

## RIEGO Y DRENAJE

### ARTÍCULO ORIGINAL

# Consumo de agua y coeficientes de cultivo en el sorgo de grano (*Sorghum vulgare* L. Monech)

## *Water consumption and crop coefficients in grain sorghum (Sorghum vulgare L. Monech)*

Dr.C. Julián Herrera-Puebla, Dr.C. Felicita González-Robaina, Ing. Yunier Díaz-Pérez

Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana, Cuba.

**RESUMEN.** El sorgo para grano es un cultivo que gana popularidad en Cuba, con uso prioritario en la alimentación animal; parte de esta producción se realiza en áreas bajo riego, lo que requiere una adecuada planificación de la demanda de agua anual de las áreas sembradas y por ello del conocimiento de sus requerimientos hídricos y de los coeficientes de cultivo que permitan el cálculo de la misma. Con vistas a dar respuesta a esta necesidad, fueron analizados los resultados de experimentos realizados en parcelas con diferentes dosis de riego en este cultivo, en dos épocas de siembra, en la década de los años 90 en la Estación Experimental del Instituto de Ingeniería Agrícola, escogiendo para ello el tratamiento que se regó siempre al 85% de la capacidad de campo del suelos (50% de la capacidad de almacenamiento de agua). El ciclo del cultivo en la época de invierno duró 120 días y el consumo de agua fue de 490 mm, mientras que en la época de verano, el ciclo fue de 90 días y el consumo de 412 mm; los coeficientes de cultivo tuvieron valores de 0,6; 1,3; 1,1 y 0,6 para la siembra de invierno y 0,4; 0,9; 0,8 y 0,8 para la siembra de verano en los periodos inicial, desarrollo, medio y final del ciclo respectivamente. La comparación de los valores de consumo y coeficientes de cultivo con los encontrados en la literatura mundial no muestran grandes diferencias, por lo que se propone un valor de  $4,5 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$  como valor de cálculo para la demanda pico del cultivo y los coeficientes encontrados para el cálculo de las normas de riego en el cultivo del sorgo bajo riego en Cuba.

**Palabras clave:** demanda hídrica, evapotranspiración, suelos ferralíticos.

**ABSTRACT.** Grain sorghum is a crop with increased popularity between farmers in Cuba, where it is mainly used for animal feed; much of the areas planted with sorghum are irrigated, and in these sense, it is important to know the water requirement and crops coefficient for an adequate year plan of the sorghum's water demand. In order to respond to this demand, it were revise the data of some experiments conducted during the years 1986-1987 in the Agricultural Engineering Institute Research Station, in these experiments, were selected the treatments were irrigation was always applied when soil moisture descends at 85 % of field capacity (50 % of total available water). During the dry season (short days and low temperature), crop cycle was 120 days, and total season water consumption was 490 mm, while in the wet season (longest day and high temperatures), crop cycle was 90 days and total crop's water consumption was 412 mm; crops coefficients ( $K_c$ ) during initial, development middle and maturity crop's development periods were 0.6, 1.3, 1.1 y 0.6 for dry season and 0.4, 0.9, 0.8 y 0.8 for wet season respectively. The comparison of  $K_c$  and total water consumption found in these work with those in the international literature didn't showed great differences; and it was considered a 4.5 mm value of crop peak daily water demand and the  $K_c$  adequate to calculate grain sorghum irrigation water demand in Cuba.

**Keywords:** Water demand, evapotranspiration, ferralitic soils.

## INTRODUCCIÓN

La adecuada planificación del agua para riego esta siempre basada en un adecuado balance del agua, que implica el conocimiento de las necesidades de agua del cultivo y del conocimiento de la disponibilidad del agua en la fuente. Las

necesidades de agua del cultivo están determinadas por la demanda climática y el tipo de cultivo, estos dos parámetros a su vez, están relacionados entre sí a través del denominado coeficiente de cultivo ( $K_c$ ).

El coeficiente de cultivo (Kc) es un valor obtenido al relacionar la evapotranspiración del cultivo (ETc) con la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) que varía en el tiempo debido a los factores que influyen en el desarrollo del cultivo y las prácticas agronómicas. De este modo, la evapotranspiración del cultivo ETc se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia ET<sub>o</sub> y el coeficiente del cultivo Kc (Allen *et al.*, 2006):

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

donde:

ETc- evapotranspiración del cultivo [mm·d<sup>-1</sup>];

Kc- coeficiente del cultivo;

ET<sub>o</sub>- evapotranspiración del cultivo de referencia [mm·d<sup>-1</sup>].

De acuerdo con Allen *et al.* (2006), la mayoría de los efectos de los diferentes factores meteorológicos se encuentran incorporados en la estimación de ET<sub>o</sub>. Por lo tanto, mientras ET<sub>o</sub> representa un indicador de la demanda climática, el valor de Kc varía principalmente en función de las características particulares del cultivo y su estado de desarrollo, afectado solo en una pequeña proporción en función del clima. Esto permite la transferencia de valores estándar del coeficiente del cultivo entre distintas áreas geográficas y climas. Este hecho constituye la razón principal de la aceptación general y utilidad de la metodología del coeficiente del cultivo.

En Cuba, en la década del 80-90 se aplicó, con éxito, el llamado “pronóstico del riego” (Rey *et al.*, 1982; Roque *et al.*, 1989), el cual introducía en la ecuación de balance hídrico simplificada el cálculo de la ETc utilizando los valores de la evaporación (E<sub>o</sub>) en un tanque evaporímetro clase “A” y los coeficientes de cultivos (denominados coeficientes bioclimáticos, Roque *et al.*, 1989) y que habían sido determinados en investigaciones de campo por el Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (Duarte *et al.*, 2015).

En los últimos años, en Cuba diversos trabajos se han dirigido a la actualización del Kc utilizando la metodología descrita por Allen *et al.* (2006) con el fin de estandarizar los mismos a tono con la tendencia mundial. De este modo, Zamora *et al.* (2014), realizaron un detallado estudio de estos coeficientes en 10 diferentes cultivos de importancia para Cuba donde incluyó hortalizas (8 especies, 14

cultivares), la malanga (*Xantosomas sp.*) y el maíz. Por su parte, Cun *et al.* (2015) obtuvieron valores de Kc para la lechuga (*Lactuca sativa L.*, variedad BSS-1) y Herrera *et al.* (2010) y Herrera *et al.* (2015) lo hicieron para el Kng grass y las hierbas de césped utilizadas en campos deportivos respectivamente. Chaterlan *et al.* (2015) calcularon los coeficientes duales de cultivo (Kc= Kcb+ Ke) para la cebolla, el ajo, la zanahoria y el pimiento.

El sorgo para grano es un cultivo que se propaga rápidamente en Cuba, tanto en áreas de secano como bajo riego, puede sembrarse a lo largo del año y su repuesta al riego en condiciones de déficit de humedad en el suelo ha sido demostrada en trabajos experimentales realizados en el país (Gonzales *et al.*, 2011; Herrera *et al.*, 2016). En esta situación, la disponibilidad de coeficientes de cultivos y de los requerimientos de agua determinados experimentalmente, son un parámetro clave para el buen manejo del riego, la obtención de rendimientos óptimos y económicos y el uso eficiente del agua, por ello, este trabajo fue conducido con el objetivo de determinar los requerimientos de agua del cultivo y los coeficientes de cultivo del sorgo para sus diferentes estadios de desarrollo en las condiciones de la región occidental de Cuba.

## MÉTODOS

### Descripción del área experimental

El experimento se realizó en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgriC), localizada en el sur de la provincia de Artemisa (22°47' N, 82° 36' W) con una altura sobre el nivel del mar de 6m. El sorgo fue sembrado durante dos épocas, la primera siembra se desarrolló desde el 21 de junio al 24 de septiembre de 1986 y corresponde a la época de lluvias y mayores temperaturas; la segunda se realizó el 13 de diciembre y se cosechó el 10 de abril de 1987 y estuvo comprendida en la época invernal que se corresponde con el periodo seco del año y con menores temperaturas.

La Tabla 1, elaborada a partir de los datos tomados en la estación meteorológica del sitio experimental, muestra el comportamiento de las variables climáticas durante las decenas de crecimiento del sorgo para las dos épocas de siembra.

TABLA 1. Valores de los elementos del clima durante el periodo de estudio

mes/dekena	temp prom °C			Tmax °C			Tmin °C			HR %			velocidad del viento m seg <sup>-1</sup>			insolación hr luz			evaporación mm día <sup>-1</sup>			lluvias mm/dekena			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
siembra de diciembre /abril																									
diciembre	23,6		23,4	28,5		28,3	18,5		18,3	80,2		87,4	1,2		1,5	8,6		4,2	4		3,2	0			100
enero	20,1	20,3	14,5	25,2	25,4	20,1	14,3	14,5	7,4	81,2	89,3	84,1	1,5	1,2	2,0	6,1	8,1	9,9	3,5	3,3	5	0	6	6	
febrero	20,2	21,9	24,1	25,3	26,9	28,9	14,4	16,5	19,1	81,7	84,9	86,6	1,7	1,8	2,2	6,8	7,2	8,9	4,5	4,8	5,9	20	8	4	
marzo	22,2	20,9	24,7	27,2	26,0	29,5	16,8	15,2	19,9	81,7	80,5	81,4	1,8	1,8	2,4	5,4	6,2	6,8	4,9	5,4	6,5	68	6		
abril	19,3		24,5		13,3		80,4		1,4		8,2		6,8												
siembra de junio/septiembre																									
junio	26		30,7		21,5		80		1,3		6,9		6		62										
julio	26	27	28	30,7	31,6	32,5	21,5	22,7	23,9	79,9	79	79	1,6	2,0	1,2	6,6	9	8,6	6,3	8	6,8	85	95	32	
agosto	26	26	29	30,7	30,7	33,4	21,5	21,5	25,1	79	82	88	1,6	1,2	1,5	8,8	7,4	7,9	6,8	5,8	5,4	75	42	102	
septiembre	21	20	20	26,1	25,2	25,2	15,4	14,1	14,1	81	80	81	1,2	1,6	1,4	7,9	7,9	7,4	6,1	6,2	6,8	19	20	80	

El suelo de la estación es Ferralítico Rojo compactado (Hernández *et al.*, 1996), que puede considerarse de textura media, el contenido de agua a capacidad de campo (Cc), determinado in situ hasta una profundidad de 1 m fue de 361,7 mm·m<sup>-3</sup> y el límite inferior del agua fácilmente aprovechable (límite productivo) 307,4 mm·m<sup>-3</sup>.

Una descripción más completa del suelo del área experimental, así como el diseño experimental y los tratamientos de riego puede ser encontrada en Herrera *et al.* (2016), estos autores emplearon una combinación de dosis de fertilizante nitrogenado (33, 68 y 100 kg·ha<sup>-1</sup> de nitrógeno) y 3 niveles de riego (límite productivo al 85% de la humedad correspondiente a la capacidad de campo, al 75% de la capacidad de campo y con riegos solo en la germinación), y concluyeron que los mejores resultados se obtuvieron con 33 kg N y el riego al 85% de Cc Teniendo en cuenta lo anterior, este fue el tratamiento escogido para la determinación del consumo de agua del cultivo y el cálculo del Kc, contrastado con el tratamiento de 75% Cc e igual nivel de N.

### Procedimiento experimental y mediciones

La humedad del suelo fue determinada en cada tratamiento utilizando el método gravimétrico a diferentes intervalos de muestreo según el tratamiento de riego. Las muestras de suelo fueron tomadas a intervalos de 0,1 m en el perfil del suelo hasta la profundidad de 0,4 m.

### Calculo de la Evapotranspiración de referencia (ET<sub>0</sub>)

La ET<sub>0</sub> fue determinada para cada decena de crecimiento del cultivo en ambas épocas con los valores de los elementos del clima mostrados en la Tabla 1 y utilizando la ecuación de Penman-Monteith (Et<sub>PM</sub>) descrita por Allen *et al.* (2006) como:

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)}$$

donde:

- ET<sub>0</sub> = evapotranspiración de referencia (mm·día<sup>-1</sup>);
- R<sub>n</sub> = radiación neta en la superficie del cultivo (MJ·m<sup>-2</sup>·día<sup>-1</sup>);
- R<sub>a</sub> = radiación extraterrestre (mm·día<sup>-1</sup>);
- G = flujo del calor de suelo (MJ·m<sup>-2</sup>·día<sup>-1</sup>);

- T = temperatura media del aire a 2 m de altura (°C);
- u<sub>2</sub> = velocidad del viento a 2 m de altura (m·s<sup>-1</sup>);
- e<sub>s</sub> = presión de vapor de saturación (kPa);
- e<sub>a</sub> = presión real de vapor (kPa);
- e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub> = déficit de presión de vapor (kPa);
- Δ = pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C<sup>-1</sup>);
- Γ = constante psicométrica (kPa °C<sup>-1</sup>).

Para la solución de la ecuación (1) se preparó una hoja Excel a partir de la Planilla para el cálculo de ET<sub>0</sub> presentada en el recuadro 11, página 67 de la obra de Allen *et al.* (2006).

### Calculo de la Evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>)

La ET<sub>c</sub> fue determinada mediante el balance simple de agua en el suelo hasta la profundidad de 0,4 m, asumiendo que este fue el máximo valor de perfil de suelo alcanzado por las raíces del cultivo regado. La ecuación utilizada fue:

$$ET_c = L_{ap} + R - \Delta H_{suelo} \quad (2)$$

donde:

- ET<sub>c</sub> = Evapotranspiración del cultivo;
- L<sub>ap</sub> = lluvia aprovechable;
- R = Riego;
- ΔH<sub>suelo</sub> = variación de la humedad del suelo para el periodo de cálculo.

La variación de la humedad del suelo fue calculada a partir de los muestreos gravimétricos antes señalados. El nivel freático en los pozos del área se encuentra por debajo de los 16 m por lo que se consideró nula su influencia.

### Coefficiente de cultivo

El coeficiente de cultivo para cada decena de crecimiento fue calculado como:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0}$$

Posteriormente estos coeficientes fueron ajustados acorde con las etapas de desarrollo del cultivo según demanda la sub rutina Crop del programa CropWat 8.0 para el cálculo de las demandas de agua de los cultivos (FAO, 2009).

Las etapas de desarrollo y su duración fueron como se muestra en la Tabla 2:

**TABLA 2. Etapas de desarrollo y duración del ciclo de crecimiento del sorgo en las dos épocas de siembra**

Periodo	Inicial	desarrollo	media	maduración	Días total
Días de duración					Días total
Meses	diciembre	enero	Enero-febrero-marzo	marzo	
Siembra de Invierno	20	27	40	25	120
Meses	junio	junio-julio	julio-agosto	septiembre	Total
Siembra de Verano	15	21	35	24	95

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores diarios decenales de la ETo calculada según el método de Penman Montheith (Allen *et al.*, 2006) para los dos períodos de siembra estudiados de conjunto con la ETc se muestran en la Figura 1.

En el periodo de invierno (Figura 1a), desde diciembre a abril, donde el ciclo del cultivo duro 120 días, la ETo se incrementó casi linealmente desde la primera decena de crecimiento del cultivo hasta la última, lo cual es coincidente con los valores de Eto obtenidos para este mismo sitio en lisímetros por Bernal (1997) y mediante cálculo para el período 1972/1990 por Roque (1995). Por su parte la ETc del sorgo sigue el patrón

normal de consumo que se incrementa desde el periodo inicial (1,5 mm·día<sup>-1</sup>) y obtiene el máximo entre las decenas 6 a la 9 (4 mm·día<sup>-1</sup>) para decaer después en el periodo de maduración (3 mm·día<sup>-1</sup>).

En la siembra de verano, donde transcurre la época más cálida del año y mayores lluvias, el ciclo del cultivo tuvo una menor duración (90 días). En esta época la ETo se mantuvo relativamente estable a lo largo de todo el período de crecimiento y fluctuó entre 5,6 y 4,9 mm, valor diario promedio 35% mayor que en la época de invierno. La ETc del sorgo siguió el mismo patrón que en la época de invierno, pero con valor promedio diario 12% superior al de la época anterior.

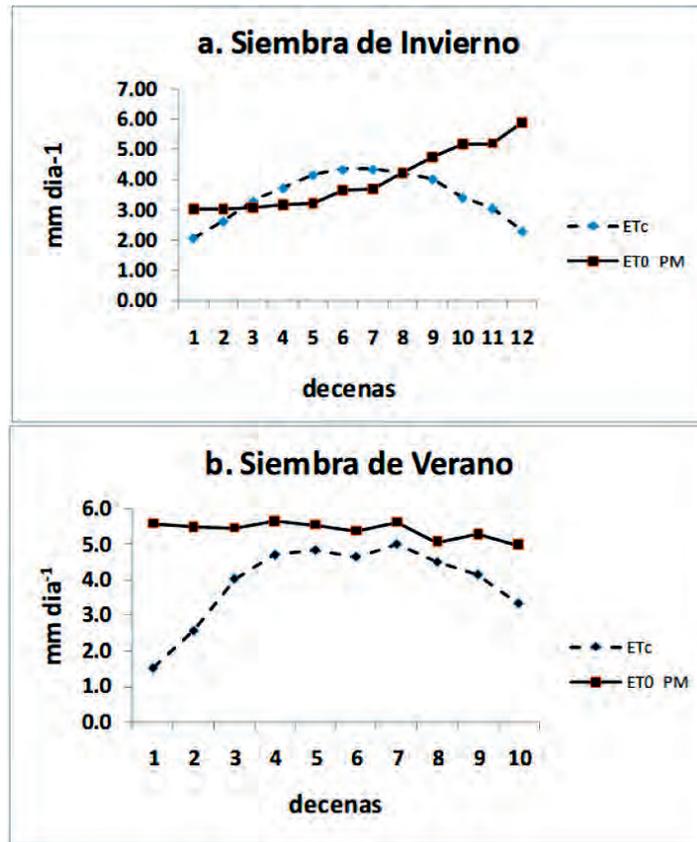


FIGURA 1. Variación diaria por decenas de crecimiento de la ETo y la ETc del sorgo para las siembras de invierno y verano.

La Tabla 3 muestra los valores de consumo diario y los coeficientes de cultivo por periodo de desarrollo y época de crecimiento para el sorgo de grano.

Como puede observarse en la misma, los coeficientes de verano son inferiores a los de invierno, lo cual es consecuencia de que mientras el valor de consumo de agua del cultivo entre ambas épocas de siembra es bastante similar, el valor de la ETo entre ambas épocas, como muestra la Figura 1, es sustancialmente diferente y superior para la época de verano.

TABLA 3. Consumo diario (ETc) y coeficientes de cultivo por periodos de crecimiento para el sorgo

Parámetros	Época	Periodo de crecimiento			
		Inicial	Desarrollo	Medio	Final
Etc del sorgo (mm día <sup>-1</sup> )	invierno	2,3	4,2	3,7	2,9
	verano	2	4,8	4,4	3,7
Kc Sorgo	invierno	0,6	1,3	1,1	0,6
	verano	0,4	0,9	0,8	0,8

En estas mismas condiciones, Herrera *et al.* (2017) encontraron consumos de agua totales para la época de invierno y verano de 490,8 y 412,7 mm respectivamente, lo cual significa una diferencia de solo un 15% de consumo del cultivo entre ambas épocas. Por su parte, Tyagy *et al.* (2000), trabajando en lisímetros en clima semi árido de la India encontraron valores de 3, 6 y 4 mm·día<sup>-1</sup> y un consumo total de 495 mm. En Pakistán, Hameed *et al.* (2014), cuando el sorgo fue irrigado durante todo el ciclo, obtuvo valores de consumo total de 553 mm y de 4,1; 5,8; 4,7 y 3,1 mm·día<sup>-1</sup> para los períodos de crecimiento inicial, desarrollo, medio y final respectivamente.

La Tabla 4 muestra valores de consumo para todo un ciclo de crecimiento y los coeficientes de cultivo en el sorgo

para varias regiones del mundo; los valores de la mediana de los coeficientes de cultivo para los diferentes sitios mostrados en la tabla 4 son de 0,4, 0,8, 1,1 y 0,6 para los períodos de crecimiento inicial, desarrollo, medio y final respectivamente, mientras que los promedios para las dos épocas estudiadas en este trabajo fueron de 0,5; 0,9; 1,1 y 0,7 para periodos de crecimiento similares. La tendencia a lo largo de los periodos de crecimiento son análogos en todos los casos, y el promedio muestra una diferencia mínima de un 8% superior en los coeficientes de este trabajo, lo cual indica la similitud de comportamiento y la vez posibles pequeñas diferencias acorde a variaciones climáticas y también a comportamientos varietales.

**TABLA 4. Consumo total de agua (ETc) y coeficientes de cultivo del sorgo para diferentes sitios del mundo**

Consumo durante el ciclo (mm)	Periodo de crecimiento Kc				País	Autor
	Inicial	Desarrollo	Medio	Final		
450 - 750	0,4	0,7 - 0,75	1,0 - 1,15	0,75 - 0,8	FAO	Allen <i>et al.</i> (2006)
	0,2	1,05	1,05	0,25	Baja California (EE.UU)	Snyder <i>et al.</i> (2007)
	0,35	0,75	1,1	0,65	Chile	CITRA (2017)
495	0,53	0,82	1,24	0,85	Haryana, India Uvalde, Texas (EE.UU)	Tyagy <i>et al.</i> (2000) Piccinni <i>et al.</i> (2009)
491-533	0,2		1,0		Melkassa, Etiopia	Shenkut, <i>et al.</i> (2013)
500,7	0,45	0,83	1,18	0,78	Albacete España	López-Urrea <i>et al.</i> (2016)
721-691	0,64		1,19			
401- 436	0,39	0,39	1	0,61	Pakistán	Hameed <i>et al.</i> (2014)
596	0,62	0,85	1,15	0,48	Sudan	Bashir <i>et al.</i> (2006)
490,8	0,6	1,1	1,3	0,6	Cuba, invierno	este trabajo
412,7	0,4	0,8	0,9	0,8	Cuba, verano	este trabajo

## CONCLUSIONES

- La ETc del sorgo para el periodo seco, cuando el cultivo es regado, en las condiciones estudiadas superó a la del periodo lluvioso en un 15%, asociado a la mayor duración del ciclo del cultivo que fue en el primer periodo señalado 30 días mayor que en el segundo, sin embargo los consumos diarios para el periodo de mayor demanda fueron 12% superiores en el segundo periodo (4,8 vs 4,2 mm·día<sup>-1</sup>), para un promedio de ambas épocas de 4,5 mm·día<sup>-1</sup>.
- Pérez, Herrera y González (2016), en condiciones climáticas similares, pero diferente suelo, utilizando el modelo Cropwat obtuvieron consumos promedios picos diarios de

4,3 mm·día<sup>-1</sup>; lo cual indica que el valor de consumo diario de 4,5 mm puede ser utilizado como consumo pico en el cultivo para cálculo de las demandas de riego del mismo en la región occidental.

- Los coeficientes de cultivo presentados en este trabajo, contribuyen a llenar un vacío en el cálculo de las demandas de riego para este cultivo en desarrollo en el país, aunque los mismos indudablemente son válidos para la región occidental, su uso en el cálculo de las demandas de riego para otras regiones de Cuba, tal y como muestra la tabla 4 no estarían muy alejados de la realidad en tanto no se determinen valores más precisos para otras regiones del país.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN RICHARD G., L.S.PEREIRA; D. RAES Y M. SMITH: *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, Estudio FAO Riego y Drenaje 56, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 2006, ISBN 92-5-304219-2.

- BASHIR M. A., T. HATA, A. W. ABDELHADI, H. TANAKAMARU & A. TADA: *Seasonal ET and kc values for irrigated sorghum in Sudan. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 3, 793–817 [en línea] 2006, Disponible en: [www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/3/793/2006/](http://www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/3/793/2006/) [Consulta: septiembre 22 2017].
- BERNAL, P. L.: Measured and Calculated Evapotranspiration in South Havana, Cuba, Proceedings of the International Conference in Evapotranspiration and Irrigation Scheduling. ASAE/ Irrigation Assoc. / ICID, pp. 924-927, 1996.
- CANET, P. R.; L. R. RIVERO Y M. RIVERO: *Guía Técnica para el cultivo del sorgo (Sorghum bicolor L. Moench)*, 35pp., Publicaciones Proyecto BASAL La Habana, 2016, ISBN: 978-959-7248-03-3.
- CITRA: CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA EN RIEGO Y AGROCLIMATOLOGÍA: *Coefficientes de cultivo Kc, Boletín informativo [en línea]*, Disponible en: <http://www.sepor.cl> [Consulta: septiembre 22 2017].
- CHATERLÁN, Y., C. DUARTE, R. ROSA, T. LÓPEZ Y L. PEREIRA. Estimation the water needs of some vegetables using the methodology of dual cultural coefficients. *Revista Ingeniería agrícola*, 5(1): 21-26 (enero-febrero-marzo), 2015, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: **2227-8761**.
- CUN, G. R., C. DUARTE Y L. MONTERO: “Evapotranspiración y coeficiente de cultivo de la lechuga (BSS-13) en condiciones de Organopónico”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(2): 10-15 (abril-mayo-junio), 2015, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: **2227-8761**.
- DUARTE, D. C., J. HERRERA; T. LÓPEZ, F. GONZÁLEZ Y E. ZAMORA: “Nuevas normas netas de riego para los cultivos agrícolas en Cuba” *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(4): 46-51 (octubre-noviembre-diciembre), 2015, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: **2227-8761**.
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION): *CROPWAT Software*, Food and Agriculture Organization, Land and Water Division; [en línea] 2009, Disponible en: [http://www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html) [Consulta: septiembre 22 2017]
- GONZÁLEZ, F., J. HERRERA, T. LÓPEZ, G. CID: “Respuesta del sorgo al riego en dos épocas de siembra. Función agua rendimiento” *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(1): 40-46, 2011, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- HAMEED, F., G. DARAZ, SH. FAHAD, W.ULLAH & Z. UL ABIDEEN: “Comparative Study of Crop Water Requirement of Traditional and Hybrid Sorghum Varieties”, *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, Vol.4, No.6, 2014, ISSN 2224-3208 (Paper) ISSN 2225-093X (Online).
- HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ, J.; BOSCH, D.; RIVERO, L.; CAMACHO, E.: *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba.*, ed. L.L Barcaz, Ed. AGRINFOR, t. 1, La Habana, Cuba, 1999, ISBN-959-246-022-1.
- HERRERA, P. J., F. GONZÁLEZ Y E. ZAMORA: “Coeficientes de cultivo (Kc) del King grass para diferentes épocas del año y edad de la planta” *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(1): 44-49, 2010, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- HERRERA, P. J., F. GONZÁLEZ Y T. LÓPEZ: “Coeficientes de cultivo (Kc) para la determinación de la necesidad de agua en campos deportivos”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(2): 3-9 (abril-mayo-junio), 2015, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: **2227-8761**.
- HERRERA, J., M. OSORIO, F. GONZÁLEZ Y Y. DÍAZ: “Respuesta del sorgo (Sorghum vulgare L. Moench) al riego y la fertilización nitrogenada en dos épocas de siembra” *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(3): 3-10 (julio-agosto-septiembre), 2016, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: **2227-8761**.
- LÓPEZ, U. R., L. MARTÍNEZ, F. DE LA CRUZ, A. MONTORO, J. GONZÁLEZ, M. ODI, & J. M. SÁNCHEZ: “Evapotranspiration and crop coefficients of irrigated biomass sorghum for energy production”, *Irrigation Science*, 34(4): 287–296, 2016, ISSN: 0342-7188, doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00271-016-0503-y>
- PÉREZ, O. S., J. IGLESIAS, H. WENCOMO, F. REYES, G. OQUENDO e I. MILIÁN: “Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (Sorghum bicolor L. Moench)” *Pastos y Forrajes*, 33(1): 2010, ISSN: 0864-0394.
- PICCINNI, G., J. KOB, T. MAREKC & T. HOWELL: “Determination of growth-stage-specific crop coefficients (K<sub>c</sub>) of maize and sorghum” *Agricultural Water Management*, Vol. 96, N° 12, 1698-1704, 2009, ISSN: 0378-3774.
- REY, A. R., J. HERRERA, R. ROQUE Y C. LAMELAS: “El pronóstico de riego en Cuba” *Ciencia y Técnica en la Agricultura, Riego y Drenaje*, 5(1) enero, 1982, ISSN: 0138-8487.
- ROQUE, R. J. HERRERA Y J. ORTEGA: “Algunos resultados de la aplicación del pronóstico de riego por el método bioclimático en el país”, *Ciencia y Técnica en la Agricultura, Riego y Drenaje*, 12(2), 1989, ISSN: 0138-8487.
- SHENKUT, A., T. KINDIE, A. FENTAW & T. HORDOFA: “Determination of Water Requirement and Crop Coefficient for Sorghum (Sorghum bicolor L.) At Melkassa, Ethiopia” *East African Journal of Sciences*, 7(1): 41-50, 2013, ISSN 1992-0407.
- SNYDER, R.L., M. ORANG, S. MATYAC, & S. ECHING: *Crop Coefficients. Basic Irrigation Scheduling (BIS)* Spanish version [en línea] 2006, Disponible en: [http://biomet.ucdavis.edu/irrigation\\_scheduling/bis/BIS.htm](http://biomet.ucdavis.edu/irrigation_scheduling/bis/BIS.htm) [Consulta: octubre 20 2017].
- TYAGI, N.K.; D. K SHARMA & S.K. LUTHRA: “Evapotranspiration and crops coefficients of wheath and sorghum” *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 126: 4, July 2000, ISSN (online) 0733-9437, ISSN (print): 1943-4774, DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733)
- ZAMORA, E., C. DUARTE, R. CUN, R. PÉREZ, M. LEÓN: “Coeficientes de cultivos (Kc) en Cuba” *Revista Ingeniería Agrícola*, 4(3):16-22 (julio-agosto-septiembre), 2014, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: **2227-8761**.

Recibido: 17/11/2017.

Aprobado: 04/05/2018.

Julián Herrera-Puebla, Investigador Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba. Correo electrónico: [direccioninvest1@iagric.cu](mailto:direccioninvest1@iagric.cu)

Felicita González, Correo electrónico: [dptoambiente4@iagric.cu](mailto:dptoambiente4@iagric.cu)

Yunier Díaz-Pérez, Correo electrónico: [dptoambiente7@iagric.cu](mailto:dptoambiente7@iagric.cu)

Nota: 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.