rasiah, V. 2004. Assessment of evapotranspiration estimation models for use in semi-arid environments. *Agricultural Water Management*, 64(2), 91 – 106.<[https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(03\)00200-2](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00200-2)>
- Diouf, O. C.; Weihermüller, L.; Ba, K.; Faye, S. C.; Faye, S. & Vereecken, H. 2016. Estimation of Turc reference evapotranspiration with limited data against the Penman-Monteith Formula in Senegal. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 110(1), 11 – 137. <<https://doi.org/10.12895/jaeid.20161.417>>

- Douglas, E. M.; Jacobs, J. M.; Sumner, D. M. & Ray, R. L. 2009. A comparison of models for estimating potential evapotranspiration for Florida land cover types. *Journal of Hydrology*, 373(3 – 4), 366 – 376. <<https://doi.org/10.1016/j.jhydro.2009.04.029>>
- Flores, E. 2013. Evapotranspiración en Función de Factores y Elementos del Clima en el Altiplano Peruano. Universidad Nacional del Altiplano. Retrieved from <<http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/250/EPG707-00707-01.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>
- Hargreaves H., G. y Samani Z., A. 1982. Estimating potential evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 108(3), 225 – 230. Retrieved from <<http://cedb.asce.org/CEDBsearch/record.jsp?dockkey=0035047>>
- Hargreaves H., G. & Samani Z., A. 1985. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture*. American Society of Agricultural and Biological Engineers, (1), 96 – 99. <<https://doi.org/10.13031/2013.26773>>
- Jensen, M. E. & Haise, H. 1963. Estimating Evapotranspiration from Solar Radiation. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, *Journal of the Irrigation and Drainage Division*.
- Lang, D.; Zheng, J.; Shi, J.; Liao, F.; Ma, X.; Wang, W. & Zhang, M. 2017. A Comparative Study of Potential Evapotranspiration Estimation by Eight Methods with FAO Penman-Monteith Method in Southwestern China. *Water*, 9(10), 734. <<https://doi.org/10.3390/w9100734>>
- Legates, D. R. & McCabe Jr., G. J. 2005. Evaluating the Use of 'Goodness of Fit' Measures in Hydrologic and Hydroclimatic Model Validation. *Water Resources Research*, 35(1), 233 – 241. <<https://doi.org/10.1029/1998WR900018>>
- Li, S.; Kang, S.; Zhang, L.; Zhang, J.; Du, T.; Tong, L. & Ding, R. 2016. Evaluation of six potential evapotranspiration models for estimating crop potential and actual evapotranspiration in arid regions. *Journal of Hydrology*, 543, 450-461. <<https://doi.org/10.1016/j.jhydro.2016.10.022>>

- Lujano Laura, E.; Felipe Obando, O. G.; Lujano Laura, A. & Quispe Aragón, J. P. 2015. Validación de la precipitación estimada por satélite TRMM y su aplicación en la modelación hidrológica del río Ramis Puno Perú. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 17(2), 221 – 228. <<https://doi.org/10.18271/ria.2015.116>>
- Michel, C.; Perrin, C.; Oudin, L. & Andre, V. 2005. Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall ? runoff model? Part 2-Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall- runoff modelling. *Journal of Hydrology*, 303(1 – 4), 290 – 306. <<https://doi.org/10.1016/j.jhydro1.2004.08.026>>
- Mouelhi, S.; Michel, C.; Perrin, C. & Andre, V. 2006. Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model. *Journal of Hydrology*, 318(1 – 4), 200 – 214.<<https://doi.org/10.1016/j.jhydro1.2005.06.014> >
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. 1970. River flow forecasting through conceptual models part I-A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282 – 290. <[https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6) >
- Obioma, P.; Nwaigwe, N. & Okereke, D. 2015. Development and Evaluation of a Weighable Lysimeter to Determine Crop Evapotranspiration. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 04(03), 74 – 83. <<https://doi.org/10.15623/ijret.2015.0403012>>
- Ritter, A., & Muñoz, R. 2013. Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. *Journal of Hydrology*, 480, 33 – 45.<<https://doi.org/10.1016/j.jhydro1.2012.12.004> >
- Thornthwaite, C.; Wilm, H. & Otros. 1944. Report of the Committee on transpiration and evaporation. *Transactions American Geophysical Union*. American Geophysical Union, 25(5), 683 – 693. <<https://doi.org/10.1029/TR025i005p00683> >

Fecha de recepción: 06/08/2020

Fecha de aceptación: 02/10/2020

### **Correspondencia**

Alcides Hector Calderon Montalico

*cial\_4@hotmail.com*