

# **Correlación de la metodología de Penman-Monteith (FAO-56) con la evapotranspiración de referencia de la zona oriental de El Tigre, estado Anzoátegui, Venezuela**

Correlation of the Penman-Monteith Methodology (FAO-56) with the Reference Evapotranspiration of the Eastern Zone of El Tigre, Anzoátegui State, Venezuela

**José Alexander GIL MARÍN<sup>1</sup>, Estefanía Andrea CASANOVA MORENO<sup>1</sup>, Barlin OLIVARES<sup>2</sup> y Alejandro ZERMEÑO-GONZÁLEZ**

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Agrícola, Núcleo Monagas, Universidad de Oriente (UDO). Avenida Universidad Campus Los Guaritos, Maturín, 6201, estado Monagas, Venezuela; <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas-Anzoátegui. Km 5 de la Carretera vía soledad, El Tigre estado Anzoátegui, Venezuela. <sup>3</sup>División de Riego y Drenaje. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. E-mail: [jalexgil2005@hotmail.com](mailto:jalexgil2005@hotmail.com). Autor para correspondencia.

## **RESUMEN**

El manejo eficiente del agua en la agricultura requiere de una precisa estimación de la evapotranspiración de los cultivos. La dificultad de obtener registros de todas las variables necesarias para la estimación de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) por el modelo propuesto por Penman-Monteith – FAO.56 (Allen *et al.*, 1998) lleva al uso de métodos alternativos más sencillos. En este trabajo se compararon los resultados obtenidos con 8 métodos empíricos comunes con distintos requerimientos de datos meteorológicos y complejidad, para su aplicación en el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>). Se utilizó los datos de la estación meteorológica de El Tigre para el periodo (1998-2009). La comparación del desempeño de los métodos se realizó mediante una evaluación de los indicadores estadísticos: índice estacional (IE), relación porcentual (RP) y coeficiente de correlación (r). Los resultados indican que las ecuaciones que obtuvieron las mayores correlaciones con Penman-Monteith fueron las ecuaciones de Radiación, Jensen Haise, García-López y Turc. Se obtuvo una alta correlación directa entre la evapotranspiración de referencia calculada y las variables del clima temperatura media y evaporación.

**Palabras Claves:** Necesidades hídricas, evaporación, estimación, cultivo de referencia.

## **ABSTRACT**

Efficient water management in agriculture requires an accurate estimation of crop evapotranspiration. The difficulty of obtaining records of all the variables necessary for the estimation of the reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) by the model proposed by Penman-Monteith - FAO.56 (Allen *et al.* 1998) leads us to the use of more alternative simple methods. In this work, the results obtained with 8 common empirical methods of different meteorological data requirements and complexity for their application was compared in the calculation of the reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>). It was applied with the data from the El Tigre meteorological station for the period (1998-2009). The comparison of the performance methods was carried out through an evaluation of the statistical indicators: seasonal index (IE), percentage relationship (PR) and correlation coefficient (r). The results indicate that the equations that obtained the highest correlations with Penman-Monteith were the Radiation equations, Jensen Haise, García-López and Turc. A high direct correlation was obtained between the calculated reference evapotranspiration and the climate variables, mean temperature and evaporation.

**Key Words:** Water needs, evaporation, estimation, reference crop

## INTRODUCCION

La evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) es un componente principal del ciclo hidrológico. Depende de las variables climáticas de temperatura, humedad, radiación solar y velocidad del viento (Allen *et al.*, 1998; Jensen y Allen, 2016). Según Jensen y Allen (2016) la evapotranspiración es la suma de la vaporización mediante los procesos combinados de evaporación (E) y transpiración (T) por las cuales se pierde el agua. La estimación confiable de ET<sub>o</sub> es esencial para estimar el requerimiento neto de riego, la planificación y la gestión de los recursos hídricos regionales y para modelar el efecto del cambio climático (Pandey *et al.*, 2016). Un aumento de la evapotranspiración potencial en tiempo futuro, afectaría significativamente el balance dinámico del agua en una cuenca (Gharbia *et al.*, 2018). En este sentido, cuantificar la evapotranspiración de referencia es importante. Una sobreestimación de ET<sub>o</sub> producirá diseños de obras sobredimensionadas con costos elevados (construcción y mantenimiento), y una subestimación, en cambio, diseños de obras muy pequeñas, las cuales no permitirán cubrir la demanda de agua de los cultivos. Con relación al manejo del agua de riego, una sobreestimación de ET<sub>o</sub> en 1mm, influirá en el incremento del volumen utilizado de agua en 10 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> en cada riego, encareciendo los costos de producción y generando condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades fungosas, de tal manera que, para optimizar el uso del agua de riego se requiere estimar la ET<sub>o</sub> con precisión (Ortiz y Chile, 2020). La ET depende de numerosos factores meteorológicos, entre ellos la radiación solar como la fuente de energía fundamental para el desarrollo del proceso, la temperatura del aire como consecuencia de la anterior, la humedad relativa como medida de la capacidad evaporativa del ambiente y de la velocidad del viento que remueve constantemente el agua desde la superficie evaporante y transporta, en ocasiones, calor para mantener activo el proceso; pero, además, depende de las características de la vegetación del área, su tipo, densidad y estado de crecimiento, como también del suelo, sus propiedades y su contenido de humedad (Sánchez y Carvacho, 2011).

A pesar de la variabilidad temporal y espacial del clima, se han implementado diferentes metodologías para determinar la ET<sub>o</sub>, las cuales se han desarrollado empíricamente a través de experimentos de campo y con base en aproximaciones teóricas (Landon, 2004), entre éstas se pueden mencionar: el tanque evaporímetro y fórmulas empíricas; dentro de las fórmulas se tiene: modelo físico completo (Penman-Monteith); basados en la temperatura (Thornthwaite y Turc); basados en la temperatura y en la radiación solar (Hargreaves, Jensen y Haise, Makkink, Priestley y Taylor y FAO Radiación), entre otros métodos (Allen *et al.*, 1990; Bhabagrahiet *al.*, 2012).

El método más completo para estimar ET<sub>o</sub> es Penman-Monteith FAO 56 (Allen *et al.*, 2006), el cual únicamente puede utilizarse en sitios en donde existe la suficiente información climatológica que demanda este método, en tanto que los otros métodos pueden utilizarse en zonas con muy poca información climatológica, previo a calibraciones locales.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) recomienda utilizar el método estándar Penman-Monteith, descrito en la publicación No. 56, para determinar ET<sub>o</sub>, debido a que este método se ajusta tanto a zonas áridas como templadas y tropicales (Allen *et al.*, 2006). Este método determina ET<sub>o</sub> con base en tres componentes: i) resistencia aerodinámica (demanda evaporativa de la atmósfera estimada en función de las variables climatológicas: temperatura promedio, máxima y mínima, humedad relativa, horas de luz solar, viento, altitud y latitud); ii) resistencia superficial del cultivo (flujo del agua por difusión desde las raíces hasta los estomas de la planta y de la evaporación directa del agua desde el suelo), y iii) albedo (radiación solar reflejada por el cultivo); para el cultivo de referencia (pasto) de una altura de 0,12 m, bien regado y con una cobertura total de la superficie del suelo, la resistencia superficial estimada es de 70 s m<sup>-1</sup> y la radiación solar reflejada o albedo de 0,23 (Allen *et al.*, 2006).

En Venezuela ha existido cierta dificultad a la hora de evaluar el componente de evapotranspiración en el balance hídrico, debido a la escasez de registros meteorológicos representativos de diversas zonas del país y la poca información sobre las metodologías más convenientes a utilizar para cada región geográfica. Es por ello que se requiere de estudios donde se analicen las posibles alternativas de estimación de la ET, sujetas a la limitación de información meteorológica existente en el país. En este contexto, el objetivo del estudio fue evaluar el desempeño de diferentes métodos empíricos para estimar la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>)

evapotranspiración estimada mediante el método una región agrícola por excelencia, por lo que estándar de la FAO-56 Penman-Monteith en la la zona diagnosticar las necesidades de agua de los cultivos de sur del estado Anzoátegui específicamente la ciudad la región es de gran importancia y para ello la de El Tigre, la cual aparte de ser un área petrolera, es evapotranspiración resulta una variable fundamental.

## MATERIALES Y METODOS

y comparar los resultados con la El estudio se realizó con los datos de la estación meteorológica del INIA, ubicada en El Tigre, Municipio Simón Rodríguez, estado Anzoátegui, a 8°52' de latitud Norte, 64°13' longitud Oeste y altitud de 276 m.s.n.m. (Figura 1). El clima de El Tigre, corresponde a un Bosque seco tropical, con vegetación típica de sabana, según el esquema de clasificación de Holdridge (Olivares *et al.*, 2013). De acuerdo a la distribución y a la lámina de lluvia caída, la localidad tiene un régimen pluviométrico estacional, unimodal; con una estación seca, que se extiende desde noviembre hasta abril con una alta variabilidad en noviembre y diciembre, estos periodos secos o con menos de 15 mm de lluvia ocurren con un 70 % de probabilidad (Caraballo *et al.*, 2005).

La información corresponde a datos del período 1998-2009 (12 años de registro), período que

Se aplicó la metodología de Martelo (1989) y Santana y Peña (2010), para comparar las tasas de evapotranspiración de referencia calculadas por las ecuaciones anteriores con la obtenida por método estándar global. La comparación se realizó por medio de tres índices:

1. Índice Estacional (IE)
2. Relación Porcentual (RP)
3. Coeficiente de Correlación (r).

### 1. Índice Estacional (IE):

comprende registros de máximos y mínimos de las variables meteorológicas, con lo cual estos 12 años se consideran representativos de la variación observada en los últimos 100 años. Las variables consideradas son: temperatura máxima y mínima del aire, humedad relativa, evaporación, precipitación, insolación y velocidad media del viento, además de los datos de latitud (Lat), longitud (Long) y altitud (Alt).

### Ecuaciones de estimación de evapotranspiración de referencia

En cuanto a los métodos de ET a evaluar se han seleccionado aquellos de sencilla aplicación y que son utilizados frecuentemente.

El método más preciso para estimar la ET<sub>o</sub> fue aquel que considera todos los factores primarios que afectan la tasa de ET<sub>o</sub>, como la ecuación de Penman-Monteith (Jensen y Allen, 2016). Por esta razón, esta ecuación de la FAO-56 Penman-Monteith, se utilizó como método estándar global para estimar la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>). De esta forma, se seleccionaron siete metodologías empíricas que utilizan distintas variables meteorológicas para evaluarlas con respecto al método estándar FAO Penman-Monteith, cuyos parámetros climáticos se presentan en el Cuadro 1. Todas las metodologías se calculan en escala diaria, excepto Thornthwaite que es mensual.

$$IE_i = \frac{ET_o}{\overline{ET_o}} * \frac{1}{12} * 100 \dots (1)$$

Dónde:

ET<sub>o</sub>: Valor estimado por la fórmula para un determinado tiempo.

ET<sub>o</sub>: Valor promedio de ET<sub>o</sub> para un período de tiempo.  $i=1 \dots 12$

El índice se calculó para cada mes, para cada una de las fórmulas, y para cada valor mensual de  $ET_{oPM}$ , calculada con la ecuación de Penman-Monteith. Luego se calcularon las diferencias mes a mes:

$$IE_{(ET_o PM)} - IE_{(fórmula)} \dots (2)$$

Finalmente se sumaron los valores absolutos y se obtuvo el promedio anual de las diferencias, donde los mismos se consideraron más ajustados, mientras más cercano estén al valor de cero.

## 2. Relación Porcentual (RP):

Expresa la relación entre la ETO y la evapotranspiración estándar FAO Penman-Monteith.  $ET_o$

$$RP = \frac{ET_o}{ET_{oPM}} * 100 \dots (3)$$

Dónde:

$ET_o$ : Valor de evapotranspiración de referencia determinada para un determinado mes.

$ET_{oPM}$ : Valor de evapotranspiración estándar determinada para el mes de estudio.

Se calculó la relación potencial porcentual mes a mes y se obtuvo el promedio anual el cual se considerará adecuado si se encuentra en un rango de 70 y 80%.

## 3. Coeficiente de correlación (R):

En el caso de que se esté estudiando dos variables aleatorias  $x$  e  $y$  sobre una población; el coeficiente de correlación de Pearson se simboliza con la letra  $(\rho_{xy})$ , siendo la expresión que permite calcularlo:

$$\rho_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{E[(X - \mu_x)(Y - \mu_y)]}{\sigma_x \sigma_y} \dots (4)$$

- $\sigma_{xy}$  es la covarianza de  $(X, Y)$
- $\sigma_x$  es la desviación típica de la variable  $X$
- $\sigma_y$  es la desviación típica de la variable  $Y$

De manera análoga podemos calcular este coeficiente sobre un estadístico muestral, denotado como  $r_{xy}$ :

$$r_{xy} = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \dots (5)$$

Una vez calculada la  $ET_o$  con las fórmulas descritas y estimado los tres índices para cada una de ellas, se procedió a su jerarquización mediante un sencillo sistema de pesos asignados de manera arbitraria. A la que mejor ajuste tenía en cada índice se le asignaron 7 puntos y así en orden decreciente hasta la de menor ajuste. Luego se sumó la puntuación obtenida en cada índice y se consideraron importantes sólo aquellas fórmulas que aparecieron ubicadas en los primeros cuatro lugares. De esta manera pudo elegirse con mayor objetividad la fórmula mejor adaptada.

Después de elegir la mejor fórmula de esta estación se procedió a correlacionar la  $ET_o$  así calculada con las variables del clima a fin de comprobar cuál o cuáles eran las que mayor influencia tenían sobre el poder evaporante de la atmósfera, resultando la evaporación y la temperatura las que mayor correlación mostraron con la  $ET_o$ , procediéndose entonces a calcular las ecuaciones de regresión entre cada fórmula original y las mencionadas variables, obteniéndose así 4 ecuaciones de regresión con un buen ajuste (una por cada fórmula original).

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas entre los diferentes métodos, cuando hace las comparaciones mensuales y anuales. Por lo tanto, se puede considerar los valores anuales para validar cual método tiene mayor adaptación a las condiciones de El Tigre. El análisis anual indica que los mayores valores de  $ET_o$  estimados se alcanzaron con el método de Jensen-Haise 5,94 mm/día y los menores con el método de Turc 4,29 mm/día. Tomando en consideración los valores mensuales, se nota que el mes con mayor  $ET_o$  mensual promedio fue abril con 5,86 mm/día lo cual lleva a señalar este mes como el de mayor consumo de agua por parte de la planta y el menor fue julio con 4,61 mm/día (Cuadro 2).

El diagrama de cajas (Figura 2) muestra que la ETo determinada por Blaney-Criddle difiere en mayor medida de los otros modelos. Mientras que las estimaciones diarias de ETo por el método de Turc son los que más se acercan al modelo de la FAO 56 P-M entre los cuartiles 0.25 y 0.75. Es evidente que existe una gran variabilidad en las estimaciones de esta variable por lo que se evidencia por la posición desigual de las cajas entre sí. Esto se debe a que cada método fue creado para unas condiciones climáticas específicas que pueden diferir de las presentadas en el Tigre, así su actuación es muy cambiante dependiendo del lugar en el que se utilice.

Las series de evapotranspiración potencial mensual, obtenidas por los diferentes métodos, se comportan de forma simétrica, esto se indica por la posición de la mediana en las cajas. El promedio general de ETo observado fue de 5,15 mm/día, valor resaltado con una línea horizontal. El método que más se acerca al promedio general observado fue el de Thornthwaite, con un promedio general de 4,79 mm/día. Los métodos que están por encima de esta línea reflejan una sobreestimación del promedio general, como lo señalan los métodos son BlaneyCriddle, Jensen-Haise y Radiación, mientras que los métodos que subestiman el promedio general de datos se encuentran por debajo de la línea y se encuentran representados por Penman-Monteith FAO, Hargreaves-Samani y Turc.

En el Cuadro 3 se observa que los valores del índice estacional oscilaron entre 4 y 9 %, la relación porcentual entre 75 y 96 % y los coeficientes de correlación entre 0,54 y 0,85. El análisis de jerarquización indica que el método que presenta mayor relación con el método de Penman-Monteith. FAO, con una sumatoria total de 20 puntos es el Método de Radiación con un coeficiente de correlación ( $r$ ) de 0,85, un índice estacional (IE) de 4,48 % y una relación porcentual (RP) de 79,18 %. En segundo lugar, se ubicó a la fórmula de Jensen-Haise con un peso total de 17 puntos, representado por un coeficiente de correlación ( $r$ ) de 0,80, un índice estacional (IE) de 5,47 % y una relación porcentual (RP) de 75,63 %. En tercer lugar, se ubicó el método de García López con un peso total de 14 puntos.

Romero Palmares *et al.* (2018), para el municipio Colon, del estado Zulia también encontró una alta correlación entre el método de PenmanMonteih y el de radiación. Mientras Trezza (2008), para las zonas andinas de Venezuela no recomienda este método, porque en esta zona este tiende a sobrestimar los valores de ETo.

Según lo expresado por Allen *et al.* (2016), las ecuaciones que relacionan elementos aerodinámicos de radiación, insolación, temperatura y humedad relativa serán de mejor actuación, como lo demuestran las altas correlaciones obtenidas con la ecuación de radiación y Penman -Monteih.

### Relación Método Penman FAO vs Formulas Empíricas para determinar ETo



Figura 1. Ubicación geográfica de la estación climatológica del INIA en El Tigre estado Anzoátegui.



El inconveniente del método de radiación al igual que el método de Penman-Monteith radica en que necesita una completa información meteorológica: temperatura, humedad relativa, viento y radiación solar, limitando su aplicación cuando no se dispone de estos. Todo lo cual conlleva a recomendar para la zona del Tigre a los métodos de Jensen-Haise y García López. El primero es un método sencillo que exige solo el dato climático de temperatura mientras el segundo tiene la ventaja de ser una metodología local también con la exigencia de pocas variables de clima: temperatura y humedad relativa.

Martínez *et al.* (2005) en un trabajo en diferentes zonas del Centrooccidente del país, recomienda para Caracas la ecuación de García López y Hargreaves; para los sectores del Naranjal y Yaritagua solo Hargreaves. Allen *et al.* (1998) afirman que a pesar de que los métodos de temperatura son una herramienta válida para aquellas zonas que solo poseen datos, los valores provenientes de dichas ecuaciones siempre serán profundamente afectados por las condiciones locales y por las validaciones.

Las ecuaciones de Thornthwaite, Blaney-Criddle, y Hargreaves-Samani no produjeron valores aceptables en el Tigre por lo tanto no es recomendable su uso para esta zona. En este sentido, Trezza (2008) señala que la ecuación de Thornthwaite no es apropiada para el cálculo de evapotranspiración de referencia a ser utilizada en balances hídricos regionales y estimación de demandas de agua en Venezuela, principalmente en zonas andinas. El método de Blaney-Criddle puede aplicarse en zonas de baja altitud cuando sólo se cuente con datos de temperatura media del aire. El método de Hargreaves presentó potencial para su aplicación debido a que sólo utiliza información de temperatura máxima y mínima del aire, aunque requiere del cálculo de parámetros de ajuste climático para cada zona.

En el Cuadro 4 se observa la alta correlación directa existente entre los valores calculados por las

cuatro mejores fórmulas empíricas con las variables climáticas de temperatura, insolación y evaporación. Las fórmulas de Turc y Jensen-Haise se correlacionan con insolación, mientras Radiación y García-López se correlacionaron mejor con la evaporación. Todas mostraron una muy débil relación inversa con la humedad relativa y la velocidad del viento, a excepción de García-López, donde la correlación es alta (-0.869).

Los valores del coeficiente de correlación para la temperatura, aunque son menores que los alcanzados con la variable Insolación y Evaporación, también son altos, por lo que se puede afirmar que las tres variables de conjunto influyen directamente sobre la magnitud del poder evaporante que se alcance en esta localidad. Estos resultados coinciden con lo planteado en la literatura al respecto, pues en estudios reportados por Acosta y Luis (1986); Jensen, *et al.* (1990); Smith, *et al.* (1990) y Allen, *et al.* (1998) se destaca la gran influencia que provocan estas tres variables, siendo las causantes principales de los volúmenes de agua que entran a la atmósfera desde el suelo, ya sea por la vía de la evaporación o de la transpiración.

A partir de los resultados analizados se procedió a buscar las ecuaciones de regresión mediante las cuales fuera posible obtener, para cada una de las cuatro seleccionadas, una fórmula local que relacionara las tasas de ETo calculadas con las variables del clima y así poder utilizarse en el futuro con fines de predicción de las necesidades hídricas de los cultivos en el ambiente tropical húmedo de sabana de El Tigre.

De esta forma se lograron cuatro ecuaciones con posibilidades de ser utilizadas, las que se relacionan en el Cuadro 5, así como su coeficiente de determinación. Como se aprecia los coeficientes de determinación fueron altos en todos los casos, oscilando entre 0,61 y 0,87; lo que refleja un buen ajuste entre las variables. Donde  $E_v$  y  $T_{med}$  son la evaporación mensual (mm) y la temperatura promedio mensual para la localidad El Tigre.

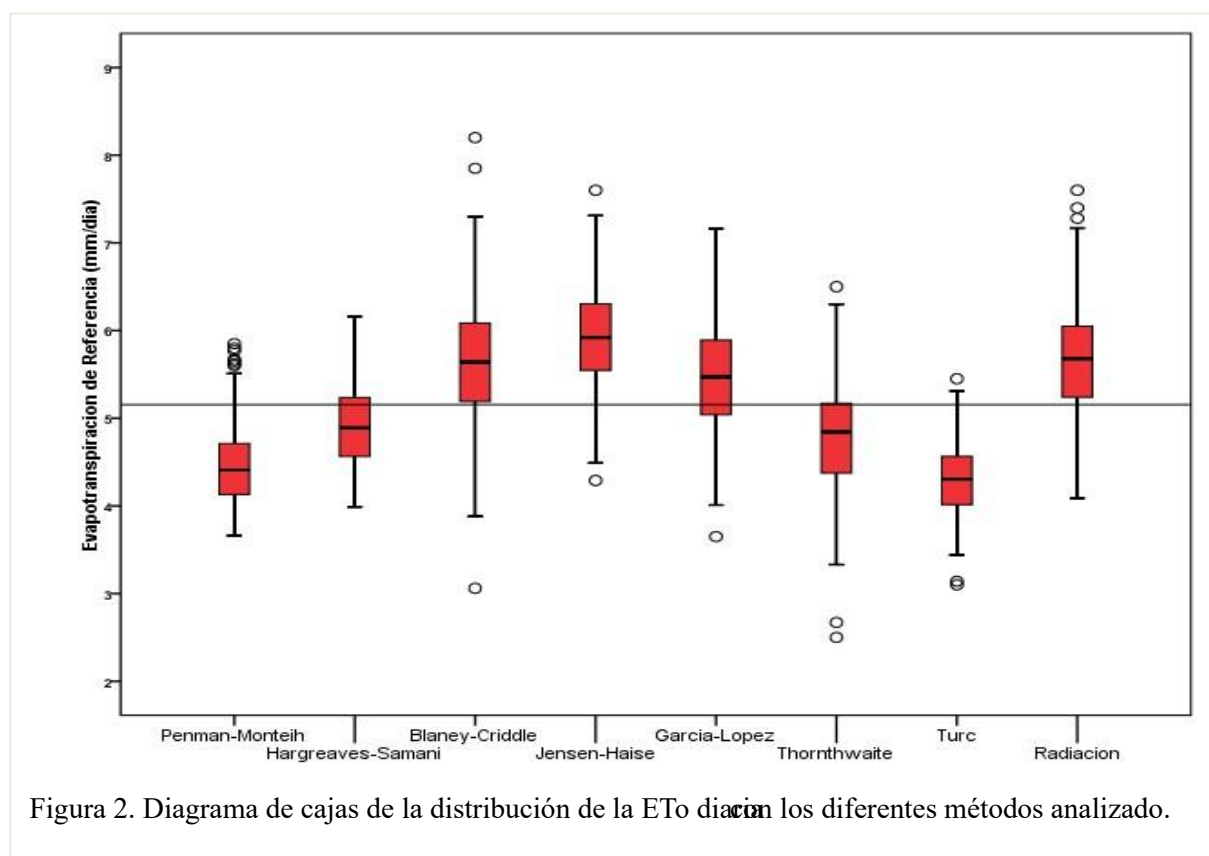
Cuadro 1. Métodos escogidos para la estimación de la Eto

Método de estimación	Parámetros Climáticos
Penman-Monteith (PM)	Rn, Ra, Hr, Tmed, Vel Viento
Thornthwaite (Th)	Tmax, Tmin
Turc (T)	Ra, Rg, n, N
García y López (GL)	Tmed, Hr
Hargreaves-Samani (HS)	Ra, Tmin, Tmax,
BlaneyCriddle (BC)	Tmed, n, N
Radiación (R)	Tmed, vel Viento, Rs, Hr
Jensen- Haise (JH)	Tmed, Rs

Cuadro 2. Promedio mensual y anual de los diferentes métodos de ETo.

	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM.
1 HARGREAVES & SAMANI	4,33 C	4,90 C	5,52 B	5,62 C	5,24 B	4,89 C, D	4,50 C	5,10 D	5,14 D	4,83 C	4,42 D	4,13 D, E	4,89 C
2 BLANEY CRIDDLE	5,51 A	6,20 A	6,16 A	6,10 B	5,11 B, C	4,78 D	4,92 B	5,56 C	5,73 B	5,99 A	5,96 A	5,48 A	5,63 B
3 JENSEN- HAISE	5,2 B, A	6,03 A	6,56 A	6,65 A	6,06 A	5,59 A	5,33 A	6,22 A	6,34 A	6,23 A	5,83 A	5,20 B	5,94 A
4 GARCIA LOPEZ	5,15B, A	5,61 B	6,16 A	6,46A, B	5,91 A	5,07 B, C	4,91 B	5,14 D	5,43 C	5,48 B	5,63 A, B	5,24 B	5,52 B
5 THORNTHWAITE	3,96 D,C	4,72 C	4,84 C	5,71 C	5,25 B	4,72 D	4,42 C	4,66 E	5,11 D	4,75 C	5,09 C	4,26 D	4,79 C
6 TURC	3,87 D	4,51 C	4,66 C	4,75 E	4,19 D	4,06 E	3,77 D	4,40 E, F	4,62 E	4,46 C	4,32 D	3,81 F	4,29 E
7 RADIACION	5,04 B	5,9 B, C	6,35 A	6,41A, B	5,80 A	5,30 B	5,06 B	5,90 B	5,97 B	5,90 A	5,47 B	4,95 C	5,67 B
8 PENMAN FAO	4,22 D,C	4,86 C	5,30 B	5,22 D	4,68 C, D	4,13 E	3,97 D	4,28 F	4,41 E	4,43 C	4,27 D	4,01 E, F	4,48 D
Promedio Mensual	4,66	5,34	5,69	5,86	5,28	4,81	4,61	5,15	5,34	5,25	5,12	4,63	5,15

Prueba de Duncan  $\alpha = 0,05$ . Letras iguales significa que son estadísticamente iguales. Solo comparaciones dentro de las columnas.



Cuadro 3. Estadísticos obtenidos del análisis de la correlación entre las distintas metodologías aplicadas y el método de referencia FAO-56 para la localidad El Tigre, Anzoátegui, Venezuela.

METODO	Indicé	Posición	Relación	Posición	Coeficiente	Posición
	Estacional SUM	Jerárquica	Porcentual	Jerárquica	Correlación	Jerárquica
HARGREAVES-SAMANI	6,19%	3	92,00%	3	0,69	3
BLANEY-CRIDDLE	8,26%	1	80,39%	5	0,66	2
JENSEN- HAISE	5,47%	4	75,63%	7	0,80	6
GARCIA-LOPEZ	5,11%	6	81,68%	4	0,76	4
THORNTHWAITE	8,17%	2	94,89%	2	0,54	1
TURC	5,41%	5	95,93%	1	0,79	5
RADIACION	4,48%	7	79,18%	6	0,85	7
						<b>20</b>



Cuadro 4. Relación entre las variables climáticas y los valores de ETo calculados por las fórmulas de mejor adaptación a la zona tropical humedad de sabana de El Tigre.

Fórmula	Coeficiente de Correlación				
	Temperatura Media	Humedad Relativa	Velocidad del viento	Insolación	Evaporación
Radiación	0.493	-0.452	0.328	0.679	0.668
Turck9	0.48	-0.405	0.183	0.805	0.619
García-López	0.765	-0.869	0.442	0.309	0.661
Jensen-Haise	0.641	-0.418	0.157	0.69	0.64

Cuadro 5. Ecuaciones de regresión obtenidas de las Fórmulas Básicas.

Fórmula Básica	Ecuación	R
Radiación	$ETo = -0.676 + 0.25 * Evap + 0.175 * Tmed$	0,724
García-López	$ETo = -6.353 + 0.22 * Evap + 0.387 * Tmed$	0,874
Jaise-Hensen	$ETo = -3.075 + 0.213 * Evap + 0.283 * Tmed$	0,77
Turc	$ETo = -0.071 + 0.162 * Evap + 0.123 * Tmed$	0,61

## CONCLUSIONES

La estimación de la evapotranspiración de referencia es esencial para la programación del riego y para una adecuada planificación y manejo de los recursos hídricos. Las fórmulas que mejor reflejaron el comportamiento real de la evapotranspiración de referencia en la zona tropical de sabana de El Tigre fueron Radiación, Jensen-Haise, García López y Turc. Todo lo cual conlleva a recomendar para la zona los métodos de Jensen-Haise y García López. El primero por ser un método sencillo que exige solo el dato climático de temperatura mientras; el segundo tiene la

ventaja de ser una metodología local también con la exigencia de pocas variables de clima: temperatura y humedad relativa. Se obtuvo una alta correlación directa entre la evapotranspiración de referencia calculada y las variables del clima temperatura media y evaporación. Se obtuvieron cuatro ecuaciones de regresión para el cálculo de la evapotranspiración de referencia, factibles de poder utilizarse en el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos en las condiciones de El Tigre.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, F.; Luis, A. 1986. Estudio de la evapotranspiración en caña de azúcar. INACA, Riego y Drenaje: 2(2): 22-61.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, S. D., y Smith, M. (1998). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: Estudio FAO, Riego y Drenaje N° 56.
- Allen, R., Burman, R., y Jensen, M. (1990). Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. New York: American Society of Civil Engineers.
- Allen, R. G., Pereira, L., Raes, D., y Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo - Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. (p. 323). FAO (56:1). Roma, Italia.
- Allen, R. G., Pereira, L., Howell, T., & Jensen, M. (2011). Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. Agricultural Water Management, 98(6), 899–920. doi:10.1016/j.agwat.2010.12.015.
- Bhabagrahi, S., Imtisenla, W., Bidyut, D., y Bhagwati, B. (2012). Standardization of Reference Evapotranspiration Models for a Subhumid Valley Rangeland in the Eastern Himalayas. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 138, 880-895.
- Caraballo, L., M. Pérez y M. Marcano. 2005. Régimen y distribución de las lluvias en El Tigre, estado Anzoátegui, Venezuela. Boletín Geomías. 3(37):67-72.
- Gharbia, S. S., Smullen, T., Gill, L., Johnston, P., y Pilla, F. (2018). Spatially distributed potential evapotranspiration modeling and climate projections. Science of The Total Environment, 633, 571–592. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.208>.
- Jensen, M.E., y Allen, R.G. (2016). Evaporation, Evapotranspiration, and Irrigation Water Requirements, ASCE Manual and Reports on Engineering Practice, vol. 70. <https://doi.org/10.1061/9780784414057>.
- Jensen, M.; Burman, R.; Allen, R. 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice N° 70. 332 pp.
- Landon, R. (2004). An evaluation of reference evapotranspiration models in Louisiana. United States: Louisiana State University.
- Martelo, María. 1989. Selección de la fórmula de evapotranspiración mejor adaptada al área de Guanare-Masparro. Rev. Fac. Agron. (Maracay), 15: 185-206.
- Martínez R, Boueri M.A y Escalona P. 2005. Correlación entre la Evaporación en Tina y la Evapotranspiración de Referencia en cinco estaciones climatológicas de Venezuela. Bioagro 17 (2) 79-83.
- Olivares B., Caraballo L. y Torrealba J. 2013. Variabilidad del régimen de precipitación en el periodo 1990-2009 en la localidad de El Tigre estado Anzoátegui, Venezuela. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 30: 19-32.
- Ortiz C.R. y Chile A. M. 2020. Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco. Siembra 7 (1) (2020) 070–079.
- Pandey, P. K., Dabral, P. P., & Pandey, V. (2016). Evaluation of reference evapotranspiration methods for the northeastern region of India. International Soil and Water Conservation Research, 4(1), 52-63. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.02.003>.
- Romero-Palomares J.; Trezza R y Araque Y. 2018. Métodos Penman modificado, Radiación, Blaney-Criddle y Hargreaves-Samani en relación al método. Revista Electrónica Conocimiento Libre y Licenciamento (CLIC), Mérida – Venezuela. Nro. 19, Año 10. pp 83-93.
- Sánchez M. M. y Carvacho B. L. 2011. Comparación de ecuaciones empíricas para el cálculo de la evapotranspiración de referencia en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Chile. Revista de Geografía Norte Grande, 50: 171-186 (2011).

Santana P. L y Peña P.E.2010.Obtención de modelos para la determinación de la evapotranspiración de referencia en condiciones de clima subhúmedo seco en las tunas, Cuba.IDESIA (Chile) Volumen 28, N° 1, Enero-Abril .Pp 55-59.

Smith M.; Allen, R.; Monteith, J.L.; Perrier, A.; Santos Pereira, L. 1990. Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements. Reunión FAO, Roma. 28-31 mayo.

Trezza R.2008. Estimación de Evapotranspiración de Referencia a Nivel Mensual en Venezuela. ¿Cuál Método Utilizar?.Bioagro 20(2): 89-95.udo