

Métodos Penman modificado, Radiación, Blaney-Criddle y Hargreaves-Samani en relación al método FAO-Penman-Monteith, bajo condiciones del municipio Colón, estado Zulia, Venezuela.

Jacqueline Romero-Palomares¹

Ricardo Trezza²

Yliana Araque³

Universidad Nacional Experimental Sur del Lago Jesús María Semprúm. 1 3

University of Idaho.²

Santa Bárbara del Zulia, Venezuela.^{1 3}

Kimberly, Idaho, USA.²

jacquelinecarmen@gmail.com 1

rtrezza@uidaho.edu 2

araquey@unesur.edu.ve³

Fecha de recepción: 02/11/2018

Fecha de aceptación: 07/02/2019

Pág: 83 – 93

Resumen

La determinación de necesidades hídricas en cultivos es usualmente estimada en base a la evapotranspiración de referencia (ET_0). El objetivo de la investigación fue evaluar el desempeño de los métodos Penman Modificado, Radiación, Blaney-Criddle, Hargreaves-Samani en relación al método FAO-Penman-Monteith, bajo condiciones del municipio Colón, estado Zulia, Venezuela. Se obtuvieron datos climáticos diarios de la Estación Meteorológica Automatizada La Glorieta, ubicada en la Hacienda La Glorieta de la Universidad Nacional Experimental Sur del Lago. Para la estimación de ET_0 , así como la comparación de métodos, se empleó el programa $REF - ET$ de la Universidad de Idaho versión 4.1, una hoja de cálculo Excel y el programa estadístico SPSS versión 15.0. La comparación entre métodos de estimación de ET_0 se realizó a partir de: Raíz cuadrada del error cuadrático medio ($RMSE$), error medio absoluto (MAE), y coeficiente de determinación R^2 . Se consiguió que los valores más bajos de $RMSE$ y MAE se encuentran en la correlación FAO-Penman-Monteith/Radiación ($RMSE = 0,26mm.dia^{-1}$; $MAE = 0,21mm.dia^{-1}$) y FAO-Penman-Monteith/Blaney-Criddle ($RMSE = 0,23mm.dia^{-1}$; $MAE = 0,18mm.dia^{-1}$), lo que representa una mejor concordancia entre métodos; además los valores de R^2 están cerca de 1, esto indica un fácil ajuste a través de un coeficiente entre FAO-Penman-Monteith con respecto a Radiación y Blaney-Criddle.

Palabras Clave: Evapotranspiración de referencia, Estación Meteorológica Automatizada, Métodos.

Introducción

La evaporación representa el paso del estado líquido al estado gaseoso, sea cual fuere la superficie en la que se produzca (mar, hoja, etc.); para que este proceso se produzca necesita calor, prácticamente 600 calorías por gramo que, generalmente es aportado por la energía radiante del sol. La evaporación del agua depende del poder evaporante en cada punto en que se produce, así como también de: la cantidad de agua en la superficie evaporante; el estado del agua, es decir de las fuerzas de retención a que puede estar sujeta; características de dicha superficie, tamaño, naturaleza, etc. Por lo tanto la evaporación, por todas las razones anteriores, es difícil de calcular (Castañón, 2000)[4].

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua mayormente a través de los estomas. La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares, y el intercambio del vapor con la atmósfera es controlado por la abertura estomática. Casi toda el agua absorbida del suelo es perdida por transpiración y solamente una pequeña fracción es convertida en parte de los tejidos vegetales. Tanto la radiación como la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento también deben ser considerados para su determinación. El contenido de agua del suelo y la capacidad del suelo de conducir el agua a las raíces también determinan la tasa transpiratoria, así como la salinidad del suelo y del agua de riego. La tasa de transpiración también es influenciada por las características del cultivo, el medio donde se produce y las prácticas de cultivo. Por otra parte, tanto el tipo de cultivo, como etapa fenológica, el medio donde es producido y su manejo, deben ser considerados al momento de evaluar la transpiración(Allen, Pereira, Raes y Smith, 2006)[2].

En una parcela cultivada el agua se evapora desde el suelo y es transpirada desde la planta. No se puede distinguir, en la práctica, una de otra, lo que además, no tendría ningún sentido ni utilidad, pues al regar se debe aportar toda el agua perdida. En consecuencia se utiliza el término de evapotranspiración, cantidad de agua perdida en forma de vapor, desde una superficie cubierta de vegetación, que es el empleado para la medida de las necesidades de agua de los cultivos. Un riego eficiente debe aportar el agua al cultivo en el momento y en la cantidad que éste requiere. Se deben evitar tanto aportes excesivos que provoquen su despilfarro sin producir ningún beneficio, o insuficientes con la consiguiente merma en la producción. Por ello conocer las necesidades de agua de los cultivos es vital[4].

El conocimiento y la cuantificación del proceso de la evapotranspiración definen la cantidad de agua necesaria para los cultivos, siendo por eso un parámetro fundamental para la planificación y manejo del riego (Sediyama, 1996)[11]. La determinación de las necesidades hídricas de los cultivos es usualmente estimada en base a los valores de la ETo.

Por lo consiguiente, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) propone varios métodos para la estimación de la ETo: FAO Penman

Monteith, Penman modificado, Radiación y Blaney-Criddle, entre otros. En el caso de lugares con poca disponibilidad de datos climáticos la FAO recomienda el método de Hargreaves-Samani, el cual está basado en datos de temperaturas máxima y mínima [2].

Con respecto a la ecuación original de Penman (1948), esta posee dos términos: el de la energía (radiación) y el aerodinámico (viento y la humedad del aire). El procedimiento utilizado por Doorenbos y Pruitt (1977)[5], para la modificación del modelo de Penman, consistió en la sustitución de la función viento del modelo original por la función del viento propuesta por esos autores, la cual fue determinada a partir de medidas directas de la *ET_o* y otros elementos del clima, en varias regiones con diferentes tipos climáticos.

En cuanto al método de Radiación propuesto por la FAO tiene su origen en la ecuación de Makkink, desarrollada en 1957, siendo modificada por Doorenbos y Pruitt (1977) y Doorenbos y Kassam (1994), que sustituyeron los coeficientes a y b de la ecuación original por un parámetro c, que es función de la humedad relativa del aire y de la velocidad del viento (Pereira, 1997)[9].

Para la estimación de la evapotranspiración, esta también puede ser realizada a través del método de Blaney-Criddle modificado por la FAO, a partir de los valores de temperatura media y de los coeficientes a, b y p, que se encuentran en la publicación de la FAO 24, para distintas condiciones de humedad relativa, fracción de insolación y velocidad del viento (Trezza, 2008)[12].

A su vez, el método desarrollado por Hargreaves y Samani (1985) [7] estima la *ET_o* a partir de datos de la radiación solar extra-terrestre y de la diferencia entre la temperatura máxima y la mínima media.

En el caso del método FAO Penman-Monteith, este incluye parámetros relacionados al intercambio de energía y al flujo de calor latente (evapotranspiración) en una vegetación uniforme y extensa. La mayoría de estos parámetros pueden ser calculados a partir de datos meteorológicos y la ecuación puede ser utilizada para el cálculo directo de la evapotranspiración de cualquier cultivo, conforme a sus resistencias de superficie y aerodinámicas[2]. Además, el método FAO Penman-Monteith está basado en principios físicos, específicamente el balance de energía, lo que lo hace apropiado para ser considerado como método patrón para la calibración de otros métodos, de naturaleza empírica pero que utilizan menos información. Recordemos que la única limitación del método FAO Penman-Monteith es que necesita un conjunto completo de información meteorológica: viento, humedad y temperatura del aire, radiación solar, por lo que su uso es limitado cuando no se cuenta con toda esa información.

En base a lo antes expuesto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el desempeño de los métodos Penman Modificado, Radiación, Blaney-Criddle, Hargreaves-Samani en relación al método FAO Penman-Monteith, bajo condiciones del municipio Colón, estado Zulia, Venezuela.

Metodología

La presente investigación se realizó en la Unidad de Producción La Glorietta, donde se encuentra ubicada la Estación Meteorológica Automatizada (EMA) La Glorietta, cuyas coordenadas geográficas son: Latitud Norte 8° 58' 58,1" y Longitud Oeste: 71°55'21,4", y

altitud: 4 msnm; el sitio de ubicación presenta grama corta, y además cuenta con una cerca perimetral. La EMA La Glorietta está adscrita a la Dirección General de Creación, Promoción, Producción y Divulgación de la Universidad Nacional Experimental Sur del Lago “Jesús María Semprum” (UNESUR), localizada en la parroquia Santa Bárbara, municipio Colón del estado Zulia, Venezuela.

Se tomaron datos climáticos para un período de un año, comprendido entre los meses de Enero de 2013 a Diciembre de 2013. Durante este lapso de tiempo los elementos climáticos diarios de radiación solar ($W.m^{-2}$), temperatura máxima ($^{\circ}C$), temperatura mínima ($^{\circ}C$), humedad relativa máxima (%), humedad relativa mínima (%) y velocidad de viento ($m.s^{-1}$) fueron capturados por una EMA Campbell Scientific, la que está comprendida por los siguientes instrumentos y/o sensores: Datalogger CR10X, Monitor viento RM Young 05103, Sensor de temperatura y humedad relativa HMP45CL con escudo protector 41002, Pluviómetro TE-525WS, Piranómetro LI200X-L, Software Loggernet 2.1, Keyboard CR10KD, Nema Case 15873, Celda Fotovoltaica MSX10R, Batería de 12V, Trípode de 3 m.

Los datos colectados fueron utilizados para estimar la ET_o empleando los siguientes métodos:

Método FAO Penman-Monteith

El método-Estándar para el cálculo de la evapotranspiración de la referencia es el de FAO Penman-Monteith[2]

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

Donde: ET_o = evapotranspiración de referencia, $mm.d^{-1}$; R_n = saldo de la radiación en la superficie del cultivo, $MJ.m^{-2}.d^{-1}$; G = densidad del flujo de calor del suelo, $MJ.m^{-2}.d^{-1}$; T = temperatura del aire media diaria a 2 m de altura, $^{\circ}C$; u_2 = velocidad del viento a 2 m de altura, $m.s^{-1}$; e_s = presión de vapor de saturación, kPa ; e_a = presión parcial del vapor real, kPa ; $e_s - e_a$ = déficit de presión de vapor de saturación, kPa ; Δ = pendiente de la curva de presión de vapor, $kPa.^{\circ}C^{-1}$; γ = coeficiente psicrométrico, $kPa.^{\circ}C^{-1}$.

Método Penman modificado

El modelo de Penman es ampliamente utilizado por investigadores. Es un método combinado, pues asocia los efectos del balance de energía y de los términos aerodinámicos en la estimación de la evapotranspiración. Doorenbos y Pruitt (1977) [5] modificaron la ecuación de Penman (1948) para darle mayor sensibilidad al viento. Ajustaron el factor c basado en condiciones climáticas locales y considerando $G = 0$, en períodos diarios, o sea:

$$ET_o = c[WR_n + (1 - W)0,27(1 + 0,00625U_2)(e_s - e_{s(t)})] \quad (2)$$

Donde: c = factor de corrección propuesta por la FAO; W = factor de ponderación que depende de la temperatura; R_n = saldo de radiación, $mm.d^{-1}$; U_2 = velocidad del viento a 2

m de altura, $km.d^{-1}$; e_s = presión de saturación del vapor a temperatura media diaria, mbar;
 $e_{s(t)}$ = presión de saturación de vapor a temperatura de punto de rocío media, mbar.

El factor de corrección de la FAO fue ajustado por Allen y Pruitt (1991)[1]

$$c = 0,892 - 0,0781U_d + 0,00219U_dR_s + 0,000402HR_{max}R_s + 0,000196\left(\frac{U_d}{U_n}\right)U_dHR_{max} \\ + 0,0000198\left(\frac{U_d}{U_n}\right)U_dHR_{max}R_s + 0,00000236U_dHR_{max}R_s - 0,0000086\left(\frac{U_d}{U_n}\right)^2U_dHR_{max} \\ - 0,0000000292\left(\frac{U_d}{U_n}\right)U_d(HR_{max})^2R_s - 0,0000161HR_{max}(R_s)^2 \quad (3)$$

Donde: U_d = velocidad media del viento durante el día, $m.s^{-1}$; U_n = velocidad media del viento durante la noche, $m.s^{-1}$; HR_{max} = humedad relativa máxima diaria, %; R_s = radiación solar global de la superficie, $mm.d^{-1}$; $U_d/U_n = 2$, valor recomendado por Doorenbos y Pruitt[5] para el caso de no disponer o de la no confiabilidad de los datos.

Método de Radiación

La evapotranspiración es estimada por la siguiente expresión:

$$ET_o = r(WR_s) \quad (4)$$

Donde: r = factor de corrección propuesta por la FAO; W = factor de ponderación que depende de la temperatura; R_s = radiación solar global, $MJ.m^{-2}.d^{-1}$ [9].

El factor r puede ser calculado por Frevert (1983)[6]

$$r = 1,066 - 0,00128HR_{med} + 0,045U_d - 0,0002HR_{med}U_d - 0,000315(HR_{med})^2 - 0,00113(U_d)^2 \quad (5)$$

Donde: HR_{med} = humedad relativa media, %.

Método de Blaney-Criddle

La forma general de la fórmula FAO Blaney-Criddle es:

$$ET_o = a + b * [p * (0,46 * T + 8,13)] * [1 + 0,1 * \left(\frac{Elev}{1000}\right)] \quad (6)$$

Donde: a y b = las variables a y b son factores de corrección para ajustar la estimación de la evapotranspiración; P = es el porcentaje mensual de horas de luz con respecto a latitud y mes del año; T = es la temperatura media diaria, $^{\circ}C$, para el período considerado; $Elev$ = es la elevación del sitio, msnm.

El factor a es calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$a = 0,0043HR_{min} - N_{ratio} - 1,41 \quad (7)$$

Donde: HR_{min} = es la humedad relativa mínima, %; N_{ratio} = es la fracción de insolación actual sobre posibles horas de brillo solar.

El factor b puede ser calculado a partir de la siguiente ecuación de regresión:

$$b = 0,81917 - 0040922HR_{min} + 1,0705N_{ratio} + 0,065649U_{dia} - 0,0059684HR_{min}N_{ratio} - 0,0005967HR_{min}U_{dia} \quad (8)$$

Donde: U_{dia} = velocidad media del viento durante el día, $m.s^{-1}$; a 2 m de altura [1].

Método de Hargreaves-Samani

Este método fue desarrollado por Hargreaves y Samani para las condiciones semiáridas de California (Davis), a partir de la evapotranspiración obtenida en lisímetros de pesada cultivados con grama (Pereira, Angelocci y Sentelhas, 2002)[10]. Su fórmula es la siguiente:

$$ET_o = 0,0023(T_{max} - T_{min})^{0,5}(T_{med} + 17,8)R_a \quad (9)$$

Donde: T_{min} = temperatura mínima del día, °C; T_{max} = temperatura máxima del día, °C; T_{med} = temperatura media $[\frac{T_{max}+T_{min}}{2}]$, °C; R_a = radiación solar incidente en el tope de la atmósfera, $mm.d^{-1}$.

Procesamiento y análisis de los datos

Se empleó regresión lineal simple ($y = b_0 + b_{1x}$), entre los valores diarios de ETo estimados (Penman Modificado, Radiación, Blaney-Criddle y Hargreaves-Samani) y medidos (FAO-Penman-Monteith), donde los valores medidos correspondieron a la variable dependiente y , mientras los valores estimados fueron considerados como la variable independiente x . En cuanto al estudio comparativo entre los métodos de estimación de ETo, este se realizó a partir de los criterios estadísticos propuestos por Alexandris y Kerkides (2003), Pereira (2004) y Cai et al. (2007) [8], que se detallan a continuación:

- Raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE),

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}}, 0,0 \leq RMSE \quad (10)$$

expresado en $mm.d^{-1}$, que representa la variación entre dos modelos y cuanto menor sea su valor mejor es la concordancia, el óptimo es 0,0.

- Error medio absoluto (MAE),

$$MAE = \sum_{i=1}^N \frac{|P_i - O_i|}{N}, 0, 0 \leq MAE \quad (11)$$

expresado en $mm.d^{-1}$, que representa la desviación media o sesgo entre dos modelos, y su valor óptimo es 0,0.

- Coeficiente de determinación R^2 , establece el grado de correlación de un modelo con respecto a otro. Los que tengan valores más altos de R^2 son los más fáciles de ajustar con un coeficiente.

$$R^2 = \frac{|\sum(P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})|^2}{\sum(P_i - \bar{P})^2 \sum(O_i - \bar{O})^2}, \quad 0, 0 \leq R^2 \leq 1, 0 \quad (12)$$

Además, para la presente investigación el procesamiento y análisis de los datos se hizo empleando los siguientes programas: una hoja de cálculo MS Excel, para el almacenamiento y procesamiento de datos de la *EMA* La Glorieta, para la obtención de gráficos de relación 1:1, con la generación de ecuaciones de regresión lineal, la determinación de R^2 , así como el cálculo de *RMSE*, y *MAE*; block de notas para la creación de archivos .dat; el programa REF-ET de la Universidad de Idaho versión 4.1 [3], para la importación de los datos de los archivos .dat, análisis de integridad de los datos de la *EMA* La Glorieta, ajuste de los valores de radiación solar, así como para el cálculo de la ET_o por los métodos ya señalados con anterioridad; y el programa estadístico SPSS versión 15.0 para el análisis estadístico de los datos, donde se determinó regresión lineal y correlaciones entre los métodos de estimación de ET_o .

Resultados y Discusión

La figura 1 muestra la correlación entre los métodos FAO Penman Monteith y Penman Modificado. Al trazar una línea de relación 1:1, se observa que el método Penman Modificado sobrestima los valores de ET_o con respecto al método de la FAO 56. Por otra parte el R^2 muestra un valor de 0,9937, lo que indica que la ecuación de regresión lineal obtenida es sumamente confiable.

En la figura 2 se detalla la correlación entre los métodos FAO Penman Monteith y de Radiación. Al trazar una línea de relación 1:1, se observa que los valores de ET_o estimados por el método de Radiación tienden a acoplarse con los valores de ET_o obtenidos por el método de la FAO 56. Asimismo el R^2 muestra un valor de 0,9599, lo que indica que la ecuación de regresión lineal obtenida es sumamente confiable.

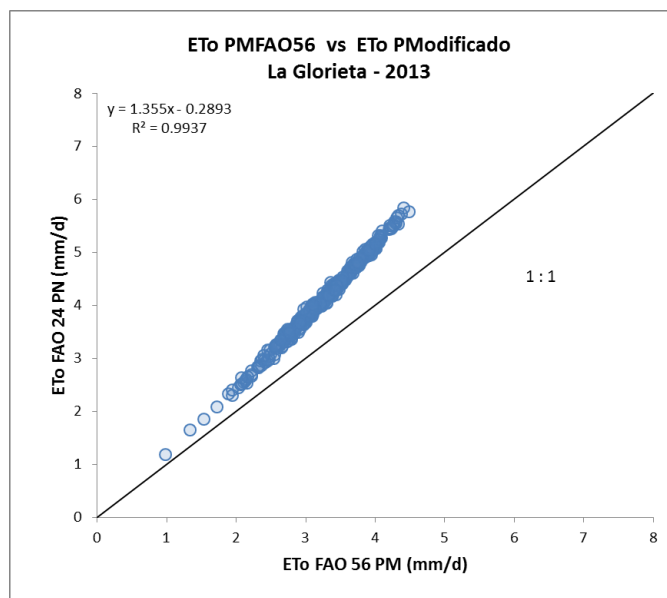


Figura 1: Correlación FAO 56 vs Penman Modificado. La Glorieta 2013.

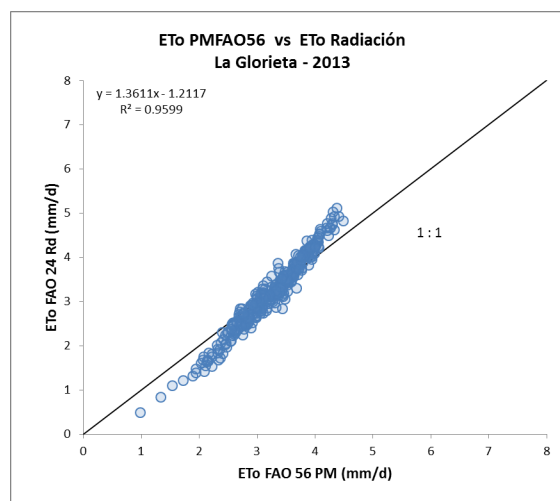


Figura 2: Correlación FAO 56 vs Radiación. La Glorieta 2013.

Con respecto a la figura 3, ésta representa la correlación entre los métodos FAO Penman Monteith y Blaney-Cridle. Al trazar una línea de relación 1:1, se observa que los valores de ET_o estimados por el método de Blaney-Cridle tienden a acoplarse con los valores de ET_o obtenidos por el método de la FAO 56. En cuanto al R^2 , este muestra un valor de 0,9371, lo que indica que la ecuación de regresión lineal obtenida es sumamente confiable.

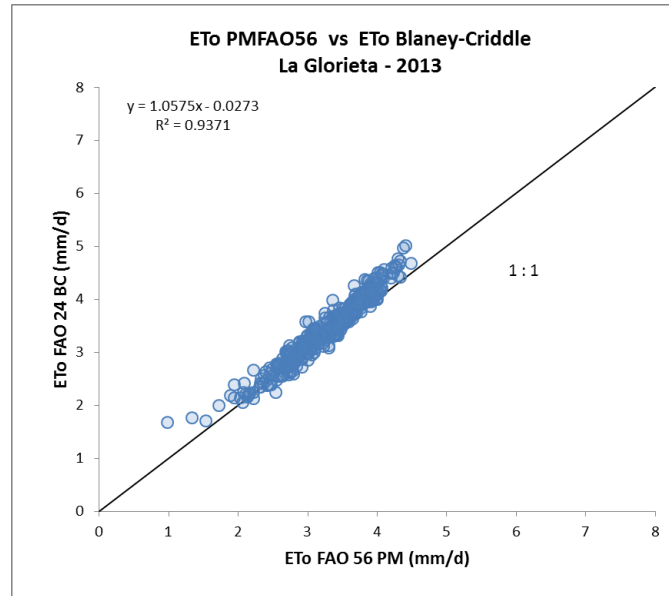


Figura 3: Correlación FAO 56 vs Blaney-Criddle. La Glorieta 2013.

La figura 4 también muestra la correlación entre los métodos FAO Penman Monteith y Hargreaves-Samani. Al trazar una línea de relación 1:1, se observa que el método Hargreaves-Samani sobrestima los valores de ET_o con respecto al método de la FAO 56. Por otra parte el R^2 muestra un valor de 0,7061, lo que indica que la ecuación de regresión lineal obtenida es confiable.

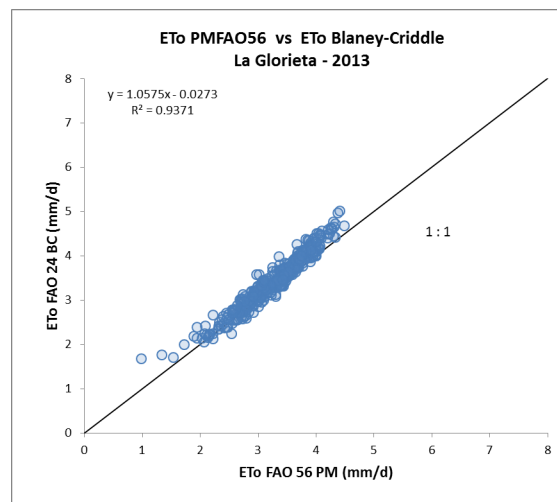


Figura 4: Correlación FAO 56 vs Hargreaves-Samani. La Glorieta 2013.

En la tabla 1 se presenta un estudio comparativo de los métodos de estimación de la ET_o , a partir de los datos climáticos obtenidos de la EMA La Glorieta. En el mismo, se

refleja que los valores menores o más bajos de RSME y MAE se encuentran en la correlación de los métodos FAO56-Radiación ($RSME = 0,26mm.dia^{-1}$; $MAE = 0,21mm.dia^{-1}$) y FAO56-Blaney-Criddle ($RSME = 0,23mm.dia^{-1}$; $MAE = 0,18mm.dia^{-1}$), lo que se traduce en una mejor concordancia entre los métodos anteriormente mencionados; además los valores de R^2 para dichas correlaciones están cerca de 1, lo que se traduce en un fácil ajuste a través de un coeficiente entre el método FAO Penman-Monteith con respecto a los métodos de Radiación y Blaney-Criddle [8].

Así mismo se observan valores muy altos, cerca de 1 y mayor a 1, de RSME y MAE en la correlación de los métodos FAO56-Penman Modificado ($RSME = 0,89mm.dia^{-1}$; $MAE = 0,87mm.dia^{-1}$) y FAO56-Hargreaves-Samani ($RSME = 1,91mm.dia^{-1}$; $MAE = 1,88mm.dia^{-1}$), lo que indica una pobre concordancia entre dichos métodos, por lo que los métodos Penman Modificado y Hargreaves-Samani tienden a sobrestimar los valores de ET_o a partir de los valores de ET_o medidos por el método FAO Penman-Monteith [8].

Tabla 1: Estudio comparativo entre los métodos de estimación. La Glorieta 2013.

Correlación	RMSE $mm.dia^{-1}$	MAE $mm.dia^{-1}$	R^2
FAO56-Penman	0,89	0,87	0,9937
FAO56-Radiación	0,26	0,21	0,9599
FAO56-BC	0,23	0,18	0,9371
FAO56-HGSAM	1,91	1,88	0,7061

Conclusiones

Al evaluar el desempeño de los métodos empíricos Penman Modificado, Radiación, Blaney-Criddle y Hargreaves-Samani, con respecto al método FAO Penman-Monteith se consiguió que: los métodos Penman Modificado y Hargreaves-Samani sobrestiman los valores de ET_o con respecto al método FAO Penman-Monteith; mientras que los valores de ET_o estimados por los métodos de Radiación y de Blaney-Criddle tienden a acoplarse con los valores de ET_o obtenidos con el método FAO Penman-Monteith, lo que se traduce en una mejor concordancia entre Radiación y Blaney-Criddle con respecto a FAO Penman-Monteith.

Agradecimientos

Al FONACIT, a través del financiamiento del Proyecto Estratégico N^o 2011000311 titulado: “Estimación de la Evapotranspiración de Referencia a partir de la ecuación Penman Monteith FAO 56 y de ecuaciones empíricas, para la reposición del riego en diferentes cultivos, en las condiciones climáticas del municipio Colón del estado Zulia”.

Bibliografía

- [1] Allen, R., Pruitt, W., (1991). FAO-24 reference evapotranspiration factors. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Logan, v. 117, n. 5, p. 758-773.
- [2] Allen, R., Pereira, L., Raes, D. & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos del cultivo*. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 323 p.
- [3] Allen, R. (2015). *REF-ET. Reference Evapotranspiration*. Standardized calculations. Windows Version 4.1. Software for FAO and ASCE standardized equations. University of Idaho, Research and Extension Center Kimberly, Idaho.
- [4] Castañón, G. (2000). *Ingeniería del Riego. Utilización Racional del Agua*. Editorial Paraninfo. Madrid, España. 206 p.
- [5] Doorenbos, J., Pruitt, J. (1977). *Crop water requeriment*. Rome: FAO, 144 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper 24).
- [6] Frevert, D., Hill, R., Braaten, B., (1983). Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Denver, v. 109, n. 2, p. 265-270.
- [7] Hargreaves, G. & Samani, Z. (1985). *Reference crop evapotranspiration from temperature*. Appl. Eng. in Agr., 1(2):96-99.
- [8] Maffei, M. (2012). Desempeño de la ecuación de Hargreaves en la estimación de la evapotranspiración de referencia (ET_o) en una zona de páramo en Trujillo, Venezuela. *Revista Facultad de Agronomía*. Universidad del Zulia. 29: 378-394.
- [9] Pereira, A., Villa Nova, N., Sedyama, G. (1997). *Evapotranspiração*. Piracicaba, SP: FEALQ, 183 p.
- [10] Pereira, A., Angelocci, L., Sentelhas, P. (2002). *Agroclimatologia. Fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba, RS: Agropecuária Ltda., 478 p.
- [11] Sedyama, G. (1996). *Evapotranspiração: necessidade de água para as plantas cultivadas*. Brasília, DF: ABEAS, 173 p.
- [12] Trezza, R. (2008). *Estimación de evapotranspiración de referencia a nivel mensual en Venezuela. ¿Qué método utilizar?*. Revista Bioagro. Venezuela. 20 (2): 89-95.