

ESTUDIO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA EN CUBA

AUTORES: OSCAR J. SOLANO OJEDA
RANSÉS J. VÁZQUEZ MONTENEGRO
JORGE A. MENÉNDEZ GINORIO
CÉSAR J. MENÉNDEZ GARCÍA

Departamento de Agrometeorología. Instituto de Meteorología. E-mail: agromet@met.inf.cu

RESUMEN

El agricultor necesita conocer el consumo de agua de sus cultivos si quiere proyectar su estrategia con una mayor seguridad en cuanto a clima se refiere. Para ello resulta imprescindible conocer las necesidades hídricas de los cultivos para determinadas condiciones ambientales. Con las bases climáticas correspondientes al período 1975-1994 de 64 estaciones meteorológicas del Instituto de Meteorología de la República de Cuba y la fórmula de Penman-Monteith se calcularon los valores medios decadales, mensuales, estacionales y anual del poder evaporante de la atmósfera o evapotranspiración de referencia (Eto). Los valores de ETo obtenidos fueron utilizados para calcular el gradiente de disminución de esta variable agroclimática con la altitud. Con estos resultados se confeccionaron mapas nacionales a escala 1:1 000 000 de la distribución espacial de la ETo y se determinó la tendencia general de sus variaciones temporales y espaciales entre las diferentes regiones del país.

INTRODUCCIÓN

El agua almacenada en el suelo, disponible para los cultivos, se pierde por evapotranspiración, o sea, un proceso combinado por el cual el agua es transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas. La evapotranspiración puede ser determinada a partir de mediciones directas realizadas en lisímetros o mediante el empleo del balance hídrico agrometeorológico del suelo, si son conocidas previamente la precipitación, el coeficiente del cultivo y la evapotranspiración máxima de un cultivo hipotético de referencia, en el mismo período de tiempo. Este último término es denominado evapotranspiración de referencia (ETo).

Monteith (1985) analizó la evolución de este término descrito por diferentes autores (Thornthwaite, 1948; Penman, 1948; Monteith, 1965), y concibió hipotéticamente la posibilidad de tener un cultivo para el cual se determine, por mediciones, su evapotranspiración y las variables climáticas que influyen sobre ella. De esta forma se obtuvieron un conjunto de coeficientes de cultivos, los cuales se usaron para determinar la evapotranspiración de otros cultivos (Allen, et al., 1994).

El concepto de evapotranspiración de referencia es expresado por Allen et al. (1998) como «la tasa de evapotranspiración de un pasto hipotético de referencia, bien abastecido de agua, con altura de 0.12 m, una resistencia de superficie de cultivo fija de 70 s m^{-1} y un albedo de 0.23».

La literatura internacional recoge diferentes métodos para determinar la máxima cantidad de agua evaporada por una superficie de suelo cubierta de vegeta-

ción (evapotranspiración potencial, evapotranspiración de referencia, etc). Algunos autores nacionales han obtenido importantes resultados en el estudio de la evapotranspiración potencial y de referencia en Cuba (Ramírez, 1988; Ramírez et al, 1989; García y Osorio, 1991; Rivero, Lapinel y Rivero, 1995). La mayor parte de estos resultados se sustentaron en análisis mensuales de la información climática. Para los fines agrícolas la escala temporal de un mes no siempre es la más adecuada. Los estudios agrícolas exigen unidades menores en la escala de tiempo.

La literatura científica internacional recoge experiencias acerca de estimaciones de la evapotranspiración en zonas montañosas. Frère et al (1978), obtuvieron que la resultante de la variación del balance de energía con la altitud es un decrecimiento en la evapotranspiración potencial anual, de unos 150 mm por cada 1 000 m de altitud, en la región tropical de la zona Andina.

Uno de los objetivos fundamentales de la Meteorología Agrícola en Cuba, durante los últimos años, ha sido adecuar su trabajo operativo a una agricultura sostenible, de bajos insumos e incluso, en condiciones de sequía. Para ello, resulta necesario incorporar técnicas de punta que permitan manejar una estrategia agrícola con una mayor seguridad en cuanto a clima se refiere. El primero de los principales resultados obtenidos, como base de los siguientes cálculos, fue el del uso potencial del agua por la vegetación y su distribución espacial en las condiciones de Cuba, incluyendo sus zonas montañosas. De esta forma, fue posible conocer las condiciones de vegetación de acuerdo a la disponibilidad de agua, y por lo tanto, la determinación de las fechas de siembra,

períodos de crecimiento, períodos húmedos, prácticas de irrigación, utilización de la maquinaria agrícola, determinación de las fechas de cosecha, etc.

Menéndez, Solano y Vázquez (1999) implementaron el cálculo de la evapotranspiración de referencia por el método de Penman – Monteith en el servicio agrometeorológico operativo cubano y realizaron los ajustes correspondientes a la formulación, tomando en cuenta las condiciones geográficas y climatológicas de Cuba.

METODOLOGIA Y MATERIAL

La evapotranspiración de referencia se calculó, en las condiciones geográficas y climatológicas de Cuba, a partir de la fórmula siguiente:

$$ET_o = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{997}{T + 273} \cdot U_{1.5} \cdot (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.38 \cdot U_{1.5})}$$

donde: ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm d^{-1}).

Δ = Pendiente de la curva de vapor saturado ($\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$).

R_n = Radiación neta ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

G = Flujo de calor sensible desde el suelo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

γ = Constante psicrométrica ($\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$).

T = Temperatura del aire media diaria a 1.5 m de la superficie del suelo ($^\circ\text{C}$).

$U_{1.5}$ = Velocidad del viento a 1.5 m de la superficie del suelo (m s^{-1}).

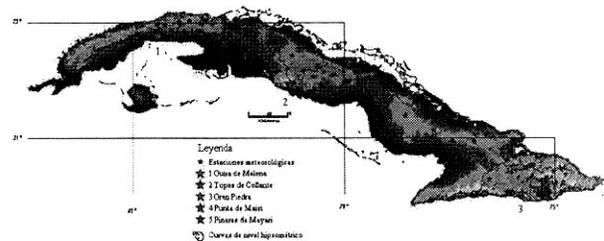
$(e_a - e_d)$ = Déficit de presión de vapor del aire (kPa).

La tasa de la evapotranspiración de referencia para las décadas, meses, estaciones y año es el resultado de la sumatoria de las láminas diarias evapotranspiradas durante los días comprendidos en cada período temporal.

Se emplearon los datos de 64 estaciones meteorológicas (Fig. 1), de las cuales tres están ubicadas en los principales macizos montañosos del país (Topes de Collante, Grupo de Guamuha, provincia Sancti Spiritus; Pinares de Mayarí, Macizo Nipe-Sagua-Baracoa, provincia Holguín y Gran Piedra, Grupo Sierra, Macizo Sierra Maestra, provincia Santiago de Cuba). Teniendo en cuenta el carácter general de este estudio, la escala de tiempo considerada fue la década. La información histórica de las variables climáticas, necesarias para el cálculo de la evapotranspiración de referencia, fueron tomadas de las bases de datos del Centro del Clima del Instituto de Meteorología. Todas las series de datos fueron tratadas con un riguroso control de calidad. Las series meteorológicas fueron homogeneizadas y completadas siguiendo métodos similares a los empleados por Rivero, Lapinel y Rivero (1995). La información se organizó en pe-

ríodos de diez días para las 36 décadas del año, y también por meses, estaciones del año y anual, con vistas a comparar estos resultados con los obtenidos por otros autores. La información meteorológica utilizada en este estudio correspondió al período 1975-1994.

Figura 1. Mapa hipsométrico de Cuba con estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio de la ETo.



Los resultados de Frère et al (1978) obtenidos para determinar el gradiente de la ET_o con la altitud, se hallaron en condiciones muy diferentes a los de Cuba y la altitud de las estaciones empleadas por ellos oscilaron entre los 1500 y 4000 m, por esta causa, en el presente estudio no se utilizó el valor del gradiente con la altitud por ellos obtenido. Sin embargo, sí se utilizó su método y el de González y Gagua (1979) para seleccionar estaciones ubicadas a distintas altitudes y aplicar el método de los mínimos cuadrados a los valores decadales, mensuales, estacionales y anual de la ET_o .

Se emplearon diversas herramientas de los Sistemas de Información Geográficos (SIG) que permitieron múltiples y complejas operaciones con los mapas, al organizar su información a manera de capas. Dos operaciones básicas se practicaron: la interpolación, para la obtención de la distribución de la ET_o a nivel del mar, a partir de los datos puntuales de las 64 estaciones meteorológicas procesadas y la sobreposición (Eastman, 1992) mediante la resta a éste del mapa de gradiente, para finalmente, obtener los mapas con la distribución espacial de la ET_o para cada década, mes, estación y anual.

La escala de trabajo fue 1:1 000 000, lo que permitió generar rejillas de 1 km de lado. Esta escala, solicitada por el financista de la investigación y utilizada previamente por Vázquez, Solano y Menéndez (1999), resulta adecuada para el estudio de la evapotranspiración de referencia aplicada a un nivel de trabajo explorativo.

La información en el SIG se organizó y proceso de la siguiente forma:

- digitalización de la base fija (costa, contornos provinciales y municipales), y su topología;
- georeferenciación de las estaciones;
- digitalización de la hipsometría (Academia de Ciencias de Cuba, 1989);
- generación del modelo digital de elevación (MDE) de la hipsometría, mediante la interpolación;
- generación de los MDE de la ET_o al nivel del mar;

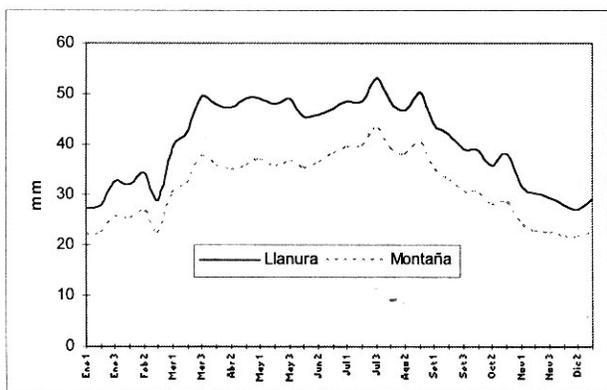
- sobreposición de los MDE de la ETo y de la hipsometría en función del gradiente;
- acabado cartográfico.

Tabla 1. Disminución de la evapotranspiración de referencia, en mm, por cada 100 m de altitud, para períodos decadales, mensuales, estacionales y anual.

RESULTADOS

La fórmula de Penman-Monteith, para el cálculo de la evapotranspiración de referencia, modificada con los valores de resistencias prefijadas y los coeficientes resultantes de los cálculos estandarizados, para las condiciones de Cuba, de los elementos de la fórmula permitieron una mayor precisión de la ETo calculada, comparar los resultados con los obtenidos por otros autores y utilizar coeficientes de cultivo obtenidos en otras condiciones físico-geográficas sin necesidad de invertir grandes sumas de dinero en largas y costosas investigaciones.

Figura 2. Distribución temporal de la evapotranspiración de referencia media decadal.

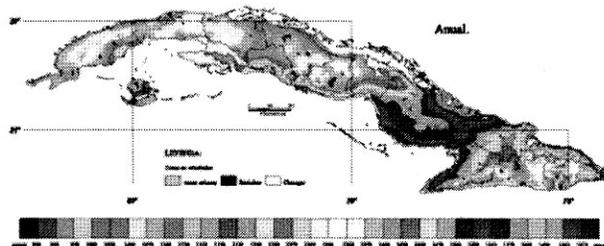


En la Figura 2, se muestra la distribución temporal de la evapotranspiración de referencia media decadal para las llanuras y montañas de Cuba. La diferencia entre las curvas confirma la existencia de la disminución de la ETo con la altitud, obteniéndose un gradiente para la suma anual de la evapotranspiración de referencia de -40 mm por cada 100 m de altitud. Del mismo modo se obtuvo el gradiente para cada una de las décadas, los meses y las estaciones del año, los cuales se muestran en la Tabla 1.

En la Fig. 3 se presenta la distribución espacial de los valores normales de la suma anual de la ETo teniendo en cuenta la hipsometría. Puede apreciarse en ella la variación latitudinal de las magnitudes de la ETo y la existencia de un gradiente de disminución de esta variable con la altitud. Los mayores valores de la ETo se observan en el litoral, donde los vientos alisios refuerzan las brisas locales, es menor la cubierta nubosa y la ocurrencia de precipitaciones.

Década	Grad.	Década	Grad.	Década	Grad.	Mes	Grad.		Grad.
Ene 1	-0.7	May 1	-1.5	Set 1	-1.2	Ene	-2.2	Estación Poco lluviosa	-17.9
Ene 2	-0.7	May 2	-1.4	Set 2	-1.2	Feb	-2.5		
Ene 3	-0.8	May 3	-1.3	Set 3	-1.1	Mar	-3.9		
Feb 1	-0.8	Jun 1	-1.2	Oct 1	-1.2	Abr	-4.5	Estación Lluviosa	-22.1
Feb 2	-0.9	Jun 2	-1.1	Oct 2	-1.1	May	-4.2		
Feb 3	-0.8	Jun 3	-1.1	Oct 3	-1.2	Jun	-3.4		
Mar 1	-1.2	Jul 1	-1.2	Nov 1	-0.9	Jul	-3.7	Anual	-40.0
Mar 2	-1.2	Jul 2	-1.2	Nov 2	-0.9	Ago	-3.8		
Mar 3	-1.5	Jul 3	-1.3	Nov 3	-0.9	Sep	-3.6		
Abr 1	-1.5	Ago 1	-1.3	Dic 1	-0.7	Oct	-3.4		
Abr 2	-1.5	Ago 2	-1.2	Dic 2	-0.6	Nov	-2.7		
Abr 3	-1.5	Ago 3	-1.3	Dic 3	-0.8	Dic	-2.1		

Figura 3. Distribución espacial de la suma de la evapotranspiración de referencia, en mm.



Los valores máximos y mínimos de la ETo en los períodos estacionales lluvioso y poco lluvioso del año ocurren en zonas del litoral y montañosas respectivamente, siendo mayores los valores del período lluvioso. La suma de la ETo en el período poco lluvioso alcanza valores próximos a 75 % del valor medio de la suma de esta variable en el período lluvioso.

La Tabla 2 ofrece los valores de esta variable agroclimática para las escalas temporales mensual, estacional y anual. Los mínimos valores se observan en estaciones de montaña y le continúan los de las estaciones de las llanuras occidental y central. Los valores más elevados son registrados en estaciones ubicadas en zonas próximas al litoral, seguidos de los observados en estaciones ubicadas en los llanos orientales.

Tabla 2. Sumas mensuales, estacionales y anual medias de la evapotranspiración de referencia (mm) en diferentes regiones geográficas.

	Mes												Estación		
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Poco lluviosa	Lluviosa	Anual
Montañosa	70.0	74.4	100.4	107.0	109.3	110.0	122.3	117.3	98.7	86.9	69.0	65.7	486.6	644.5	1131.1
Llanuras occ. y central	80.9	89.8	126.2	140.5	143.5	133.5	145.0	140.8	121.3	107.2	85.5	77.3	600.2	791.3	1391.5
Llanura oriental	94.4	101.5	138.6	147.8	144.7	140.7	154.7	149.9	129.2	117.6	95.5	88.5	666.2	836.6	1502.9
Litoral	102.8	107.8	142.3	151.8	152.5	150.8	166.0	161.9	139.5	126.0	105.7	99.8	710.2	896.7	1607.0
Cuba	87.2	94.5	130.3	142.8	144.2	137.1	149.0	144.7	124.1	111.7	90.7	83.5	628.9	810.8	1439.7

Al realizar un análisis similar a la suma de la evapotranspiración de referencia para cada mes del año, se encontró que los menores valores de esta variable climática ocurren en el período invernal, coincidiendo con el inicio y mitad del período poco lluvioso del año (noviembre - febrero), presentando diciembre los totales más bajos, próximos a 5.8 % de la tasa anual. En este mes la posición del sol alcanza la máxima declinación al sur, lo que determina la ocurrencia de magnitudes más bajas de la radiación solar incidente y por tanto, una disminución de la tasa diaria de la evapotranspiración de referencia. Los menores valores medios diarios de la ETo ocurrieron en el mes de diciembre (1.9 mm día⁻¹) en la estación meteorológica Gran Piedra (1120 m de altitud). El período de ocurrencia de los valores medios más altos de la suma de la evapotranspiración de referencia transcurre desde abril a agosto (parte final del período poco lluvioso - inicio y mediados del período lluvioso), con un mínimo estival en el mes de junio, relacionado con el inicio del período lluvioso, debido principalmente al aumento de la nubosidad y a un descenso en la rapidez de los vientos. En los meses de abril, mayo, julio y agosto se registran totales de evapotranspiración de referencia de 142.8 mm, 144.2 mm, 149.0 mm y 144.7 mm próximos a 9.9 %, 10.0 %, 10.4 % y 10.0 % respectivamente, de la tasa anual. En este período hay una marcada influencia del Anticiclón del Atlántico sobre Cuba. El sol se encuentra próximo al cenit, y son más altas las temperaturas. El mes de julio reportó la mayor tasa de la evapotranspiración de referencia. Los mayores valores medios diarios de la ETo (5.6 mm día⁻¹) se registraron en la estación meteorológica Punta de Maisí (zona próxima al litoral más al este del país), provincia Guantánamo.

En general, al analizar los valores medios decadales de la suma de la evapotranspiración de referencia, desde la primera década de enero hasta la tercera de diciembre, teniendo en cuenta la hipsometría, se encontró que los menores valores de la ETo ocurren en la tercera década de diciembre (2.6 mm día⁻¹ como promedio); los valores medios decadales más bajos (1.8 mm día⁻¹, como promedio) fueron reportados en la estación meteorológica Gran Piedra en la tercera década de diciembre. Para el período estudiado y para todas las estaciones del país, los valores medios mayores de esta variable agroclimática se registraron en las décadas tercera de abril y primera de mayo (4.9 mm día⁻¹); los valores medios decadales más altos (5.7 mm día⁻¹) fueron reportados en la estación meteorológica Punta de Maisí.

Tabla 3. Suma decadal de la evapotranspiración de referencia (mm), de estaciones ubicadas en diferentes regiones físico-geográficas.

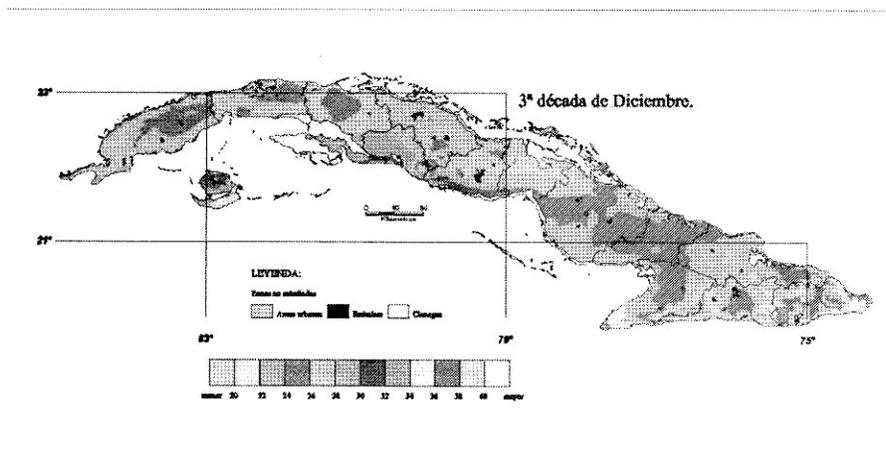
Mes	Década	Estaciones			
		Guira de Melena	Topes de Collante	Jucarito	Punta de Maisí
Enero	1	24.0	22.0	29.0	36.0
	2	24.0	21.0	30.0	36.0
	3	28.6	25.3	35.2	40.7
Febrero	1	28.0	25.0	35.0	40.0
	2	31.0	27.0	36.0	41.0
	3	27.2	23.2	30.4	33.6
Marzo	1	36.0	32.0	42.0	44.0
	2	40.0	34.0	45.0	47.0
	3	46.2	39.6	52.8	53.9
Abril	1	45.0	39.0	51.0	51.0
	2	44.0	38.0	49.0	49.0
	3	48.0	41.0	50.0	49.0
Mayo	1	48.0	40.0	50.0	50.0
	2	47.0	40.0	47.0	46.0
	3	49.5	39.6	49.5	50.6
Junio	1	44.0	38.0	46.0	48.0
	2	43.0	38.0	47.0	49.0
	3	45.0	39.0	49.0	52.0
Julio	1	47.0	41.0	50.0	56.0
	2	45.0	40.0	49.0	57.0
	3	50.6	45.1	53.9	60.5
Agosto	1	47.0	41.0	49.0	56.0
	2	44.0	40.0	48.0	55.0
	3	48.4	41.8	51.7	58.3
Septiembre	1	43.0	37.0	45.0	51.0
	2	40.0	35.0	44.0	50.0
	3	37.0	32.0	41.0	45.0
Octubre	1	36.0	31.0	42.0	45.0
	2	33.0	28.0	39.0	42.0
	3	35.2	29.7	39.6	41.8
Noviembre	1	29.0	23.0	34.0	39.0
	2	27.0	21.0	32.0	38.0
	3	26.0	22.0	32.0	38.0
Diciembre	1	25.0	21.0	30.0	38.0
	2	24.0	21.0	28.0	36.0
	3	25.3	22.0	31.9	38.5

En la Tabla 3 se muestra la suma decadal de la evapotranspiración de referencia de estaciones ubicadas en la llanura occidental, provincia La Habana (Guira de Melena), en la montaña (Topes de Collante), en la llanura oriental, provincia Granma, (Jucarito) y en el litoral (Punta de Maisí).

Las Figuras 4 y 5 muestran la distribución espacial normal de la suma de la evapotranspiración de referen-

cia en dos décadas extremas del año: tercera de diciembre y primera de mayo. Los mapas construidos para diferentes escalas temporales muestran características comunes, en ellos la evapotranspiración de referencia tiende a aumentar desde el interior del país hacia el litoral, de la zona occidental a la zona oriental y de las alturas a los llanos.

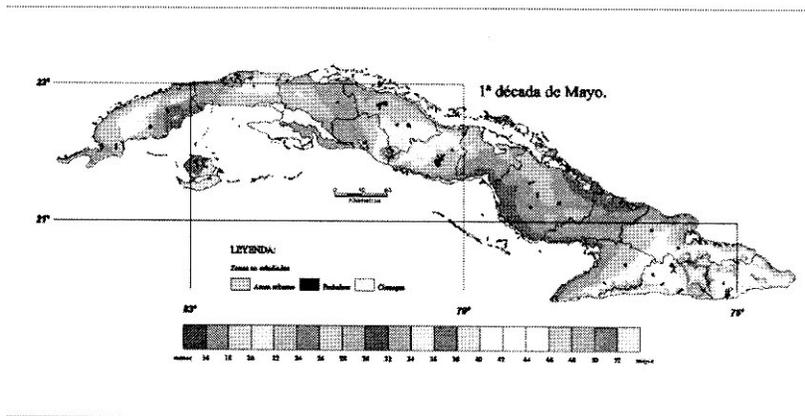
Figura 4. Distribución espacial de la evapotranspiración de referencia mínima (mm) en la década de ocurrencia de los valores mínimos diarios.



Al comparar los resultados anuales alcanzados en este estudio con los obtenidos por otros autores para Cuba pueden observarse algunas diferencias. Ellas son atribuibles a que, las series de datos utilizadas en los trabajos anteriores fueron más cortas. Las mayores diferencias (17 %) se encontraron al comparar estos resultados con los obtenidos por García y Osorio (1991), estos autores calcularon la evapotranspiración potencial por el método de Hargreaves, actualmente no estandarizado. Menores diferencias (15%) se observaron al comparar estos resultados con los obtenidos por Ramírez et al (1989), donde hoy día es internacionalmente conocido que el método de Penman, utilizado por este autor, no considera la resistencia de superficie de cultivo, lo que puede traer como consecuencia en algunos casos, sobreestimación de la ETo, además de que los datos de entrada no fueron homogeneizados. Muy pocas diferencias fueron obtenidas al comparar los resultados aquí presentados con los presentados por Rivero, Lapinel y Rivero (1995). Estos autores calcularon la ETo por el método Penman modificado tal como fue formulado por el proyecto interagencias FAO-UNESCO-OMM (Oldeman y Frère, 1982). La extensión de la serie de datos empleadas en su investigación fue dos veces menor, pero realizaron un riguroso proceso de validación y homogeneización de las series.

Al comparar los resultados presentados en este estudio de la evapotranspiración de referencia con los obtenidos por otros autores, pueden señalarse algunas ventajas respecto a los anteriores: Describen la evapotranspiración de referencia tanto al nivel de la superficie del mar como en la altitud; se ajustan con más precisión en estudios con menores escalas temporales; fueron obtenidos con la formulación más consistente desde el punto de vista físico, con el mayor número de estaciones meteorológicas empleadas, con la serie más larga de datos y con un riguroso sistema de validación, homogeneización y completamiento de series y pueden ser comparados con los mejores trabajos científicos internacionales en esta materia.

Figura 5. Distribución espacial de la evapotranspiración de referencia máxima (mm) en una de las dos décadas de ocurrencia de los valores máximos diarios.



CONCLUSIONES

La evapotranspiración de referencia calculada en este estudio tiene una mayor precisión que la estimada con anterioridad en Cuba por otros autores, puede ser comparada con la obtenida por otros autores en el cálculo de la ETo y puede ser utilizada con coeficientes de cultivo obtenidos en otras condiciones físico-geográficas para calcular la evapotranspiración máxima de estos cultivos sin necesidad de invertir grandes sumas de dinero en largas y costosas investigaciones.

Se obtuvieron por primera vez las distribuciones espaciales decadales de la evapotranspiración de referencia en Cuba.

Se determinaron por primera vez y para las condiciones de Cuba los gradientes de variación de la evapotranspiración de referencia con la altitud para las sumas de cada década, mes, estaciones lluviosa y poco lluviosa y anual.

Los resultados del estudio de la evapotranspiración de referencia indican que ésta tiende a aumentar desde el interior del país hacia el litoral, al descender en latitud y al disminuir la altitud.

Los resultados obtenidos en este trabajo son de una importancia inestimable para conocer la evapotranspiración de los cultivos y otros componentes del balance hídrico agrometeorológico del suelo.

REFERENCIAS

Academia de Ciencias de Cuba (1989): «Nuevo Atlas Nacional de Cuba» Editado por el Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba, el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía y el Instituto Geográfico Nacional de España.

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, y M. Smith. (1998): «Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements». FAO Irrigation and Drainage paper 56. Rome, Italy. 300 p.

Allen, R.G., M. Smith, A. Perrier, y L.S. Pereira. (1994): «An update for the calculation of reference evapotranspiration», International Commission on Irrigation and Drainage (ICID) Bulletin, Vol. 43 No. 2.

Eastman, J.R. (1992): IDRISI: Technical Reference. Clark University-Graduate School of

Geography. Worcester Massachusetts, USA. 222 p.

Frère, M., J.Q. Rijks y J. Rea (1978): Estudio agroclimático de la zona andina. Nota técnica No. 161 de la OMM Ginebra, Suiza, 297 p.

García, R. y M. Osorio (1991): «Balance hídrico climático y disponibilidad de agua para los cultivos». Revista Cubana de Meteorología. Vol. 4 No. 1 pp 52-57

González, E. y G. Gagua (1979): «Nuevo estudio sobre la evaporación en Cuba». Revista Voluntad Hidráulica, No. 51 pp. 23-34.

Monteith, J.L. (1965): Evaporation and Environment. 19th Symposio of the Society for Experimental Biology, University Press, Cambridge, Vol. 19 pp 205-234.

Monteith, J.L. (1985): Evaporation from land surfaces: Progress in analysis and predictions since 1948, Proceedings of the National Conference on Advances in Evapotranspiration, December 16-17, 1985, Chicago, American Society of Agricultural Engineers.

Menéndez, J.A., O. 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. Palacio de Convenciones de La Habana, Cuba. Ref. MT 001, 5 p.

Oldeman, L.N. y M. Frère (1982): A study of the agroclimatology of the humid tropics of south-east Asia. WMO Technical note No. 179, Geneva, 230 p.

Penman, H.L. (1948): Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Royal Society. London, A193 pp 120-146.

Ramírez, E.A., W. Wendland y A.M. Sánchez (1988): «Cálculo de la ecuación de Penman mediante microcomputadora». Ciencia y Técnica en la Agricultura. Riego y Drenaje. Vol. 11 No, 1 pp 35-46.

Ramírez, E.A. (1989): «La distribución de la evapotranspiración de referencia en Cuba». Ciencia y Técnica en la agricultura. Riego y Drenaje. V 12 No. 1 pp 85-92.

Rivero, R.E., B. Lapinel y R.R. Rivero (1995): «Mapas de radiación, evapotranspiración potencial e índices de aridez para Cuba» Informe de resultados científico-técnico, Centro Meteorológico Provincial de Camagüey.

Thornthwaite, C.W. (1948): An approach a national classification of climate. Geograph. Rev., Vol. 38 55p.

Vázquez, R., O. Solano y J.A. Menéndez (1999): «La evapotranspiración de referencia, su análisis y distribución espacial en las condiciones de Cuba». Memorias de la Convención TROPICO '99 en el Congreso de Meteorología Tropical. Palacio de Convenciones de La Habana, Cuba. Ref. MT 009, 5 p.

ABSTRACT

To project an strategy with a great security related with climatic matters, the farmer needs to know the crop water consumption. For that reason is indispensable to know the crop water necessities for certain environmental conditions. With climatic data corresponding to 1975-1994 period of 64 meteorological stations from Cuban Meteorology Institute and Penman-Monteith formula the dozen, monthly seasonal and annual averages values from reference evapotranspiration (Eto) were calculated. Also were calculate the decrease gradient of this agroclimatic variable, keeping in mind the altitude. With these results and using the Geographical Information Systems the mapping at 1:1 000 000 scale of the ETo were made and also the general tendency of their temporary and space variations between different regions of the country was determined.

Palabras clave:

Agroclimatología; evapotranspiración; zonificación