

Lluvia y evapotranspiración de referencia en cuatro puntos representativos de la provincia de Villa Clara, Cuba

J. Pacheco (1), Ismabel M. Domínguez (2) y J. O. Lamadrid (2)

(1) Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Villa Clara.

(2) Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara

E-mail: juanps@uclv.edu.cu

RESUMEN. Se realizó un estudio sobre el acumulado anual de la lluvia y la evapotranspiración de referencia diaria en cuatro estaciones meteorológicas de la provincia de Villa Clara a partir de datos climáticos de una serie compuesta por 27 años. La curva teórica generada por la ecuación de Pearson III fue ajustada a los puntos empíricos que representan la lluvia anual y se hallaron las características principales de cada serie cronológica. La lluvia media para las cuatro estaciones meteorológicas osciló entre 1 303 y 1 392 mm. La evapotranspiración de referencia se calculó por la fórmula de Penman-Monteith y la media diaria para el año osciló entre 3,7 y 4,3 mm.día⁻¹ para las cuatro estaciones meteorológicas. Los valores diarios más altos para la evapotranspiración de referencia se presentan en los períodos abril-mayo y julio-agosto.

Palabras clave: Agricultura, evapotranspiración, lluvia.

ABSTRACT. A study about the annual values of rains and the daily reference evapotranspiration was developed using data of 27 years from four meteorological stations in Villa Clara province. The curve generated by the Pearson III equation was adjusted to the empirical annual points of rain in the graphics and the principal characteristics of the chronological series were calculated. The annual mean rain for the four meteorological stations was in between 1 303 and 1 392 mm. The reference evapotranspiration was calculated by the Penman-Monteith method, and the daily mean values for a year were in between 3,7 and 4,3 mm.day⁻¹ for the four meteorological stations. In general, the highest values for the daily reference evapotranspiration appear during April-May and July-august.

Key words: Agriculture, evapotranspiration, rain.

INTRODUCCION

La agricultura necesita cada vez más de métodos precisos para evaluar el consumo de agua de las plantas en condiciones de regadío o de secano y, al mismo tiempo, caracterizar el clima en función de conocer los valores de precipitaciones por cada zona climática. En Cuba, la lluvia es el elemento del balance hídrico de mayor variabilidad cuando se analizan largas series cronológicas, y a partir de los años setentas del siglo xx se sabe que, el fenómeno conocido como cambio climático, ha contribuido a la aparición de años con características extremas para la mayoría de las variables meteorológicas de interés agrícola. En este sentido, se desatacan años marcadamente secos

que hacen dificultoso el cultivo de especies vegetales sin regadío y, a la vez, se incrementa la temperatura media del aire provocando un mayor consumo de agua por las plantas. Corrientemente las diferentes regiones climáticas suelen estudiarse y caracterizarse por el volumen de precipitación anual, lo cual permite conocer el valor de la lluvia media anual y aquella que corresponde a años secos y húmedos, atendiendo a su probabilidad de excedencia.

En nuestro país, cuando se usaba profusamente el conocido método de pronóstico de riego (Rey y De la Hoz, 1979), el consumo de agua de las plantas se estimaba a partir de datos del tanque evaporímetro "Clase A" y los correspondientes coeficientes bioclimáticos determinados para cada cultivo y fase

de desarrollo. Hoy día no se dispone de datos de evaporación del tanque "Clase A" para la mayoría de las regiones agrí-colas del país y, por otra parte, la literatura inter-nacional (Smith, 1992; Allen, . *et al.*, 1998) aconseja utilizar la fórmula de Penman-Monteith como estimativo de la evapotranspiración de referencia de los cultivos para diferentes condiciones climáticas. Esta fórmula ha resultado más precisa entre los diferentes métodos en uso, la mayoría de los cuales aparecen explicados por Doorenbos y Pruitt (1976). Como evapotranspiración de referencia (Eto), según Allen *et al.* (1998) se entiende la tasa de evapotranspiración de una superficie agrícola, bien abastecida de agua y sembrada de un pasto hipotético con características específicas. Una vez conocida, la evapotranspiración de referencia de una determinada región se multiplica su valor por un coeficiente que corresponde a cada cultivo y su fase de desarrollo (Kc), lo que permite conocer el consu-mo de agua de cada especie en particular. En Cuba, se han realizado estudios de la evapotranspiración de referencia en los

cuales se han empleado diferentes métodos. En los trabajos de Menéndez y otros (1999) y Solano et al. (2003) se utilizó la fórmula de Penman-Monteith. El objetivo de este trabajo fue determinar el valor del acumulado de las precipitaciones anuales para diferentes tipos de años climáticos, según sus probabilidades, y de igual forma el valor de la evapotranspiración de referencia diaria para cuatro puntos representativos para la agricultura de la parte llana de la provincia de Villa Clara.

MATERIALES Y METODOS

En el presente trabajo, se usó información de una serie cronológica de 27 años correspondiente al período 1977-2003 de las estaciones meteorológicas pertenecientes al Centro Provincial Meteorológico de Villa Clara y ubicadas en los municipios de Caibarién, Sagua la Grande, Santa Clara (Yabú) y Santo Domingo (INIVIT) y cuyas características de ubicación se describen en la tabla 1.

Tabla 1. Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas

Número	Nombre	Ubicación geográfica		
		Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)
78338	Sagua la Grande	22,82	80,08	22,2
78348	Caibarién	22,52	79,45	5,5
78343	Santa Clara (Yabú)	22,43	79,98	116,4
78326	Santo Domingo (INIVIT)	22,58	80,22	116,1

Se procesó estadísticamente el acumulado anual de lluvia y la evapotranspiración de referencia se calculó por la fórmula de Penman-Monteith como valor diario, lo que permitió después evaluar la media diaria para cada decena y mes. Para el cálculo de la probabilidad de cada año de la serie cronológica de lluvias anuales se usó la fórmula:

$$p = \frac{m - 0.3}{n + 0.4} * 100 \dots\dots\%$$

Donde:

- p = probabilidad de excedencia en %.
- m = número ordinal del miembro de la serie cuando los elementos son ordenados en forma descendente.
- n = número total de miembros de la serie.

Se analizan con más detalle los valores del acumulado anual de lluvia para años mediosecos (75 % de probabilidades) por ser el tipo de año climático que se utiliza para planificar los recursos hídricos en la agricultura.

La curva teórica se ajustó a los puntos empíricos mediante la ecuación de la curva binomial de distribución conocida como de Pearson III y según el procedimiento que explican Pacheco et al. (1995).

La fórmula de Penman-Monteith revisada y actualizada por Allen y *et al.* (1998) y utilizada para el cálculo de la evapotranspiración de referencia en este trabajo es la siguiente:

$$E_{to} = \frac{1}{\lambda} * \left\{ \frac{(\Delta R_n - G) + \gamma \left[\frac{900}{(T_m + 273.16)} \right] * \lambda * (e_b - e_a)}{\Delta + [\gamma * (1 + 0.34 * u_{1.5})]} \right\}$$

Donde:

E_{to} = evapotranspiración de referencia (mm. día⁻¹)

λ = calor latente de vaporización (MJ. kg⁻¹).

Δ = pendiente de la curva que relaciona la presión de vapor con la temperatura del aire (kPa °C⁻¹).

R_n = radiación neta en la superficie del cultivo (MJ.m⁻².día⁻¹).

G = flujo térmico del suelo (MJ.m⁻².día⁻¹).

$u_{1.5}$ = velocidad de viento a 1,5 m de altura sobre la superficie del suelo (m.s⁻¹).

T_m = temperatura media del aire (°C).

$(e_b - e_a)$ = déficit de presión del vapor del aire (kPa).

\tilde{a} = constante psicrométrica (kpa.°C⁻¹).

El proceso mediante el cual se obtienen todos los parámetros anteriores no fue objetivo de este trabajo. Sin embargo, solo serán necesarias la velocidad del viento, la humedad relativa media del aire, las horas diarias de insolación y la temperatura media del aire para obtener E_{to} en mm/día. Para el ajuste de la velocidad del viento que se mide a 10 m de altura en nuestras estaciones meteorológicas, a aquella que tendría lugar a 1.5 m de altura sobre la superficie del terreno, se usó la relación siguiente:

Donde:

$u_{1.5}$ = velocidad del viento a 1,5 m altura sobre la superficie del suelo (m.s⁻¹).

u_{10} = velocidad del viento a 10 m de altura sobre la superficie del suelo (m.s⁻¹).

RESULTADOS Y DISCUSION

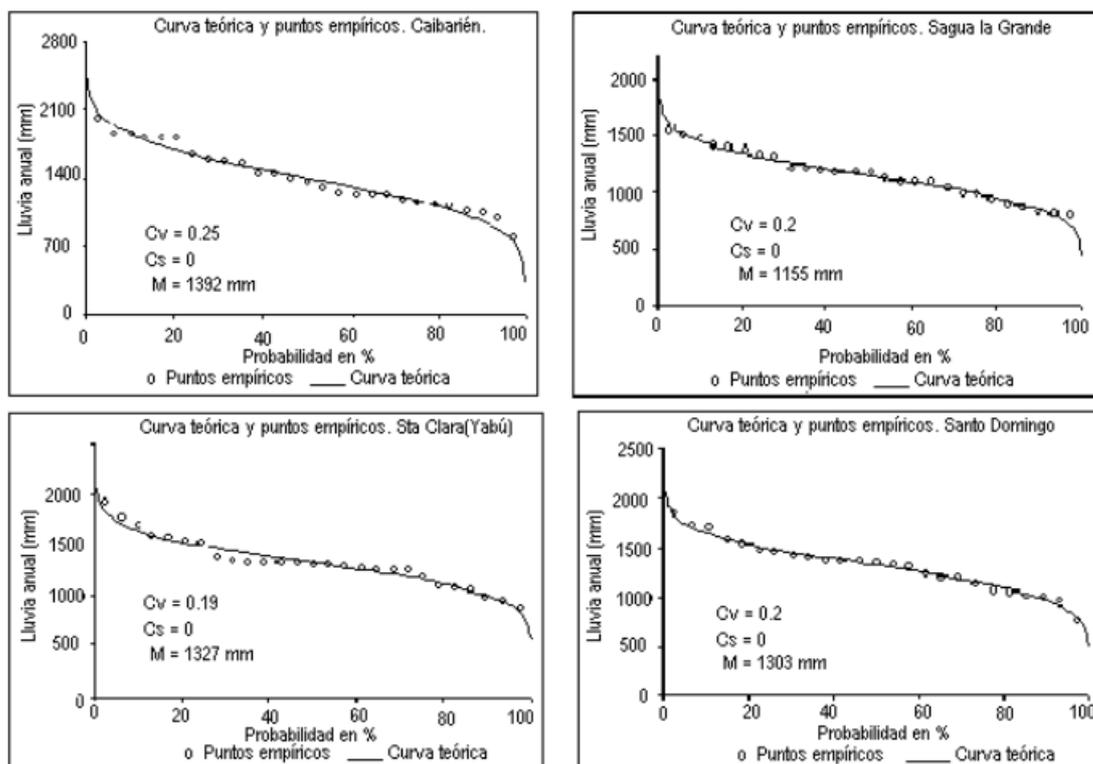
Los cuatro puntos estudiados son representativos de la parte llana de la provincia de Villa Clara donde se desarrollan todos los cultivos económicos con excepción del café. Las características principales de las series de lluvia caída como total anual, se muestran en la figura 1. Allí puede apreciarse que la curva de probabilidades teórica para la ecuación de Pearson III logra buen ajuste a los puntos empíricos en las cuatro estaciones meteorológicas. Luego, los valores de la media (M), el coeficiente de variabilidad (Cv) y el coeficiente de asimetría (Cs) resultan de mucha confianza. La variabilidad de la lluvia anual en las cuatro estaciones fue muy semejante pues Cv oscila entre 0,19 y 0,25. Las series resultaron todas simétricas con el coeficiente de asimetría igual a cero. La lluvia media anual en los cuatro puntos analizados para el período de 27 años, fue muy similar en las estaciones de Santo Domingo, Yabú y Caibarién, la cual osciló entre 1 303 y 1 392 mm. Resultó inferior la lluvia media anual en Sagua la Grande, con 1 155 mm, lo que supone una mayor dificultad para desarrollar cultivos sin regadío.

Los valores de la lluvia anual para años medio secos, según la serie estudiada, aparecen en la tabla 2.

Allí se aprecia que se mantiene también la semejanza en el acumulado anual de las precipitaciones para el 75 % de probabilidad en tres estaciones, resultando inferior el valor para la estación de Sagua la Grande.

Tabla 2. Valores de la lluvia anual en años medio-secos

Estación Meteorológica	Lluvia anual para 75% P (mm)
Sagua la Grande	1 000
Caibarién	1 158
Santa Clara	1 159
Santo Domingo	1 129

**Figura 1.** Curvas de probabilidades para la lluvia anual en cuatro puntos de la provincia de Villa Clara

La evapotranspiración de referencia calculada para 27 años (1977-2003) aparece en la tabla 3. Los valores de la media diaria para todo el año oscilan entre 3,7 y 4,3 mm/día, lo cual origina una diferencia relativamente poco importante entre los cuatro puntos estudiados. Sin embargo, la variación que se produce entre los valores correspondientes al mínimo y al máximo encontrado, resulta sensiblemente más alta en Santo Domingo, motivado por un máximo mayor. Luego, en condiciones de buen abasto de agua en el suelo y adecuado desarrollo foliar los cultivos consumirán en esta región una mayor cantidad de agua. La marcha anual de la evapotranspiración de referencia como media diaria para cada mes se muestra en la figura 2,

en los cuatro sitios estudiados de la provincia de Villa Clara.

Los valores más bajos se registran en diciembre y enero, en correspondencia con la baja demanda evaporante de esos meses, con predominio de temperaturas relativamente más bajas y menor radiación solar directa. Se aprecia claramente un máximo de las curvas en abril-mayo, relacionado con la presencia de muy alta radiación solar directa en esos meses, lo cual indica la necesidad de priorizar el regadío de los cultivos, que en dependencia de sus estados de desarrollo responderán con mayor evapotranspiración a esa alta demanda evaporante de la atmósfera. En el mes de junio,

se produce un mínimo asociado a la alta pluviosidad, nubosidad y humedad relativa de ese mes e inmediatamente después en julio y agosto, meses caracterizados por altas temperaturas y menores valores de precipitación, se

produce otro máximo de la Eto, la cual inicia a partir de agosto un franco descenso en correspondencia con la disminución de los valores de la radiación solar directa y la temperatura media del aire.

Tabla 3. Evapotranspiración de referencia (Eto) en mm/día

Estación	N*	Rango	Mínimo	Máximo	Media aritmética
Yabú	972	4,1	1,62	5,73	3,7
Sagüa La Grande	972	4,4	1,73	6,21	3,9
Caibarién	972	4,3	1,76	6,11	4,0
Santo Domingo	972	5,4	2,20	7,64	4,3

*Número de casos válidos procesados.

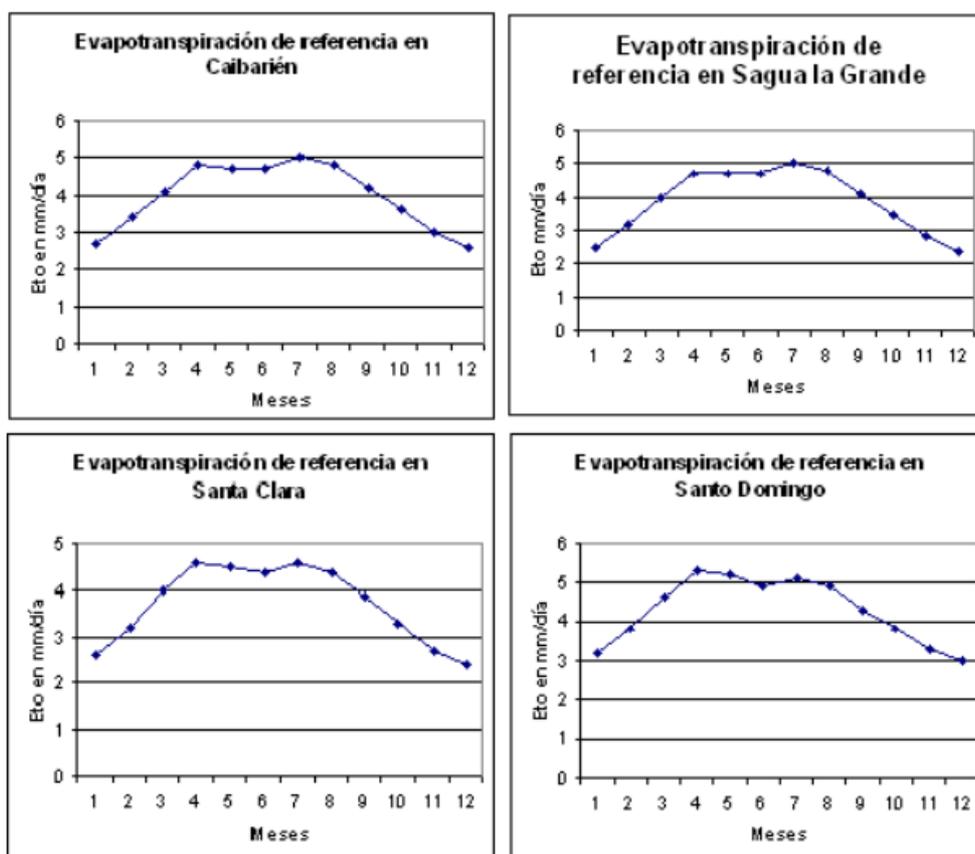


Figura 2. Marcha anual de la evapotranspiración de referencia

Solano y otros (2003), obtuvieron resultados para las llanuras cubanas muy semejantes a los reportados en este trabajo para los valores de Eto por meses.

CONCLUSIONES

1. La lluvia media anual en las estaciones de Santo Domingo, Yabú y Caibarién, oscila

entre 1 303 y 1 392 mm y resulta inferior en Sagua la Grande con 1 155 mm.

Recibido: 07/03/2006

Aceptado: 07/09/2006

2. Los valores de la lluvia anual para años medio-secos varían de 1 000 a 1 159 mm entre los cuatro lugares estudiados.
3. Los valores medios diarios para todo el año de la Eto oscilan entre 3,7 y 4,3 mm/día, localizándose los más altos en la estación de Santo Domingo.
4. Los valores máximos de la Eto para los cuatro sitios estudiados se presentan durante los períodos abril-mayo y julio-agosto, delimitando las mayores necesidades de riego en ausencia de lluvias.

BIBLIOGRAFIA

Allen, R.G.; L. S. Pereira; D. Raes and M. Smith (1998): Crop evapotranspiration. *Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and drainage paper no. 56, Rome, 300 pp. Italy.

Doorenbos, J y W. O. Pruitt (1976): Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje no. 24, 194 pp. Roma, Italia.

Menéndez, J. A; O. J. Solano y R. Vázquez (1999): Estimación de la evapotranspiración de referencia por el método de Penman-Monteith. Memorias de la Convención TROPICO´99 en el Congreso de Meteorología Tropical, 5 pp. Palacio de las Convenciones de la Habana, Cuba, Ref. MT 001.

Pacheco, J; N. Alonso; Pujol, P y E. Camejo. 1995. Riego y Drenaje. Editorial Pueblo y Educación, p 414. Ciudad de la Habana.

Rey, A. R. y L. de La Hoz (1979): *Manual de régimen de riego de los principales cultivos de Cuba*, Editorial Orbe, Ciudad de La Habana, Cuba.

Smith, M. (1992): Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Held in FAO, Rome, Italy 28-31 May, 1990. Land and Water Development Division, FAO.

Solano, O. J.; R. J. Vázquez; J. A. Menéndez y C. J. Menéndez (2003): "Estudio de la evapotranspiración de referencia en Cuba", *Revista Cubana de Meteorología*. 10(1): 33-38.