



Artículo: COMEII-16052

## II CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2016

Chapingo, Edo. de México, del 08 al 10 de septiembre

### ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA EN LA CUENCA DEL RÍO SIERRA, CHIAPAS Y TABASCO, MÉXICO

**Armando Aguirre Rodríguez<sup>1</sup>; Leonardo Tijerina Chávez<sup>1</sup>; Jesús Chávez Morales<sup>1</sup>;  
Juan Manuel González Camacho<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>Posgrado de Hidrociencias Colegio de Postgraduados, Montecillo México CP 56230.

<sup>2</sup>Posgrado en Socioeconomía, Estadística e Informática-Cómputo Aplicado, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México, CP 56230. jmgc@colpos.mx. (\*Autor para correspondencia).

#### Resumen

La evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) es un factor esencial para estimar el balance hídrico en una cuenca. La estimación precisa de la  $ET_o$  depende de un conjunto de variables meteorológicas que no son fácilmente disponibles en espacio y tiempo en una región determinada. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue analizar la precisión de tres métodos simplificados para estimar la  $ET_o$  a escala diaria, diez-días y mensual en la cuenca del Río Sierra, localizada en los estados de Chiapas y Tabasco en el sureste de México, a partir de registros meteorológicos de estaciones automatizadas, localizadas en la zona de estudio. Para estimar la  $ET_o$  se utilizaron los métodos de Hargreaves, Turc y, Priestley y Taylor. La precisión de los métodos analizados fue calculada con relación a la  $ET_o$  de Penman-Monteith. Para la zona estudiada, el modelo de Priestley y Taylor tuvo mejor precisión que los métodos de Hargreaves y Turc.

**Palabras clave adicionales:** Penman-Monteith, métodos simplificados, cuencas hidrológicas.



## Introducción

La evapotranspiración es un proceso esencial en el ciclo hidrológico y su estimación es importante en el manejo de los recursos hídricos, tanto en regiones áridas y húmedas. En particular, su estimación a nivel cuenca depende además de factores meteorológicos de los tipos de cobertura existentes en la misma (Alexandris et al, 2008; Diouf, 2016).

Con frecuencia la disponibilidad de información es reducida por ello se han propuesto diversos métodos reducidos o simplificados para estimar la  $ET_o$ . Estos métodos varían en función del tipo de variables para hacer su estimación, entre otros podemos citar los métodos de, Turc (Turc, 1961), Priestley y Taylor (Priestley y Taylor, 1972), Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985; Hargreaves y Allen, 2003). El método de Penman-Monteith (Allen et al., 2006) es utilizado como el método estándar y recomendado por FAO.

El propósito del presente estudio fue evaluar la precisión de la estimación de la evapotranspiración diaria de referencia en la cuenca del Río Sierra de tres métodos simplificados (Hargreaves, Turc y, Priestley Taylor) calibrados con el método de Penman-Monteith. Los métodos fueron calculados con registros meteorológicos diarios de seis estaciones automatizadas localizadas en la cuenca del Río Sierra.

## Materiales y métodos

### Datos meteorológicos

Se utilizaron registros históricos diarios de seis estaciones meteorológicas automáticas (EMA) localizadas en la cuenca hidrológica del río La Sierra ubicada en los estados de Tabasco y Chiapas. Las variables analizadas fueron: temperatura máxima ( $T_{max}$ ), temperatura mínima ( $T_{min}$ ), temperatura del punto de rocío ( $T_{rocío}$ ), velocidad del viento ( $u$ ), precipitación ( $p$ ), presión atmosférica ( $p_a$ ), radiación solar ( $r_s$ ); además datos de tiempo y espacio como: día juliano ( $d_j$ ), latitud ( $f$ ), longitud ( $l$ ), elevación sobre el nivel del mar ( $z$ ).

Los registros históricos diarios de las seis EMAs corresponden al periodo de estudio, de enero de 2011 a abril de 2012.

### Métodos

La  $ET_o$  diaria se calculó con los cuatro métodos propuestos: Penman-Monteith (método de referencia), Hargreaves, Turc y, Priestley y Taylor. Luego, cada método fue calibrado con respecto a la  $ET_o$  de Penman-Monteith; para ello, se efectuó una regresión entre los valores valores estimados por cada método simplificado y los valores estimados con el método de Penman-Monteith.



La ETo de Penman-Monteith se expresa por:

$$ET_{oPM} = \frac{0.408 * \Delta(R_n - G) + \gamma * \frac{900}{T + 273} * u_2 * (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma * (1 + 0.34 * u_2)}$$

donde:  $ET_{oPM}$  es la evapotranspiración de referencia ( $\text{mm día}^{-1}$ );  $R_n$  es la radiación neta en la superficie del cultivo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ );  $G$  es el flujo del calor de suelo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ );  $T$  es la temperatura media del aire a 2 m de altura ( $^{\circ}\text{C}$ );  $u_2$  es la velocidad del viento a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ );  $e_s$  es la presión de vapor de saturación ( $\text{kPa}$ );  $e_a$  es la presión real de vapor ( $\text{kPa}$ );  $e_s - e_a$  es el déficit de presión de vapor ( $\text{kPa}$ );  $\Delta$  es la pendiente de la curva de presión de vapor ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ );  $\gamma$  es una constante psicrométrica ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ )

La  $ET_o$  de Hargreaves se expresa por:

$$ET_{oH} = 0.0023 * (T + 17.8) * (T_{max} - T_{min})^{0.5} * R_a$$

donde  $T$  es la temperatura promedio en  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{max}$  es la temperatura máxima en  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{min}$  es la temperatura mínima en  $^{\circ}\text{C}$  y;  $R_a$  es la radiación extraterrestre  $\text{mm día}^{-1}$

La  $ET_o$  de Turc se expresa por

$$ET_{oT} = 0.31 * \left( \frac{T}{T + 15} \right) * (R_n * 0.408 + 2.09)$$

La  $ET_o$  de Priestley y Taylor (Priestley and Taylor, 1972) se expresa por:

$$ET_{oPT} = \frac{1}{2.45} * \frac{\Delta * (R_n - G)}{\Delta + \gamma} * 1.26$$

## Evaluación de la precisión de los métodos simplificados

Para evaluar la precisión de los métodos simplificados para calcular la  $ET_o$ , se efectuó una regresión lineal entre las  $ET_o$  de Penman-Monteith y las  $ET_o$  de cada método simplificado.

## Análisis y discusión de resultados

Los resultados de los ajustes de los tres métodos para estimar la ETo con los tres métodos reducidos Hargreaves, Turc y Priestley y Taylor se ilustran en los Cuadros 1 y 2.

En el Cuadro 1. Se presentan los valores del coeficiente de determinación,  $R^2$ , de todas las regresiones lineales realizadas a nivel diario, diez-días y mensual.

**Cuadro 1.** Comparación de la precisión ( $R^2$ ) de los modelos reducidos contrastados con el método de Penman-Monteith, para las diferentes estaciones e intervalos diarios. Diez-días y mensual.

R <sup>2</sup> intervalo diario						
Método	Arroyo Grande	Cancuc	COBACH	El Escalón	Larrainzar	Tapilula
ET <sub>oHG</sub>	0.596	0.606	0.627	0.703	0.699	0.582
ET <sub>oPT</sub>	0.827	0.763	0.916	0.909	0.811	0.528
ET <sub>oTc</sub>	0.859	0.742	0.791	0.795	0.772	0.640
R <sup>2</sup> intervalo diez-días						
Método	Arroyo Grande	Cancuc	COBACH	El Escalón	Larrainzar	Tapilula
ET <sub>oHG</sub>	0.661	0.961	0.819	0.877	0.857	0.739
ET <sub>oPT</sub>	0.791	0.978	0.946	0.949	0.845	0.706
ET <sub>oTc</sub>	0.854	0.957	0.908	0.880	0.875	0.726
R <sup>2</sup> intervalo mensual						
Método	Arroyo Grande	Cancuc	COBACH	El Escalón	Larrainzar	Tapilula
ET <sub>oHG</sub>	0.777	0.803	0.868	0.930	0.933	0.825
ET <sub>oPT</sub>	0.738	0.864	0.952	0.973	0.809	0.825
ET <sub>oTc</sub>	0.858	0.864	0.946	0.933	0.917	0.883

El Método de Priestley y Taylor presentó en general, mejor ajuste que los métodos de Turc y Hargreaves. Las estaciones con mejores ajustes fueron COBACH y El Escalón, mientras que la estación Tapilula tuvo menor ajuste. Este comportamiento en general mejora con la integración de la ETo a intervalo diez-días y mensual.

Los parámetros de las regresiones lineales para el ajuste diario, diez-días y mensual se muestran en el Cuadro 2, las EMA's con mejor ajuste son Cancuc, COBACH y El Escalón, mientras que Tapilula presenta bajos ajustes en todos los intervalos analizados.

**Cuadro 2.** Parámetros de regresión lineal entre ET<sub>oPM</sub> vs otros métodos para ajustar ET<sub>o</sub>.

Diaria (mm*día <sup>-1</sup> )									
Estación	ET <sub>oHG</sub>			ET <sub>oPT</sub>			ET <sub>oTc</sub>		
	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>
Arroyo Grande	0.900	-0.229	0.596	0.845	-0.14	0.827	3.742	-0.999	0.859
Cancuc	0.679	0.003	0.605	0.937	0.110	0.763	4.073	-1.09	0.742
COBACH	0.607	-0.085	0.627	0.940	-0.067	0.916	3.535	-0.948	0.791
El Escalón	0.579	-0.207	0.703	0.887	-0.077	0.909	3.59	-0.802	0.795
Larrainzar	0.654	-0.182	0.699	0.977	0.091	0.811	4.216	-1.214	0.772
Tapilula	0.846	-0.717	0.582	0.942	0.115	0.528	4.560	-1.654	0.640
Diez-días (mm*día <sup>-1</sup> )									
Estación	ET <sub>oHG</sub>			ET <sub>oPT</sub>			ET <sub>oTc</sub>		
	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>
Arroyo Grande	0.694	3.703	0.661	0.817	-0.487	0.791	3.674	-9.316	0.854



<b>Cancuc</b>	0.666	0.206	0.961	0.978	-0.062	0.978	2.895	-0.55	0.957
<b>COBACH</b>	0.588	-0.15	0.819	0.993	-1.955	0.946	4.164	-15.19	0.908
<b>El Escalón</b>	0.626	-3.799	0.877	0.963	-2.493	0.949	3.736	-9.097	0.880
<b>Larrainzar</b>	0.656	-1.983	0.857	1.041	-0.763	0.845	4.828	-17.77	0.875
<b>Tapilula</b>	0.914	-9.518	0.739	1.203	-5.168	0.706	5.113	-21.29	0.726
<b>Mensual (mm*día<sup>-1</sup>)</b>									
Estación	ET <sub>oHG</sub>			ET <sub>oPT</sub>			ET <sub>oTc</sub>		
	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>
<b>Arroyo Grande</b>	0.605	18.930	0.777	0.803	-0.129	0.738	3.533	-24.540	0.858
<b>Cancuc</b>	0.576	11.070	0.803	0.982	-0.815	0.864	4.030	-31.740	0.864
<b>COBACH</b>	0.535	5.850	0.868	1.021	-8.199	0.952	3.875	-37.710	0.946
<b>El Escalón</b>	0.607	-9.207	0.930	0.970	-8.042	0.973	3.620	-25.050	0.933
<b>Larrainzar</b>	0.634	-2.737	0.933	1.126	-9.097	0.809	4.700	-49.890	0.917
<b>Tapilula</b>	0.857	-22.71	0.825	1.265	-21.07	0.825	5.049	-63.950	0.883

## Conclusiones

El método de Priestley y Taylor obtuvo mayor precisión en los tres intervalos de tiempo analizados (diario, diez-días y mensual) que los métodos de Turc y Hargreaves. El método de Hargreaves fue menos preciso; sin embargo, requiere menos información para su cálculo.

## Referencias bibliográficas

- Alexandris S., R. Stricevic, S. Petkovic. 2008. Comparative analysis of reference evapotranspiration from the surface of rainfed grass in central Serbia, calculated by six empirical methods against the Penman-Monteith formula. *European Water* 21/22: 17-28.
- Allen R. G., L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO. Riego y drenaje, Vol. 56, FAO, Roma, 2006. pp.
- Diouf O.C., L. Weihermuller, K. Ba, S.C. Faye, S. Faye, H. Vereecken. 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): 117 – 137. DOI: 10.12895/jaeid.20161.417
- Hargreaves G.H. and R.G. Allen. 2003. History and evaluation of Hargreaves equation. *J. Irrigation Drainage Engineering*.-ASCE. 129:53-63.
- Hargreaves G.H., and Z.A. Samani. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperatura. *Applied Eng. Agric.* 8:96-99.



Priestley C.H.B. and R.J. Taylor. 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. Monthly Weather Review. 100(2):81-92.

Turc L., 1961. Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date. Annals of Agronomy 12: 13-49.