

Coeficiente del tanque evaporímetro Clase A para estimar la evapotranspiración de referencia en la provincia Artemisa

Coefficient of the Class A Pan Evaporimeter to Estimate the Reference Evapotranspiration in the Artemisa Province



<https://cu-id.com/2284/v14n1e01>

✉ Julián Herrera-Puebla*, ✉ Felicita González-Robaina, ✉ Orlando Sarmiento-García,
✉ Reinaldo Cun-González, ✉ Yoima Chaterlán-Durruthy, ✉ Enrique Cisneros-Zayas

Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN: La determinación precisa de los coeficientes del tanque evaporímetro Clase A permiten estimar la evapotranspiración de referencia (ET_o) y obtener valores reales de necesidades hídricas de los cultivos. En el presente trabajo se estimó el coeficiente K_p utilizando las dos ecuaciones propuestas por FAO, Snyder, Orang, Cuenca y la Relación ET_o determinada por método de Penman-Monteith (PM) y la E_o determinada en el evaporímetro clase A. Para la estimación de K_p se utilizaron los datos climáticos de la estación del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola en Alquizar para el período 1975-1990; con estos coeficientes se calculó la ET_o a partir de datos de evaporación para el período 2019-2022, la cual fue contrastada con la ET_o estimada por la ecuación de Penman-Monteith; se determinaron los parámetros estadísticos para el análisis cruzado entre los diferentes métodos para estimar ET_o: error medio absoluto, coeficiente de concordancia, eficiencia y el coeficiente de determinación. Los parámetros estadísticos aplicados en la validación de los modelos indicaron una mayor precisión en la estimación de ET_o para los valores decenales con las ecuaciones de FAO 1 y la relación ET_o/E_o, mientras que para los valores mensuales coincidieron estos dos modelos y el modelo de Cuenca. Se recomienda, por su facilidad de obtención, el uso de los K_p obtenidos por el modelo ET_o/E_o para la determinación de la ET_o en la región estudiada.

Palabras clave: Penman Monteith, evaporación, necesidades hídricas de los cultivos, balance hídrico.

ABSTRACT: The precise determination of the coefficients of the Class A evaporimeter tank allows us to estimate the reference evapotranspiration (ET_o) and obtain real values of water needs of the crops. In the present work, the K_p coefficient was estimated using the two equations proposed by FAO, Snyder, Orang, Cuenca and the ET_o Ratio determined by the Penman-Monteith (PM) method and the E_o determined in the class A evaporimeter. For the estimation of K_p, the climatic data from the climatic station of the Agricultural Engineering Research Institute in Alquizar for the period 1975-1990; with these coefficients, the ET_o was calculated from evaporation data for the period 2019-2022, which was contrasted with the ET_o estimated by the Penman-Monteith equation; the statistical parameters were determined for the cross analysis between the different methods to estimate ET_o: mean absolute error, coefficient of agreement, efficiency and the coefficient of determination. The statistical parameters applied in the validation of the models indicated greater precision in the estimation of ET_o for the decadal values with the FAO 1 equations and the ET_o/E_o relationship, while for the monthly values these two models and the Cuenca model. It is recommended, due to its ease of obtaining, the use of the K_p obtained by the ET_o/E_o model for the determination of the ET_o in the region studied.

Keywords: Penman Monteith, Evaporation, Crop Water Needs, Water Balance.

*Autor para correspondencia: Julián Herrera-Puebla, e-mail: julian.herrera@iagric.minag.gob.cu

Recibido: 10/09/2023

Aceptado: 08/12/2023

INTRODUCCIÓN

La operación apropiada de los sistemas de riego, así como su proyección requieren de la adopción de criterios adecuados para determinar las necesidades de agua de los cultivos. En este sentido, son la evapotranspiración de referencia (ET_o), que define la demanda climática del sitio donde se desarrolle el cultivo, de conjunto con el coeficiente de cultivo (K_c), el cual representa las características del cultivo con relación a sus requerimientos de agua [Doorembos & Pruitt \(1977\)](#), los elementos más utilizados para estimar la evapotranspiración del cultivo (ET_c), los cuales se relacionan mediante la expresión: $ET_c = ET_o \times K_c$.

En la literatura se mencionan varios métodos de estimación de ET_o, que dependen de una o más variables meteorológicas (más de 35 métodos diferentes, según [Doorembos & Pruitt \(1977\)](#); [Gurovich \(1985\)](#), en el Boletín 24 de FAO recomendaron los métodos de estimación de la ET_o de Blanney-Criddle, Penman modificado, Radiación y el Evaporímetro Clase A, y señalaron que el método modificado de Penman puede ofrecer los mejores resultados con un error posible de más o menos 10 por ciento en verano y hasta 20 por ciento bajo condiciones de baja evaporación; mientras que el método del Evaporímetro Clase A le sigue en segundo lugar de seguridad con un posible error del 15 por ciento en dependencia del sitio donde este colocado el evaporímetro.

Posteriormente, el Boletín FAO 56 [Allen et al. \(2006\)](#), basados en las conclusiones de una comisión de expertos reunida en 1990, recomendaron el método de FAO Penman-Monteith como el estándar para el cálculo de la evapotranspiración de referencia.

Este método necesita de muchas variables de entrada (radiación solar global, temperatura, humedad relativa del aire, velocidad del aire y presión atmosférica), que, en diversas situaciones no están disponibles en condiciones reales ([De Sousa et al., 2010](#)).

Tal y como señalaron [Doorembos & Pruitt \(1977\)](#) y posteriormente [Allen et al. \(2006\)](#) la ET_o también se puede estimar usando el tanque Clase "A", método este que se aplica ampliamente debido a la abundancia de datos de evaporación, su facilidad de uso y bajo costo de implantación ([Braga et al., 2008](#)). Sin embargo, para estimar ET_o por este método, es necesario utilizar un coeficiente empírico de proporcionalidad (K_p), que relaciona la ET_o con la evaporación del Tanque Clase "A".

Comúnmente, el valor de K_p se determina basado en métodos que consideran los valores de Humedad relativa media diaria (RH), velocidad del viento (U), distancia desde el tanque a una superficie de cultivo en la dirección en que sopla el viento (Borde) y tipo de superficie sobre la que se instala el tanque (hierba o

suelo desnudo). Existe la posibilidad de adoptar un valor único de K_p para todo el período del año, como una opción sencilla y práctica para estimar ET_o de ET_{CA} ([Doorembos & Pruitt, 1977](#)). Pero, este valor debe calibrarse en diferentes condiciones climáticas.

Basados en el mismo principio enunciado anteriormente se han desarrollado otros modelos para el cálculo de K_p ([Cuenca, 1989](#), citado por [Aydin \(2019\)](#); [Snyder \(1992\)](#); [Pereira et al. \(1995\)](#) y [Orang \(1998\)](#) citado por [Pradhan et al. \(2013\)](#), entre otros).

En Cuba, [Bernal \(1996\)](#) comparó los valores de la ET_o obtenidos en dos años de observaciones en lisímetros de drenaje libre (ET_{oL}) con los calculados por el método de Penman modificado (ET_{oP}) y la evaporación del tanque clase A (E_{oCA}) para la región Sur de la entonces provincia de La Habana y obtuvo valores mensuales entre 0,71-0,91 y 0,79-0,96 para las relaciones entre ET_{oL}/E_{oCA} y ET_{oP}/E_{oCA}, respectivamente, con valores anuales promedios de 0,85 y 0,86 en ese mismo orden.

Para la provincia de Ciego de Ávila, [Bonet-Pérez et al. \(2012\)](#), determinaron coeficientes de K_p utilizando el método propuesto por [Allen et al. \(2006\)](#) en la variante de suelo cubierto por cultivo y obtuvieron valores de 0,58 y 0,65 para el periodo seco y húmedo, respectivamente, muy diferentes a los obtenidos por [Bernal \(1996\)](#) para similares períodos.

En la región oriental de Cuba, para dos localidades del municipio Mayarí (Provincia de Holguín), [Villazón et al. \(2021\)](#) en el período 1975-2015 y utilizando también la metodología propuesta por [Allen et al. \(2006\)](#) obtuvieron valores decenales para los coeficientes K_p que oscilaron entre 0,63 y 0,72 para la localidad de Guaro y 0,65-0,84 para la localidad de Pinares de Mayarí. A partir de los valores decenales mostrados por estos autores se desprenden valores anuales de 0,68 y 0,76 para las localidades antes citadas en el mismo orden.

Como puede observarse de la revisión anterior, existen diferentes ecuaciones para la determinación de K_p, mientras que los valores del mismo, al ser dependiente de parámetros climáticos, varían de una región a otra, incluso dentro de un mismo país, como el caso de Cuba aun utilizando una misma ecuación para su determinación. Por ello, el presente trabajo se planteó como objetivo comparar diferentes ecuaciones para la obtención de valores de K_p para la localidad de Alquizar y su posible extrapolación a otras localidades de la provincia de Artemisa (Güira de Melena).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El estudio se realizó en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), situada en el Municipio de Alquizar, Provincia de Artemisa (22°46'48" N y 82°36'0.36" W) a 6 msnm, que presenta un clima de

sabana tropical y donde la estación menos cálida del año coincide con la época de menos lluvia.

Los datos meteorológicos para el cálculo de los coeficientes K_p fueron obtenidos de trabajos publicados por diferentes investigadores del Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD) realizados en el período 1975-1990, los que aparecen reflejados en la [Tabla 1](#). La Estación Agro meteorológica de la cual los autores listados en la [Tabla 1](#) tomaron sus datos, interrumpió su trabajo en 1992 y se reanudó en 2016 con observaciones diarias de lluvia (pluviómetro estándar) y evaporación (en 2019, evaporímetro clase A).

La [Tabla 2](#), tomada de [Roque \(1995\)](#) muestra los valores promedios mensuales de los principales elementos climáticos del sitio donde se realizó el estudio para el período 1972-1990. Este autor calculó la E_{To} utilizando el método de Penman según indicaban [Doorembos & Pruitt \(1977\)](#), por lo que, utilizando los mismos datos para el periodo estudiado por el mismo, se realizó un nuevo cálculo E_{To} utilizando el método de Penman modificado ($E_{To P_{mod}}$ en la tabla) según recomiendan [Allen et al. \(2006\)](#).

La E_{To} para el período 2019-2021 (E_{To} observada, O_e) fue calculada decenalmente según el método de Penman-Monteith mediante la subrutina clima del programa CropWat [Smith \(1992\)](#) y utilizando los datos de valores promedios diarios decenales de los elementos del clima brindados en el Boletín Agro meteorológico Nacional 2008-2022 ([Instituto de Meteorología-Cuba, 2023](#)). Para el cálculo de la E_{To} utilizando los coeficientes K_p estimados según los diferentes modelos (E_{To} estimada, E_e) se utilizaron los

valores del tanque evaporímetro clase A medidos en la Estación Experimental del IAgric en el periodo 2019-2020.

Modelos utilizados para el cálculo de los coeficientes del Tanque clase A

Para la estimación del coeficiente de tanque (K_p), para valores decenales, se escogieron, entre los varios modelos disponibles los presentados en el Estudio FAO riego y Drenaje 56 [Allen et al. \(2006\)](#); el modelo [Cuenca \(1989\)](#), citado por [Aydin \(2019\)](#), Modelo [Snyder \(1992\)](#), Orang (1998, citado por [Pradhan et al. \(2013\)](#)) y el modelo de [Pereira et al. \(1995\)](#). Para los valores mensuales, se utilizaron los mismos modelos citados anteriormente además del coeficiente K_p del tanque obtenido por [Bernal \(1996\)](#) al relacionar los valores de E_{To} promedios diarios mensuales obtenidos en un lisímetro de compensación y los de la Evaporación (E_o) del tanque clase A en la Estación Experimental del IAgric para el promedio de los años 1982-1983.

Para evaluar los modelos anteriores, se comparó el valor de la E_{To} promedio diario de las 36 decenas de los años 2019 al 2021 según el método de Penman-Monteith con la E_{To} calculada a partir de los coeficientes K_p obtenidos por los diferentes modelos y la E_o medida en el tanque clase A para el mismo período. Igual método se siguió para la evaluación de los coeficientes mensuales.

Modelos del Estudio FAO 56:

[Ecuación FAO 1](#): Tanque Clase A situado en cultivo verde circundante según [Allen et al. \(2006\)](#)

TABLA 1. Autores, año de publicación y período para el que fueron tomados los datos climáticos

Autor y año de publicación	Datos climáticos para el período
Hernández del Valle (1978)	1975
Castellanos et al.(1984)	1980-1981
Martinez & Ortega (1987)	1982-1984
Sanchez & Ramirez (1988)	1986
Roque (1995)	Promedio Período 1972-1990
Herrera et al. (2016)	1987

TABLA 2. Valores promedios mensuales (1972-1990) de los factores del clima para la Estación de Pulido ([Roque 1995](#))

Factor/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T max (°C)	26,8	27,4	28,5	29,9	31,1	31,9	32,5	32,5	32,2	30,8	29,4	28,0
T min (°C)	15,6	15,8	17,6	19,0	21,6	23,2	23,3	23,0	22,5	20,8	19,0	17,4
V. Viento (m/seg)	1,8	2,1	2,2	2,2	2,0	1,7	1,5	1,5	1,7	1,7	1,8	1,8
Horas Luz	6,9	7,0	8,4	8,5	7,9	7,5	7,5	7,5	6,7	6,6	6,6	6,3
H. R. (%)	80	78	78	74	76	79	78	78	80	81	80	80
Prec. (mm/mes)	51,6	52,4	55,2	64,6	177,4	219,6	203,5	222,2	191,6	102,4	60,6	30,9
Evap. (mm/día)	4,4	5,0	6,4	6,9	6,8	5,9	6,3	6,0	5,5	4,9	4,4	4,0
E_{To} promedio (mm/día)	3,2	3,9	5,0	5,8	5,8	5,5	5,5	5,3	4,7	4,0	3,4	3,0
$E_{To PM}$ (mm/día)	2,8	3,3	4,1	4,8	4,9	4,8	4,8	4,6	4,1	3,5	3,0	2,7

$$Kp = 0.108 - 0.0286U_2 + 0.0422\ln F + 0.1434\ln HR - 0.000631(\ln F)^2 * \ln HR \quad (1)$$

Ecuación FAO 2: Tanque Clase A situado en suelo desnudo según [Allen et al. \(2006\)](#)

$$Kp = 0.87 + 0.119\ln F - 0.0157(\ln(86.4U_2))^2 - 0.0019(\ln F)^2 * 2\ln(86.4U_2) + 0.013\ln(86.4U_2) * \ln HR - 0.000053\ln(86.4U_2) * \ln F * HR \quad (2)$$

En las ecuaciones anteriores:

Kp: coeficiente del tanque, U₂: velocidad promedio diaria del viento a 2 m altura (m s⁻¹), HR: humedad relativa media diaria [%], F: distancia al borde de la superficie identificada (pasto o cultivo verde corto para la [ecuación 1](#) y suelo en barbecho o cultivo seco en dirección del viento, para todos los modelos empleados, F fue considerado con un valor de 50 m. [Allen et al. \(2006\)](#) definen el siguiente rango de las variables en que pueden ser utilizadas estas ecuaciones:

1 m ≤ F ≤ 1 000 m (estos límites deben ser respetados)

30% ≤ HR ≤ 84%

1 m s⁻¹ ≤ u₂ ≤ 8 m s⁻¹

Modelo de Cuenca [Ecuación 3:](#)

$$Kp = 0.475 - 0.00024U + 0.000516H + 0.00118F - 0.000016HR^2 - 0.00000101F^2 - 0.00000000HR^2F \quad (3)$$

Donde

U: velocidad media del viento a 2 m de altura (km día⁻¹)

H: humedad relativa media (%)

F: distancia al borde

Modelo de Snyder [Ecuación 4:](#)

$$Kp = 0.482 + (0.024\ln F) - (3.76 * 10^{-4}U) + (0.0045HR) \quad (4)$$

Donde

U: velocidad media del viento a 2 m de altura (km día⁻¹)

H: humedad relativa media (%)

F: distancia al borde

Modelo de Orang [Ecuación 5](#)

$$Kp = 0.51206 - 0.000321U_2 + 0.002889HR + 0.031886\ln F - 0.000107H\ln F \quad (5)$$

Modelo de Pereira [Ecuación 6](#)

[Pereira et al. \(1995\)](#), desarrollaron su modelo para determinar el valor del coeficiente de tanque basado en la temperatura media del aire y la constante psicrométrica.

$$Kp = 0.85(\Delta + \gamma) / [\Delta + \gamma(1 + r_c/r_g)] \quad (6)$$

$$\Delta = \frac{4098 [0.6108 * \exp(\frac{17.27T}{T + 237.5})]}{(T + 237.3)^2} \quad (7)$$

Donde

Δ: pendiente de la presión de vapor saturada con relación a la curva de temperatura (kPa °C⁻¹)

γ: constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

T: temperatura media del aire (°C), exp (...) 2.7183 base de los logaritmos naturales elevados a la potencia (...)

[Pereira et al. \(1995\)](#) señalan que de acuerdo a los resultados experimentales obtenidos por [Allen et al. \(1989\)](#), citados por [Pereira et al. \(1995\)](#):

$$r_c/r_g = 0.33U \quad (8)$$

donde U, es la velocidad del viento (m s⁻¹) medida a 2 m de la superficie del suelo, y entonces el modelo propuesto por [Pereira et al. \(1995\)](#) puede calcularse como:

$$Kp = 0.85(\Delta + \gamma) / \Delta + \gamma(1 + 0.33U_2) \quad (9)$$

Los parámetros (Δ), temperatura promedio (T), constante psicrométrica (γ) y la presión de acuerdo a la elevación sobre el nivel del mar (P) incluidos en el modelo anterior fueron calculados según los procedimientos descritos en el Boletín FAO 56 ([R. Allen et al., 2006](#)).

Análisis estadístico

Para evaluar el desempeño de los modelos de determinación de K_p para la estimación de la ETo, usando el método del evaporímetro Clase A (ETo = E_{opan} * K_p), se utilizaron varios criterios de rendimiento, incluida el análisis de regresión, índice de concordancia (D), error medio absoluto (MAE), máximo error absoluto (MAXE), y eficiencia (EF), como ha sido sugerido por [Nash & Sutcliffe \(1970\)](#) y [Willmott et al. \(2012\)](#) (Tabla 3).

[Willmott et al. \(1985\)](#) definieron RMSE y el MAE como dos medidas dimensionadas del error del rendimiento promedio del modelo empleado en la predicción. Cada una de estas medidas se ‘dimensiona’ en el sentido de que expresa el error medio de predicción del modelo en las unidades de la variable de interés. Estas medidas también se han utilizado para representar la diferencia promedio (en lugar del error promedio) cuando no se sabe cuál conjunto de estimaciones es el más confiable ([Willmott & Matsuura, 2005](#)).

Por otra parte, [Willmott et al. \(2012\)](#), introdujeron el parámetro *dr*, al cual denominaron “Índice refinado del rendimiento de modelos (*refined index of model performance*)”. Según estos autores, la interpretación de *dr* es relativamente sencilla, este parámetro indica la suma de los valores de las diferencias entre las desviaciones observadas y las predichas por el modelo sobre la media observada en relación con la suma de los valores del modelo perfecto (Pi = Oi, para todo

TABLA 3. Parámetros estadísticos utilizados para la evaluación de los modelos de cálculo de Kp

Parámetro estadístico	Símbolo	Ecuación	Referencia
Error medio absoluto	MAE	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i - E_i $	Willmott et al. (1985)
Raíz del error cuadrático medio	RMSE	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{N}}$	Willmott et al. (1985)
Error medio cuadrático	MSE	$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2$	Willmott et al. (1985)
Índice de Concordancia	D	$D = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O} + E_i - \bar{E})^2} \right]$	Willmott et al. (1985)
Índice de concordancia modificado,	d_r	$d_r = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n O_i - E_i }{2 \sum_{i=1}^n O_i - \bar{O} };$ cuando $\sum_{i=1}^n O_i - E_i \leq 2 \sum_{i=1}^n O_i - \bar{O} $ $d_r = \frac{2 \sum_{i=1}^n O_i - \bar{O} }{\sum_{i=1}^n O_i - E_i } - 1;$ cuando $\sum_{i=1}^n O_i - E_i > 2 \sum_{i=1}^n O_i - \bar{O} $	Willmott et al. (2012)
Coefficiente de Eficiencia	Ef	$Ef = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$	Nash & Sutcliffe (1970)
Coefficiente de determinación	R^2	$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(E_i - \bar{E})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}$	Willmott et al. (1985)

Nota: O_i , es el valor observado (ETo calculada mediante la ecuación de Penman-Monteit, utilizando Cropwat 8.0), E_i , es el valor estimado utilizando los valores de $E_o \times K_p$, N es el número de observaciones.

valor de d_r) con relación a las desviaciones observadas respecto de la media observada. Señalan [Willmott et al. \(2012\)](#) que para un valor de d_r de 0,5, la suma de las magnitudes del error es la mitad de la suma de las magnitudes de la desviación del modelo perfecto con relación a la desviación observada. Cuando $d_r = 0$, significa que la suma de las magnitudes de los errores y la suma de las magnitudes de la desviación del modelo perfecto y las desviaciones observadas son equivalentes. Cuando $d_r = -0.5$, indica que la suma de las magnitudes del error es el doble de la suma del modelo perfecto. Valores de d_r de -1.0 o cerca de este valor puede significar que las desviaciones del modelo estimado sobre el observado son estimaciones deficientes; pero también pueden significar que simplemente se observa poca variabilidad.

De acuerdo con [Heng et al. \(2009\)](#) es factible utilizar las ecuaciones anteriores, ya que: la RMSE representa una medida global entre los valores observados y estimados, es decir, un indicador de la incertidumbre, debido a que toma las mismas unidades de la variable estimada y, por consiguiente, el valor más cercano a cero indica similitud entre las dos variables. Mientras que la EF tiene como valor máximo y óptimo 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La [Figura 1](#) muestra la relación entre la ETo calculada por el método de Penman modificado [Doorembos & Pruitt \(1977\)](#) y el método de Penman-Monteith [\(Allen et al., 2006\)](#). Como puede observarse en la figura, la ecuación de Penman modificado sobrestima el valor de la ETo como promedio de todos los meses en un 13.7%, con valores notables superiores al 17% en los meses de marzo y abril, lo cual ya había sido enunciado por [Allen et al. \(2006\)](#) como uno de los motivos para la revisión de este método.

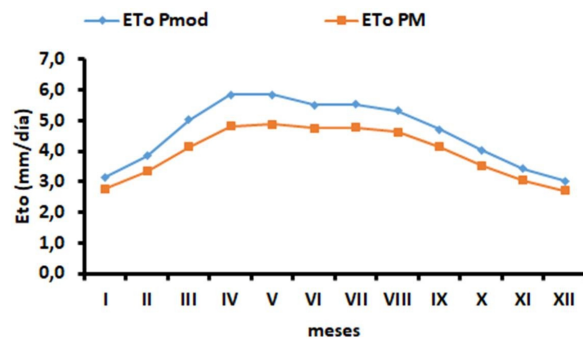


FIGURA 1. Relación entre la ETo calculada por el método de Penman modificado y el método de Penman-Monteith.

La [Figura 2](#) muestra la relación entre la ETo para el período 1972-1990 en la Estación Experimental del IAgri en Alquizar y la del periodo 2008-2021 en la Estación meteorológica de Güira de Melena, tanto para los valores mensuales ([figura 2a](#)) como para los valores decenales ([Figura 2b](#)).

Los valores del coeficiente de determinación (R^2), tanto para los valores mensuales como para los valores decenales de 0,994 y 0,978, respectivamente, indican la excelente correspondencia entre las dos estaciones y con ello la posibilidad de utilizar los datos de Güira de Melena como estimador de la ETo para la Estación Experimental de Alquizar.

La [Tabla 4](#) muestra los valores decenales del Kp para cada uno de los modelos estudiados.

Al observar los valores decenales de Kp mostrados por la [Tabla 4](#), puede apreciar que los mismos se concentran en 3 grupos, el de valores más altos se corresponde con los modelos de FAO 2 y Snyder y fluctúan entre 0,9 y 0,91 con coeficientes de variación de 1,58 y 2,03 % para los modelos de FAO 2 y Snyder, respectivamente.

El segundo grupo lo componen los modelos de FAO 1, Orang y Cuenca, con valores promedios anuales de 0,81, 0,80 y 0,84 y coeficientes de variación de 1,58, 1,63 y 0,99 % para cada uno de los modelos antes citados, respectivamente. Un tercer grupo, por los promedios alcanzados, lo conforman el modelo de Pereira y la relación ETo/Eo, con promedios anuales de 0,72 (CV 3,05 %) y 0,71. Sin embargo, como puede observarse en la [Tabla 4](#), el modelo ETo/Eo muestra una mayor variación anual, en correspondencia con el mayor coeficiente de variación (8,02 %) entre todos los modelos estudiados.

La [Tabla 5](#) muestra el valor promedio mensual del coeficiente Kp para cada uno de los modelos estudiados.

El valor promedio mensual de Kp ([Tabla 5](#)) muestra similar comportamiento en los coeficientes Kp que el mostrado en la [Tabla 4](#), en esta tabla se incluyó el valor de Kp obtenido por [Bernal \(1983\)](#) al relacionar el valor de ETo obtenido en el lisímetro con la evaporación del tanque clase A durante los años 1983-84 en la propia estación experimental, valores

muy variables durante los meses de enero a marzo, pero que tienden a ser similares al mostrado por los modelos de FAO 2 y Snyder durante el resto de los meses.

Los valores mostrados en las [Tablas 4](#) y [5](#) no coinciden con los resultados encontrados en Cuba por otros autores, así [Bonet-Pérez et al. \(2012\)](#) al aplicar el modelo señalado en este trabajo como FAO 1 (Tanque Clase A situado en cultivo verde circundante) encontraron un valor de Kp promedio anual de 0,78, mientras que para ese mismo modelo en este trabajo el valor promedio fue de 0,81.

Al calcular el valor de Kp utilizando la relación ETo/Eo, [Bonet-Pérez et al. \(2012\)](#), encontraron valores de 0,58 y 0,65 para los periodos seco y de lluvias, mientras que los valores encontrados en este trabajo para similar modelo fueron de 0,66 y 0,75 para el período poco lluvioso y lluvioso, respectivamente.

Las diferencias en los Kp encontrados para diferentes zonas del país indican que no puede esperarse un valor único de Kp para todas las regiones debido a los múltiples factores que influyen en su determinación, lo cual fue señalado por [Allen et al. \(2006\)](#), quienes al referirse a las tablas por ellos presentadas en el Boletín FO 56 señalaron que "el uso de los cuadros o ecuaciones correspondientes puede no ser suficiente para incluir todos los factores ambientales locales que influyen sobre el valor de Kp y que puede requerirse un ajuste local. Para ello se recomienda realizar una adecuada calibración de E_{pan} con relación a la ETo calculada con el método FAO Penman-Monteith".

La [Figura 3](#) muestra la relación por decenas entre la ETo (mm día^{-1}) determinada mediante la ecuación de Penman-Monteith y la ETo estimada utilizando los valores de Eo y los coeficientes Kp de los diferentes modelos estudiados para cada decena del año en todos los años estudiados.

Como puede observarse en la [Figura 3](#), todos los modelos, con excepción de FAO 2, y Cuenca muestran coeficientes de determinación (R^2) iguales o superiores al 0,80, con el mayor valor correspondiente al modelo de Pereira (0,83).

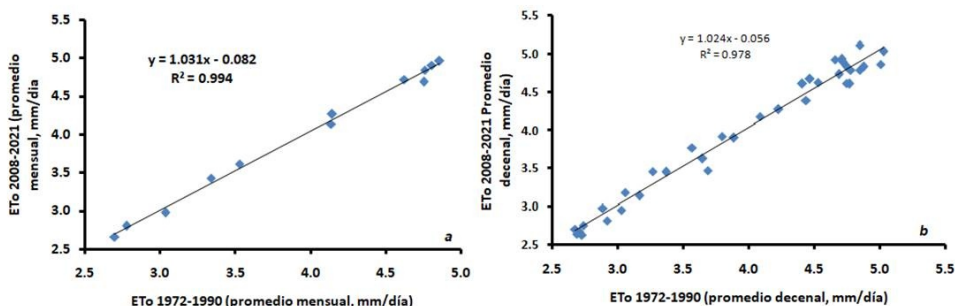


FIGURA 2. Relación entre la ETo para el período 1972-1990 de la Estación de Alquizar y el periodo 2008-2021 para la Estación de Güira de Melena para valores mensuales (a) y valores decenales (b).

TABLA 4. Valores decenales del coeficiente Kp para cada uno de los modelos estudiados

Mes	Decena	Modelos						
		FAO 1	FAO 2	Cuenca	Snyder	Orang	Pereira	Eto/Eo
		Valores decenales de Kp						
Enero	1	0,82	0,92	0,80	0,90	0,84	0,72	0,63
	2	0,82	0,93	0,81	0,92	0,85	0,72	0,62
	3	0,82	0,92	0,81	0,91	0,85	0,71	0,64
Febrero	1	0,82	0,92	0,80	0,91	0,85	0,71	0,64
	2	0,82	0,92	0,80	0,91	0,85	0,71	0,68
	3	0,81	0,92	0,80	0,90	0,84	0,71	0,70
Marzo	1	0,81	0,92	0,80	0,90	0,84	0,71	0,63
	2	0,80	0,91	0,79	0,89	0,84	0,70	0,64
	3	0,80	0,91	0,78	0,88	0,83	0,70	0,67
Abril	1	0,80	0,90	0,78	0,88	0,83	0,71	0,68
	2	0,79	0,89	0,77	0,86	0,83	0,68	0,70
	3	0,78	0,89	0,77	0,86	0,83	0,67	0,70
Mayo	1	0,79	0,90	0,78	0,88	0,81	0,69	0,69
	2	0,79	0,90	0,78	0,88	0,84	0,69	0,73
	3	0,80	0,90	0,78	0,88	0,83	0,72	0,73
Junio	1	0,80	0,90	0,79	0,89	0,84	0,72	0,80
	2	0,81	0,91	0,80	0,90	0,84	0,73	0,83
	3	0,82	0,91	0,81	0,90	0,84	0,76	0,78
Julio	1	0,82	0,91	0,80	0,90	0,84	0,74	0,73
	2	0,82	0,92	0,80	0,90	0,84	0,73	0,80
	3	0,82	0,92	0,81	0,91	0,84	0,75	0,74
Agosto	1	0,82	0,91	0,80	0,90	0,83	0,75	0,79
	2	0,82	0,92	0,81	0,91	0,84	0,75	0,78
	3	0,82	0,93	0,81	0,92	0,85	0,74	0,76
Septiembre	1	0,82	0,92	0,81	0,91	0,84	0,75	0,75
	2	0,82	0,92	0,81	0,91	0,84	0,75	0,73
	3	0,83	0,93	0,82	0,93	0,85	0,75	0,76
Octubre	1	0,84	0,94	0,82	0,94	0,85	0,76	0,74
	2	0,82	0,91	0,80	0,90	0,84	0,74	0,69
	3	0,82	0,93	0,81	0,92	0,85	0,74	0,72
Noviembre	1	0,82	0,93	0,81	0,92	0,85	0,72	0,66
	2	0,83	0,93	0,81	0,92	0,85	0,73	0,67
	3	0,83	0,93	0,81	0,92	0,85	0,73	0,61
Diciembre	1	0,82	0,92	0,81	0,90	0,84	0,71	0,70
	2	0,82	0,91	0,80	0,89	0,83	0,74	0,67
	3	0,82	0,92	0,81	0,92	0,85	0,74	0,67

La [Figura 4](#) muestra la relación por promedio mensual para el Kp en los años estudiados, en esta figura se incluye la relación entre la ETo determinada mediante la ecuación de Penman-Monteith y la calculada utilizando la Eo y el coeficiente obtenido en lisímetros por [Bernal \(1983\)](#) para los años 1982-83 en la misma área bajo estudio. A diferencia de la [Figura 3](#), en todos los casos R² muestra un valor igual o superior a 0.80, con el mayor valor (R² = 0.83) para el modelo donde ETo se calculó a partir de los datos obtenidos en el lisímetro.

Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico se parearon los valores de la evapotranspiración de referencia

promedio diaria para cada decena de los años 2016-2022 estimada por la ecuación de Penman-Monteith con la obtenida multiplicando los datos de evaporación diaria para cada decena del mismo período obtenidos en el evaporímetro Clase A con los valores del coeficiente Kp decenal conseguidos con los diferentes modelos. Teniendo en cuenta los criterios estadísticos mostrados en la [Tabla 6](#) para los valores de Kp decenales, como MAE, RMSE, MSE, coeficiente de eficiencia (E), índice de concordancia (D), índice de concordancia modificado (dr), y coeficiente de determinación (R²); para los valores decenales, los modelos de FAO 1 y la relación ETo/Eo

TABLA 5. Valores promedio mensuales del Coeficiente **Kp** para cada uno de los modelos estudiados

Meses	Modelos							
	FAO 1	FAO 2	Cuenca	Snyder	Orang	Pereira	Eto/Eo	Lisímetro
Enero	0,82	0,92	0,81	0,91	0,84	0,72	0,63	0,71
Febrero	0,82	0,92	0,80	0,91	0,84	0,71	0,67	0,86
Marzo	0,81	0,91	0,79	0,89	0,84	0,70	0,65	0,75
Abril	0,79	0,89	0,78	0,87	0,83	0,69	0,69	0,84
Mayo	0,8	0,90	0,78	0,88	0,83	0,70	0,72	0,85
Junio	0,81	0,90	0,80	0,90	0,84	0,74	0,80	0,86
Julio	0,82	0,91	0,80	0,90	0,84	0,74	0,76	0,87
Agosto	0,82	0,92	0,81	0,91	0,84	0,75	0,78	0,87
Septiembre	0,83	0,93	0,81	0,92	0,85	0,75	0,75	0,87
Octubre	0,83	0,93	0,81	0,92	0,85	0,75	0,72	0,86
Noviembre	0,83	0,93	0,81	0,92	0,85	0,73	0,65	0,91
Diciembre	0,82	0,92	0,81	0,90	0,84	0,71	0,68	0,87

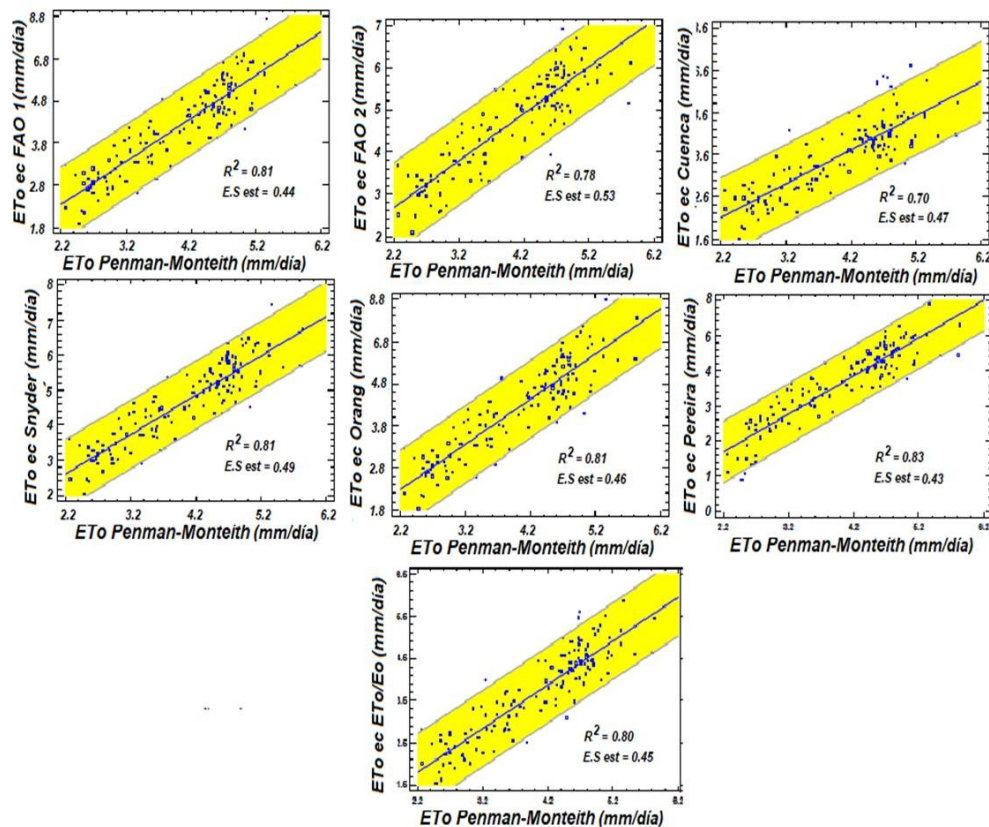


FIGURA 3. Comparación de la ETo diaria para valores decenales estimada por el método de Penman- Monteith vs ETo estimada utilizando los coeficientes Kp obtenidos por los diferentes modelos estudiados.

resultaron ser los mejores para estimar la evapotranspiración de referencia (ET0).

En la [Tabla 7](#) se muestran los valores de los parámetros estadísticos seleccionados aplicados a los modelos estudiados para los valores mensuales. Al igual que en los valores decenales, el modelo FAO 1 y la relación ETo/Eo muestran la mejor calidad de ajuste, a los que se agrega en este caso, el modelo de

Cuenca. Dado la escasa información de la ETo determinada en el lisímetro (solo el promedio de dos años) no se consideró viable comparar la ETo determinada por este método con la calculada con los modelos seleccionados; no obstante, [Bernal \(1983\)](#) encontró una relación significativa ($R^2=0,94$) entre los valores de ETo obtenidos con el lisímetro y la ecuación de Penman, muy inferior a la encontrada al

aplicar los coeficientes determinados por este autor a los años considerados en este trabajo.

Los valores de los parámetros estadísticos mostrados en las [Tablas 6 y 7](#) para los valores decenales y mensuales de Kp, respectivamente, indican como se señaló anteriormente, que el mejor comportamiento se obtuvo con los modelos FAO 1 y la relación ETo/Eo, aunque, como muestra la figura 6, el modelo FAO 1 sobrestima la ETo promedio anual en 0,8 mm, mientras que el modelo que utiliza Kp calculado por la relación ETo/Eo subestima la ETo promedio anual en 0,31 mm, ambos valores

insignificantes cuando la ETo diaria promedio anual para un periodo de 15 años (2008-2022) en el sitio es de 3,93 mm con valor máximos de 5,58, 4,96 y 5,01y mínimos extremos de 2,52, 2,04 y 2,43 mm para la ETo calculada por el modelo de FAO 1, ETo/Eo y Penman-Monteith, los cuales aunque no coinciden en decena, si lo hacen en cuanto a la época en que se producen estos valores extremos.

Sentelhas y Folegatti, (2003) enfatizaron que los mejores métodos de Kp para estimar la ETo fueron [Pereira et al. \(1995\)](#) y [Cuenca, 1989](#)), ambos presentando alta eficiencia, estos autores demostraron

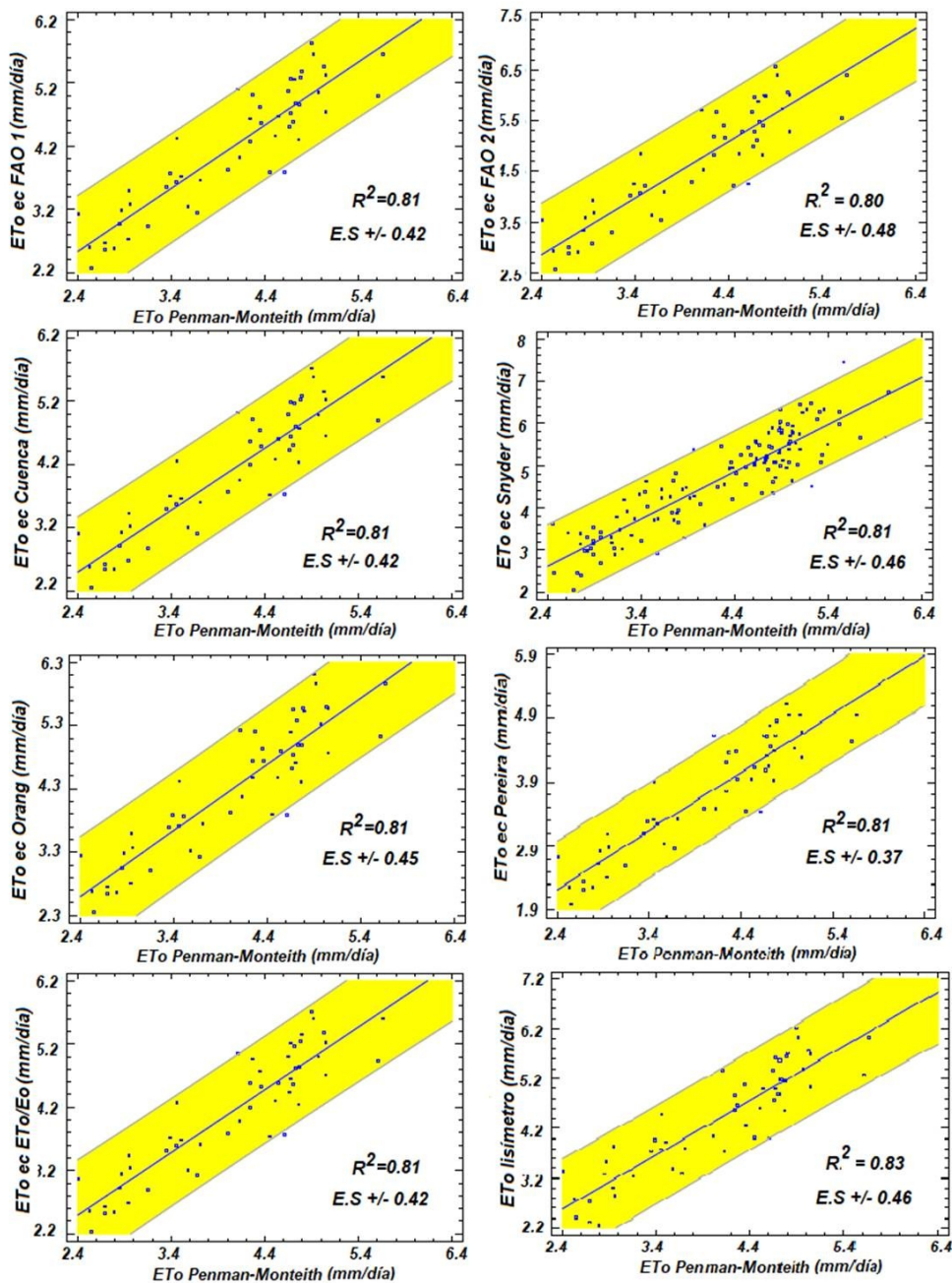


FIGURA 4. Comparación de la ETo diaria para valores mensuales estimada por el método de Penman- Monteith vs ETo estimada utilizando los coeficientes Kp obtenidos por los diferentes modelos estudiados.

TABLA 6. Parámetros estadísticos de ajustes para los valores decenales de la ETo estimada mediante P-M y la calculada mediante los Kp obtenido en los diferentes modelos estudiados

Modelo	Parámetros Estadísticos						
	MAE	RMSE	MSE	EF	D	dr	R ²
1.FAO 1	0,19	0,43	0,10	0,72	0,94	0,76	0,81
2.FAO 2	0,65	0,81	0,17	0,04	0,83	0,53	0,78
3.Cuenca	0,52	0,72	0,22	0,23	0,81	0,57	0,70
4.Snyder	0,55	0,74	0,16	0,19	0,85	0,57	0,81
5.Orang	0,27	0,52	0,12	0,60	0,92	0,71	0,81
6.Pereira	0,27	0,52	0,14	0,60	0,91	0,72	0,83
7.ETo/Eo	0,26	0,51	0,14	0,62	0,92	0,71	0,80

MAE: Error medio absoluto; RMSE: Raíz del error cuadrático medio; Error cuadrático medio, Ef: Eficiencia, D: coeficiente de concordancia, d_r: coeficiente de concordancia modificado y R²: Coeficiente de determinación.

TABLA 7. Parámetros estadísticos de ajustes para los valores mensuales de la ETo estimada mediante P-M y la calculada mediante los Kp obtenido en los diferentes modelos estudiados

Modelos	Parámetros Estadísticos						
	MAE	RMSE	MSE	dr	D	ef	R ²
FAO 1	0,19	0,43	0,10	0,74	0,94	0,78	0,81
FAO 2	0,65	0,81	0,17	0,10	0,84	0,56	0,80
Cuenca	0,17	0,41	0,10	0,76	0,95	0,79	0,81
Snyder	0,56	0,75	0,16	0,23	0,86	0,60	0,81
Orang	0,27	0,52	0,12	0,63	0,92	0,73	0,81
Pereira	0,23	0,48	0,13	0,68	0,92	0,75	0,83
ETo/Eo	0,17	0,42	0,10	0,76	0,95	0,78	0,81
Lisímetro	0,34	0,58	0,13	0,53	0,91	0,69	0,80

MAE: Error medio absoluto; RMSE: Raíz del error cuadrático medio; Error cuadrático medio, Ef: Eficiencia, D: coeficiente de concordancia, d_r: coeficiente de concordancia modificado y R²: Coeficiente de determinación.

que el uso de un Kp (0,71) arbitrario y constante para estimar ETo produjo la misma precisión y exactitud que las estimaciones de Kp basadas en los métodos de [Pereira et al. \(1995\)](#) y [Cuenca, 1989](#).

Los resultados de [Rahimikhoob \(2009\)](#) mostraron que la ETo calculada utilizando los valores diarios de Kp de Orang (1998) citado por [Pradhan et al. \(2013\)](#) proporcionó estimaciones totales diarias, mensuales y anuales más precisas en comparación con las demás ecuaciones.

[Gundekar et al. \(2008\)](#) compararon el Kp determinado por [Cuenca \(1989\)](#); [Pereira et al. \(1995\)](#); Orang (1998) citado por [Pradhan et al. \(2013\)](#) y [Snyder \(1992\)](#), y basados en la comparación visual, así como de los criterios estadísticos, concluyeron que la ETo calculada a partir de [Snyder \(1992\)](#) obtuvo los mejores resultados al compararse con la ETo calculada por el método FAO-Penman Monteith para estimaciones diarias, mensuales y anuales en comparación con los otros enfoques por ellos estudiados.

Como puede observarse de la discusión anterior, la literatura es amplia en cuanto a la evaluación de los modelos utilizados en este trabajo, y difieren en cuanto a cuál es mejor, sobre todo por las condiciones climáticas imperantes en cada zona de estudio.

No obstante, [Babakos et al. \(2020\)](#), consideraron que la ETo estimada mediante una fórmula completa (por ejemplo, el método estandarizado de la ASCE) y la evaporación medida en el evaporímetro Clase A se ven afectados por los mismos parámetros climáticos, y pudiera esperarse que únicamente Eo pudiera explicar la mayor parte de la varianza en los valores estimados de ETo, especialmente cuando no se observan desviaciones extremas de los parámetros meteorológicos en condiciones normales.

Lo anterior significa que un modelo que considere sólo Eo sin la inclusión de otros parámetros podría proporcionar una precisión de predicción adecuada, con valores de R² oscilando entre 0,7 y 0,95 Cunha (2005) citados por [Babakos et al. \(2020\)](#) y [Pradhan et al. \(2013\)](#); [Snyder \(1992\)](#) mientras que los otros parámetros climáticos pueden ser redundantes.

De acuerdo con [Babakos et al. \(2020\)](#) las razones que podrían explicar un modelo de regresión de baja precisión entre ETo y Epan son (a) la selección de una forma no apropiada del modelo de regresión y (b) la introducción de sesgo experimental durante ETo.

Los valores de R^2 y los demás parámetros estadísticos encontrados en este trabajo al comparar los diferentes modelos conducen a sugerir el empleo de los coeficientes K_p , obtenidos mediante la relación E_o/E_t para el sitio de estudio.

CONCLUSIONES

Como se demuestra en este trabajo la E_t puede ser determinada con una relativa alta precisión si se disponen de valores confiables de E_o determinados en el tanque evaporímetro Clase A y coeficientes K_p determinados en el sitio. Al analizar los valores de K_p encontrados en los trabajos realizados en el país, se nota la no existencia de un valor único para todas las regiones, por lo que para una estimación adecuada de la E_t los coeficientes K_p deben ser determinados localmente.

Un método adecuado para determinar valores de K_p , tanto mensual como decenal pudiera ser la relación entre la E_t , determinada por el método de Penman-Monteith y la evaporación medida en el tanque evaporímetro Clase A.

Los resultados obtenidos sugieren que la utilización de los coeficientes K_p determinados en este trabajo mediante la relación E_t/E_o aplicados a la evaporación del tanque evaporímetro Clase A constituyen un buen estimador de la E_t para su uso en el cálculo de la demanda de riego y los balances hídricos en la región estudiada cuando solo se tienen datos de la evaporación en el tanque Clase A.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R. G., Jensen, M. E., Wright, J. L., & Burman, R. D. (1989). Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agronomy journal*, 81(4), 650-662, ISSN: 0002-1962.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (Vol. 56). Estudio FAO, Riego y Drenaje, Roma. Italia.
- Aydin, Y. (2019). Determination of reference E_t by using different K_p equations based on class a pan evaporation in southeastern anatolia project (GAP) region. *Appl. Ecol. Environ. Res*, 17, 15117-15129, ISSN:1785-0037, DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aecer/1706_1511715129
- Babakos, K., Papamichail, D., Tziachris, P., Pisinaras, V., Demertzi, K., & Aschonitis, V. (2020). Assessing the robustness of pan evaporation models for estimating reference crop evapotranspiration during recalibration at local conditions. *Hydrology*, 7(3), 62, ISSN: 2306-5338, DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aecer/1706_1511715129.
- Bernal, P. (1996). *Measured and Calculated Evapotranspiration in South Havana, Cuba*. 924-927, Chicago, USA.
- Bernal, V. P. (1983). *Measured and Calculated Evapotranspiration in South Havana*. National Conference on Advances in Evt., Dec. 16- 17, Chicago, USA.
- Bonet-Pérez, C., Brown-Manrique, O., & Duarte-Díaz, C. (2012). Coeficiente de evaporímetro para la programación del riego. *Ingeniería Agrícola*, 2(1), 24-27, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- Braga, M. B., Calgato, M., Moura, M., & Silva, T. (2008). Coeficientes do tanque classe "A" para estimativa da evapotranspiração de referência na região do Vale do Submédio São Francisco, estado da Bahia. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 16(1), 49-57.
- Castellanos, A., Rey, R., & Amor, R. (1984). Efecto del riego sobre el rendimiento de la soya. *Cienc. Tec. Agric. Riego y Drenaje*, 7(2), 39-51.
- Cuenca, R. H. (1989). *Irrigation system design. An engineering approach*. Prentice Hall, USA.
- De Sousa, I. F., da Silva, P. R., Sabino, F. G., Netto, O. A., Silva, B. K. N., & De Azevedo, P. V. (2010). Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14, 633-644, ISSN: 1415-4366.
- Doorembos, J., & Pruitt, W. O. (1977). Crop water requirements. *Irrigation and Drainage*, 24, Rome, Italy.
- Gundekar, H., Khodke, U., Sarkar, S., & Rai, R. (2008). Evaluation of pan coefficient for reference crop evapotranspiration for semi-arid region. *Irrigation Science*, 26, 169-175, ISSN: 0342-7188.
- Gurovich, L. A. (1985). *Fundamentos y diseño de sistemas de riego* ((IICA/Serie de libros y materiales educativos; No. 59), Número 59). IICA, San José, Costa Rica.
- Heng, L. K., Hsiao, T., Evett, S., Howell, T., & Steduto, P. (2009). Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. *Agronomy journal*, 101(3), 488-498.
- Hernández del Valle, G. (1978). Estudio de varias formas de regímenes de riego en el cultivo de la caña de al azúcar. Planta 1975. *Ciencias Tec. Agric. Riego y Drenaje*, 1(2).
- Herrera, J., Osorio, A., González, F., & Díaz, Y. (2016). Respuesta del sorgo (*Sorghum vulgare* L. Monech) al riego y la fertilización nitrogenada en dos épocas de siembra. *Ingeniería Agrícola*, 6(3), 3-10, ISSN: 2306-1545, ISSN: 2227-8761.
- Instituto de Meteorología-Cuba. (2023). *Boletín Agro meteorológico Nacional*. 27 al 41 (1 al 36), Publisher: Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.
- Martínez, R., & Ortega, E. (1987). Comportamiento de la evapotranspiración real del plátano fruta en los clones "Parecido al Rey" (Musa AAA) y Tetraploide 64-2596 (Musa AAAA). *Ciencias Tec Agric. Riego y Drenaje*, 10(2).

- 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, ISSN: 0022-1694, DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6).
- Pereira, A. R., Nova, N. A. V., Pereira, A. S., & Barbieri, V. (1995). A model for the class A pan coefficient. *Agricultural and Forest Meteorology*, 76(2), 75-82, ISSN: 0168-1923.
- Pradhan, S., Sehgal, V., Das, D., Bandyopadhyay, K., & Singh, R. (2013). Evaluation of pan coefficient methods for estimating FAO-56 reference crop evapotranspiration in a semi-arid environment. *J. Agrometeorol*, 15, 90-93.
- Rahimikhoob, A. (2009). An evaluation of common pan coefficient equations to estimate reference evapotranspiration in a subtropical climate (north of Iran). *Irrigation Science*, 27, 289-296, ISSN: 0342-7188.
- Roque, R. (1995). *Respuesta de la papa (Solanum tuberosum L.) al riego en suelos Ferralíticos Rojos del occidente de Cuba* [Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas)]. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana (ISCAH), Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, La Habana, Cuba.
- Sanchez, A. M., & Ramírez, E. (1988). Evapotranspiración máxima y coeficientes bioclimáticos del maíz sembrados en primavera. *Ciencias Tec Agric. Riego y Drenaje*, 11(1), ISSN: 0138-8738.
- Smith, M. (1992). *CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management* (Paper 26, Número 46). Food & Agriculture Org., Roma, Italia.
- Snyder, R. L. (1992). Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 118(6), 977-980, ISSN: 0733-9437, DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1992\)118:6\(977\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1992)118:6(977)).
- Villazón, G. J. A., Noris, N. P., Vázquez, M. R. J., Martín, G. G., & Cobo, V. Y. (2021). Coeficiente k_p del tanque evaporímetro clase "A" para la estimación de la evapotranspiración de referencia. *Idesia (Arica)*, 39(3), 111-115. ISSN 0718-3429. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292021000300111>.
- Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, 30(1), 79-82, ISSN: 0936-577X, DOI: <https://dx.doi.org/10.3354/2Fcr030079>.
- Willmott, C. J., Robeson, S. M., & Matsuura, K. (2012). A refined index of model performance. *International Journal of Climatology*, 32(13), 2088-2094, DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.2419>.
- Willmott, C. J., Rowe, C. M., & Mintz, Y. (1985). Climatology of the terrestrial seasonal water cycle. *Journal of Climatology*, 5(6), 589-606, ISSN: 0196-1748.

Julián Herrera-Puebla, Dr.C., Investigador Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, (IAgric), Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353, e-mail: julian.herrera@iagric.minag.gob.cu.

Felicita González-Robaina, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353, e-mail: felicita.gonzalez@boyeros.iagric.cu.

Orlando Sarmiento-García, Técnico, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353, e-mail: orlando.sarmiento@boyeros.iagric.cu.

Reinaldo Cun-González, Inv. Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353, e-mail: reinaldo.cun@iagric.minag.gob.cu.

Yoima Chaterlán-Durruthy, Dr.C., Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353, e-mail: yoima.chaterlan@iagric.minag.gob.cu.

Enrique Cisneros-Zayas, Dr.C., Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353, e-mail: enrique.cisneros@iagric.minag.gob.cu.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

AUTHOR CONTRIBUTIONS: **Conceptualization:** Herrera, P. J.; Cun, G. R.; Chaterlán, D. Y.; Cisneros, Z. E. **Data curation:** Herrera, P. J.; Sarmiento, G. O. **Formal analysis:** Herrera, P. J.; González, R. F. **Investigation:** Herrera, P. J.; González, R. F. **Methodology:** Herrera, P. J.; González, R. F.; Cun, G. R.; Chaterlán, D. Y.; Cisneros, Z. E. **Software:** Herrera, P. J.; González, R. F. **Supervision:** Herrera, P. J.; González, R. F. **Validation:** Herrera, P. J. **Writing-original draft:** Herrera, P. J.; F. González. **Writing-review & editing:** Cun, G. R.; Chaterlán, D. Y.; Cisneros, Z. E.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.