

RIEGO Y DRENAJE

ARTÍCULO ORIGINAL

DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.18374.68162>

Estimación de los requerimientos de agua del sorgo (*Sorghum vulgare* L. Monech) en la región Los Palacios en Cuba

Estimation of Sorghum (Sorghum vulgare L. Monech) water's requirements in Los Palacios region in Cuba

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

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

RESUMEN. La producción de sorgo en Cuba ha tenido una tendencia ascendente en la última década, en virtud de su potencial de rendimiento, amplia adaptación, tolerancia a la sequía y gran demanda como materia prima en la industria de alimentación animal. El municipio los Palacios perteneciente a la Provincia Pinar del Río se caracteriza por ser un alto productor de granos básicos de importancia como el arroz, frijol y maíz y más recientemente el sorgo. El desconocimiento de la demanda de agua del sorgo para esta región expresada comúnmente como (norma neta total), es uno de los principales problemas en la obtención de mejores rendimientos e incremento en la eficiencia y productividad del agua utilizada en el riego. En atención a lo anterior y a partir de resultados de investigaciones realizadas en Cuba se desarrolló la presente investigación donde se estimó los requerimientos de agua de dicho cultivo para 3 épocas de siembra. Para la obtención de estos resultados se utilizaron los datos climáticos de la estación climatológica de San Diego y los parámetros de suelo correspondiente a un suelo Ferralítico cuarcítico amarillento lixiviado típico del área. El proceso de cálculo se llevó a cabo utilizando el programa de modelación Cropwat 8.0. Entre los principales resultados se obtuvo que la Evapotranspiración del cultivo (ETc) varió entre 221,2 mm (menor valor) para la época de seca noviembre-febrero en el año húmedo y 419,5 mm (mayor valor) en el periodo de siembra de abril-julio en el año seco. La mayor demanda de riego obtuvo un valor máximo de 326 mm y la cantidad de riego a aplicar más elevada fue de 12, ambas correspondiente al 80% de probabilidad para la época de siembra abril-julio.

Palabras clave: demanda de agua, precipitaciones, CropWat.

ABSTRACT. Grain sorghum production in Cuba has been an increased tendency in the last ten years, to this has contributed the crop's high yield potentiality, high adaptation capacity, water stress tolerance and an increase in the demand for animal feedstuff. The municipality of Los Palacios, localized in the Pinar del Río province (west of Cuba) is an area characterized for its high grain production, mainly rice, dry beans, maize and in the last years sorghum. Grain sorghum in this area is cultivated mainly under irrigation; the lack of information about sorghum's water requirements in the region is one of the most important problem in order to obtain the best yield from irrigated areas and higher values of water productivity as well as a better performance of the irrigations systems. Taking into account these demands, it was developed the present work where it was estimated the sorghum's water requirements using FAO CropWat 8.0 program for three different planting time and three rainfall probabilities, in a Ferrasol (Ferralítico cuarcítico amarillento lixiviado, accordingly Cuban's soil classification) typical of the area. Crop evapotranspiration (ETc) varied between 221,2 mm (less value) during November-February planting date and 20% rainfall probability; during June-September planting date ETc was 419,5 mm (highest value) at 80% rainfall probabilities; the highest irrigation demand was 326 mm when the crop demand 12 irrigation during April-July planting date with and 80% rainfall probability.

Keywords: Water demand, rainfall probability, CropWat.

INTRODUCCIÓN

El cultivo sorgo (*Sorghum bicolor* L.Monech), es un producto básico para la elaboración de alimentos concentrados

para el ganado vacuno, porcino y avícola, obteniéndose un incremento en peso y rendimientos en carne con respecto a

otros cultivos. También ha sido un alimento básico importante en las zonas tropicales, áridas y semiáridas de muchos países; siendo una de las principales fuentes de energía, proteínas, vitaminas y minerales para millones de habitantes pobres del mundo (FAO, 1995).

No obstante lo anterior, Canet *et al.* (2010) señalaron que la producción de este cultivo en Cuba en el año 2009 fue de 15 180 t con un área sembrada de 10 120 ha y un rendimiento medio de 1,5 t ha⁻¹, mientras que en el año 2014, solo en el municipio de Consolación del Sur y como resultado de las acciones del Proyecto “Granos” se habían sembrado 480 ha con un rendimiento promedio de 1,94 t ha⁻¹, en esta zona se considera como un excelente cultivo en rotación con el tabaco, condición en la que obtienen hasta 2 t ha⁻¹ sin la aplicación de fertilizantes y con solo riegos de germinación¹.

Lo expuesto anteriormente indica una tendencia al incremento de este cultivo en Cuba, sobre todo por su capacidad de sustitución de importaciones de granos para alimento animal ya que se adapta bien a condiciones variadas de suelo, por lo que puede incluirse en la rotación con otros cultivos como arroz, y tabaco (Herrera *et al.*, 2016).

El sorgo es una planta considerada de días cortos que se desarrolla bien en suelos de textura ligera a mediana, permeables y con buen drenaje, pudiendo tolerar encharcamientos durante poco tiempo, la temperatura es un factor importante en la elección de variedades considerándose 25°C como óptimo, (Doorembos y Pruitt, 1977).

Por otra parte, necesita menos cantidad de agua que otros granos para formar un kilogramo de materia seca debido a mecanismos de escape o de tolerancia a la sequía (especialmente en la etapa de diferenciación floral) sin perjudicar el rendimiento (Castro, 2000).

Es capaz de sufrir escasez de agua durante un período de tiempo bastante largo y reemprender su crecimiento más adelante cuando cesa esta (Pérez *et al.*, 2010). Se plantea que el período crítico de necesidad de agua comprende desde el momento que aparece la panícula en las hojas del vértice de las plantas, hasta el final del estado leñoso del grano.

Considerado el sorgo uno de los cultivos más eficientes en el uso del agua, para determinar su demanda el cultivo depende de varios factores, todos ellos muy estrechamente relacionados y casi todos con similar importancia relativa.

Según Herrera y González (2015) los factores a tener en cuenta para la determinación de la demanda de agua de un cultivo son: el tipo de cultivo y variedad; la agrotecnia que al mismo se aplique (densidad de siembra, arropes, nivel de fertilización, entre otros); el suelo; el clima (lluvia, temperatura, insolación, viento y otros) con sus variaciones tanto a corto como mediano plazo; la técnica de riego empleada y la calidad de la explotación del sistema de riego.

La variación de estos factores en el tiempo está muy ligado con los efectos de los posibles cambios climáticos, lo que obliga a una revisión periódica de las normas de consumo de los cultivos, ya que podrían producirse alteraciones y ocasionar

cambios en la cantidad de agua demandada.

Autores como Giorgis *et al.* (2006) y Sheng-Feng *et al.* (2006), mediante el modelo Cropwat, estimaron las demandas de agua de granos básicos como sorgo, maíz y arroz, determinando que el agua aplicada a los cultivos es menor que la requerida y que más de un 28% de las precipitaciones se pierden por percolación profunda. También mediante Cropwat, Doria y Madramootoo (2009), estimaron las necesidades de riego en el sur de Quebec para 20, 50 y 80% de probabilidad de excedencia, e indican que para un año seco (80%) la lámina de riego aumenta entre 40 y 100% para papa (*Solanum tuberosum* L.), soja y maíz respecto de un año normal (50%); y para un año húmedo (20%) disminuye entre 0.5 y 16%.

Cavero *et al.* (2000) mediante simulaciones con Cropwat obtuvieron la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) y la evapotranspiración real del cultivo (ET_c) para evaluar el comportamiento de maíz de grano sometido a estrés hídrico.

A pesar que se han realizado diversas investigaciones en nuestro país sobre sorgo no se han encontrado resultados de demanda de agua de este cultivo en la provincia Pinar del Río en especial la región Los Palacios considerada alta productora de granos básicos de importancia como: arroz, maíz, frijoles y actualmente introducidos en potenciar la producción de sorgo.

El objetivo del presente trabajo fue estimar mediante la herramienta de modelación Cropwat 8.0 los requerimientos de agua del sorgo en la región Los Palacios, con escenarios de precipitación normal (50%), húmeda (20%) y seca (80%).

MÉTODOS

El trabajo se realizó para condiciones de suelo y clima en la región de “Los Palacios” perteneciente a la provincia Pinar del Río con el fin de estimar los requerimientos de agua del cultivo sorgo a través del modelo CropWat 8.0 (Smith, 1992). Los cálculos en este modelo están basados en la información relacionada sobre: tipo de suelo, comportamiento de variables climáticas como: (temperatura máxima y mínima; humedad relativa; velocidad del viento e insolación), tipo de cultivo con su respectivo coeficiente (K_c) por etapas de desarrollo y comportamiento de las precipitaciones.

Las variables climáticas a introducir en el programa fueron extraídas de la estación meteorológica de San Diego, municipio Los Palacios, ubicada en 22.00°N, 83.00°E a 15 nmm, en el periodo de los años de 1970 a 2000, los valores promedios de estas variables climáticas para la serie en estudio se muestran en la Tabla 1. La serie de datos adquiridos de más de 30 años, se tabularon y procesaron en un libro Excel para la realización de un estudio de probabilidad de excedencia y obtener los estadígrafos más usados en estos casos como son la media y coeficiente de determinación. Dentro del modelo se variará el escenario de época de siembra del sorgo definido de (abril-julio), (junio-septiembre) y (noviembre-febrero), con el objetivo de determinar la demanda de agua en la época húmeda, media y seca del año.

¹ GVC-ACTAF: Proyecto Apoyo a la producción de frijol, maíz, sorgo girasol y plantas oleaginosas en la región occidental de Cuba, 20pp., Informe final, Ed. GVC-ACTAF, La Habana, 2015.

TABLA 1. Valores promedios de las variables climáticas de los años 1970 a 2000 estación meteorológica de San Diego

Serie (años) 1970-2000	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (km día ⁻¹)	Insolación (horas)	Precipitaciones (mm)
Promedio	30,11	20,51	80,66	7,8	7,58	1 358,85

Cálculo de ETo

La evapotranspiración es un proceso simultáneo a través del cual un área de cultivo pierde agua por evaporación del suelo y transpiración del follaje, para facilitar el estudio de este parámetro, se introdujo el concepto de evapotranspiración de referencia (ET₀). Según Allen *et al.* (2006) los únicos factores que afectan ETo son los parámetros climáticos, por lo que ETo es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos

Meteorológicos y expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo. Según estos autores, el método FAO Penman-Monteith se recomienda como el único método de determinación de ETo con parámetros climáticos. Este método ha sido seleccionado debido a que aproxima de una manera cercana la ETo de cualquier localidad evaluada, tiene bases físicas sólidas e incorpora explícitamente parámetros fisiológicos y aerodinámicos. En este

sentido, el programa CropWat, desarrollado por FAO para el cálculo de las demandas de agua de los cultivos, determina la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) utilizando el método FAO Penman-Monteith a partir de datos meteorológicos como: temperatura máxima y mínima del aire; humedad del aire; velocidad del viento y estima la radiación en base a la posición geográfica y la insolación.

Datos de suelo

La información edafológica requerida por el modelo CropWat para planificar el riego fue tomada según la clasificación descrita por Cid *et al.* (2012), en la región los Palacios. Estos autores plantean que el suelo predominante es del tipo Ferralítico Cuarcítico Amarillento Lixiviado, en la Tabla 2 se muestran algunas de sus propiedades físicas e hidrofísicas y a continuación se exponen los parámetros necesarios por el modelo para la corrida.

TABLA 2. Principales propiedades físicas e hidrofísicas del suelo predominante en la región Los Palacios

Prof. cm	Densidad Aparente da g cm ⁻³	Capacidad campo cm ³ cm ³	Granulometría			Infiltración Básica m día ⁻¹	Límite Productivo. cm ³ cm ⁻³	Humedad saturación cm ³ cm ⁻³	Conductividad hidráulica Ksat (cm h ⁻¹)
			Arena %	Arcilla %	Limo %				
20	1,42	0,207	87,2	6,2	6,6	2,6	0,166	0,393	1,6
40	1,58	0,219	86,7	6,3	7,0		0,175	0,344	
60	1,55	0,279	76,6	13,9	7,5	4,7	0,225	0,341	2,9
100	1,50	0,339	56,1	35,7	8,2	0,2	0,271	0,405	0,1

- Agua Disponible Total (ADT) 110 mm m⁻¹
- Tasa máxima de infiltración 26 mm día⁻¹
- Profundidad radicular máxima 30 cm
- Agotamiento Inicial de la humedad del suelo 50%

Coefficientes de cultivo

En este trabajo se determinaron y fijaron los coeficientes de cultivo (Kc) por etapas de desarrollo donde se utilizó el valor 0,75 expuesto por Herrera *et al.* (2010), como factor de corrección para modificar los resultados de los coeficientes bioclimáticos (Kb) obtenidos por Herrera *et al.* (2016) y acercar

el valor del mismo a la relación planteada por Allen *et al.* (2006) para el coeficiente de cultivo:

$$ETc = Kc \cdot ETo \tag{1}$$

donde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo (L);

Kc = Coeficiente del cultivo;

ETo = Evapotranspiración de referencia (L);

Quedando entonces:

Kc = Kb/0,75, que fue la relación utilizada.

En la Tabla 3 se encuentran los valores generales de (Kc).

TABLA 3. Coeficientes de cultivo a emplear según la época de siembra

Grano	Época de siembra y ciclo de cultivo (días)	Coeficiente de cultivo		
		Kc inic.	Kc med.	Kc fin.
Sorgo (primavera)	abril-julio (120)	0,5	1,15	0,6
Sorgo (verano)	junio-septiembre (120)			
Sorgo (invierno)	noviembre-febrero (120)			

Escenarios climáticos

Las simulaciones se realizaron mediante tres condiciones diferentes de épocas de siembra en el año y para cada condición se manejó la lluvia a 20, 50 y 80 % de probabilidad de excedencia, para conocer el comportamiento del cultivo ante los impactos del cambio climático (Dastane, 1977; Molua y Lambi, 2006; Doria y Madramootoo, 2009). Así, el primer nivel de probabilidad (20%) denota un escenario húmedo, el segundo (50%) normal y el tercero (80%) seco (Doorenbos y Pruitt, 1977; Smith, 1992). La metodología para el procesamiento de los datos de lluvia, indispensable en la programación del suministro de agua y el manejo de la misma, fue tomada de FAO (2016). El procedimiento se muestra a continuación:

1. Tabular los totales anuales para el período considerado.
2. Ordenar los datos según su valor descendente.
3. Dar un valor al dato según su posición en la tabla de acuerdo con la siguiente fórmula:
- 4.

$$Fa = 100 * \frac{m}{(N + 1)} \tag{2}$$

donde:

N-número de años registrados;

m-número de orden;

Fa-posición de ploteo.

5. Graficar los valores en una escala log normal y se obtiene la ecuación de regresión logarítmica.
6. Calcular los valores anuales para los años de 20, 50 y 80% de probabilidad.
7. Determinar los valores mensuales para los años seco, normal y húmedo de acuerdo con la siguiente relación:

$$P_{i(seco,normal,húmedo)} = P_{im} * \frac{P_{(seco,normal,húmedo)}}{P_m} \tag{3}$$

donde:

P_{im}-Precipitación promedio mensual del mes que se calcula;

P_i (seco, normal, húmedo)-Precipitación mensual calculada para los años seco, normal y húmedo respectivamente;

P (seco, normal, húmedo)- Precipitación anual para el 20, 50 y 80% de probabilidad;

P_m-Precipitación promedio anual.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evapotranspiración de referencia (ETo)

La ETo anual, calculada por como media de 30 años de observación (periodo en años) alcanzó un valor de 1295,3 mm año⁻¹. La Figura 1 muestra la fluctuación por meses de la ETo donde se nota un aumento rápido desde el mes de enero con un valor de 70,6 mm a julio en el que alcanzó su máximo con 138 mm para después volver a descender gradualmente. Los menores valores estacionales ocurren en el período invernal, que coincide con la etapa menos lluviosa del año con un valor promedio de 90 mm, mientras que para la estación de verano que coincide con la época de lluvia el valor máximo promedio es de 130 mm. Esta diferencia estacional, se debe, según Solano *et al.* (2003), a que en el período llamado invernal para Cuba, 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.

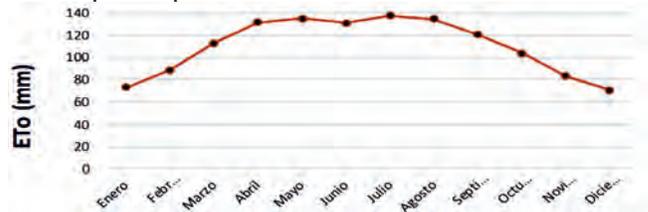


FIGURA 1. Distribución por meses de la ETo.

La Figura 2 muestra la variación de la ETo anual con respecto a la media de los 30 años estudiados. Como puede observarse esta variación oscila entre +115 mm (año 1972) y - 55 mm (años 1986 y 1998) aproximadamente, el 51,6 % de los años estuvieron por debajo del promedio de la serie y el 87,5 % de estos valores se produjeron a partir del año 1985. Estos máximos y mínimos valores de diferencia muy cercanos a la media indican una baja variabilidad de la ETo anual, la cual alcanza un coeficiente de variación de solo el 3,03 %. Este bajo valor del coeficiente de variación de la ETo anual demuestra la poca variabilidad de este elemento entre años y la posibilidad entonces de utilizar el valor medio para el cálculo de la demanda de agua del cultivo en condiciones de diferentes regímenes de lluvia para una misma región.

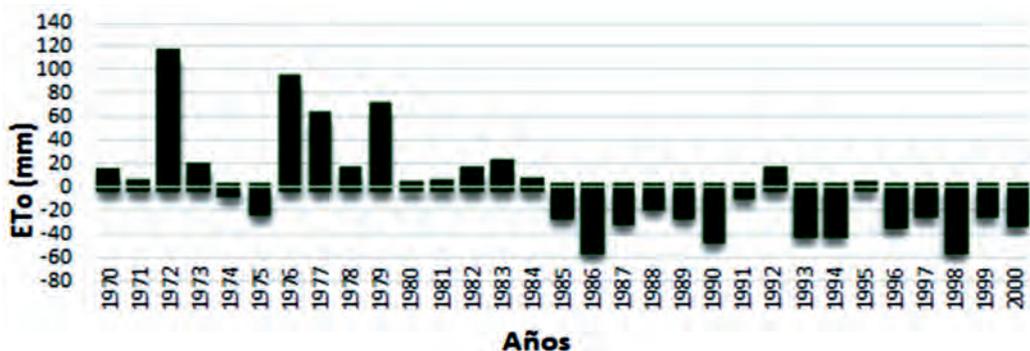


FIGURA 2. Comportamiento por años de la ETo respecto a la media.

Precipitación

La lluvia promedio total anual para los años 1970 al 2000 fue de 1358,85 mm. El período lluvioso (mayo-octubre) representa el 73,6 % anual con un promedio de 1001 mm, mientras que en el período poco lluvioso caen como promedio 357,8 mm para el 26,4 % anual. Los meses de más y menos lluvia fueron septiembre y diciembre con 230 y 26,03 mm respectivamente.

En la Figura 3 se observa la probabilidad de excedencia de la lluvia anual y su ecuación de regresión logarítmica correspondiente. Este modelo logarítmico explica el 96% de la variabilidad de este parámetro. El valor de R² obtenido indica la posibilidad de aplicar la ecuación de ajuste para calcular los valores anuales para los años de 20, 50 y 80% de probabilidad como se muestra en la Tabla 4.

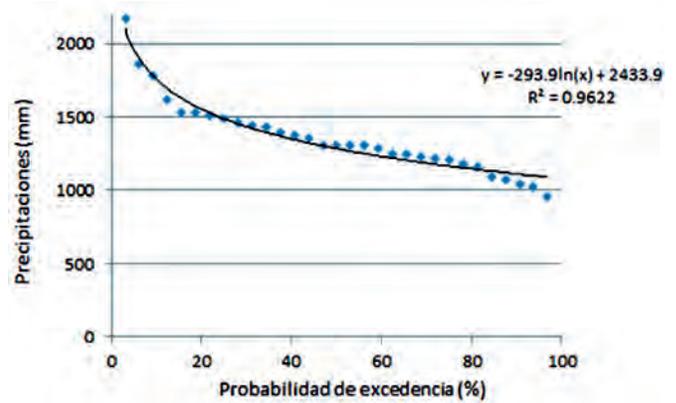


FIGURA 3. Probabilidad de excedencia de la lluvia anual.

TABLA 4. Valores de precipitaciones caídas para los años de probabilidades del 20, 50 y 80%

Probabilidad (%)	Año	Valor de la lluvia según ecuación (mm)	Valor de la lluvia según año coincidente con la probabilidad	Año dentro del período (1970-2000)
20	Húmedo	1553	1509	1982
50	Medio	1284	1303	1989
80	Seco	1146	1156	1990

La distribución mensual de la lluvia para los años de 20, 50 y 80% de probabilidad sin ajustar se muestra en la Figura 4; para el año P= al 20% (año 1982) la lluvia en el mes de junio alcanza valores superiores en casi 3 veces la media para ese mes en el período estudiado (1970-2000, \bar{X} = 199,1), mientras que en el mes de enero-abril los valores coinciden con el año de P=80% (1990) y son menores que los del año P=50% (1989). Otro gran contraste se presenta en los meses de julio-diciembre, donde los valores de lluvia mensual no siguen un patrón único y acorde con la probabilidad del año al que pertenecen. Esta gran variación mensual de la lluvia con independencia del valor total anual, que es quien fija la probabilidad de excedencia de dicho año, justifica, que una vez escogida la probabilidad, no se fije como patrón la distribución mensual del año natural de mayor coincidencia, sino que sea necesario una homogenización de los valores mensuales.

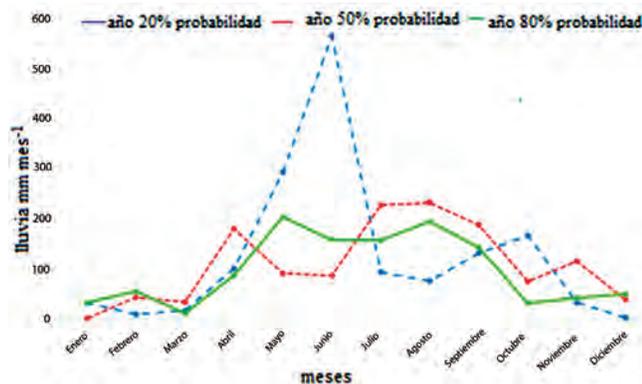


FIGURA 4. Valores mensuales de precipitación para los años 20, 50 y 80 % de probabilidad sin ajustes mensuales.

Los valores mensuales de precipitación ajustados según procedimiento antes descrito (FAO, 2016) para los años 20, 50 y 80% de probabilidad se muestran en la Figura 5. En la misma se observa el comportamiento de las precipitaciones por mes y se define con claridad la época seca y húmeda en el año. En los meses de julio y octubre disminuyen los valores de precipitaciones en un 25 y 30% respectivamente, en relación a la media del período lluvioso 162,4 mm.

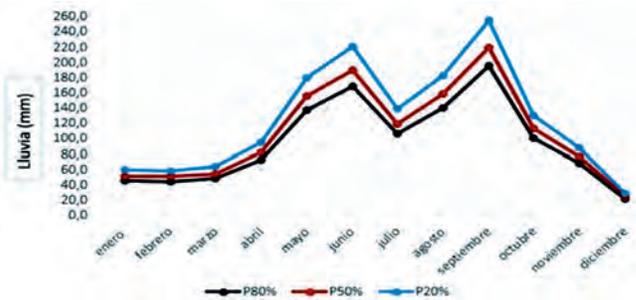


FIGURA 5. Valores mensuales de precipitación para los años 20, 50 y 80 % de probabilidad.

El balance de humedad en la región, realizado en base a la relación entre la precipitación mensual ajustada para los años de 80; 50 y 20% de probabilidad y la ETo promedio de 30 años se muestra en la Figura 6. Para el año seco se puede observar que en los meses desde octubre a abril y posteriormente julio el balance es negativo. En el año medio el balance es negativo desde el mes de noviembre a abril e incluye también el mes de julio. Para el año húmedo el balance es positivo en los meses desde mayo a noviembre. En los meses donde el balance es negativo, indica la necesidad

de riego para satisfacer los requerimientos de agua para el cultivo, mientras que en los meses donde el balance es positivo sugiere una clara necesidad de drenaje.

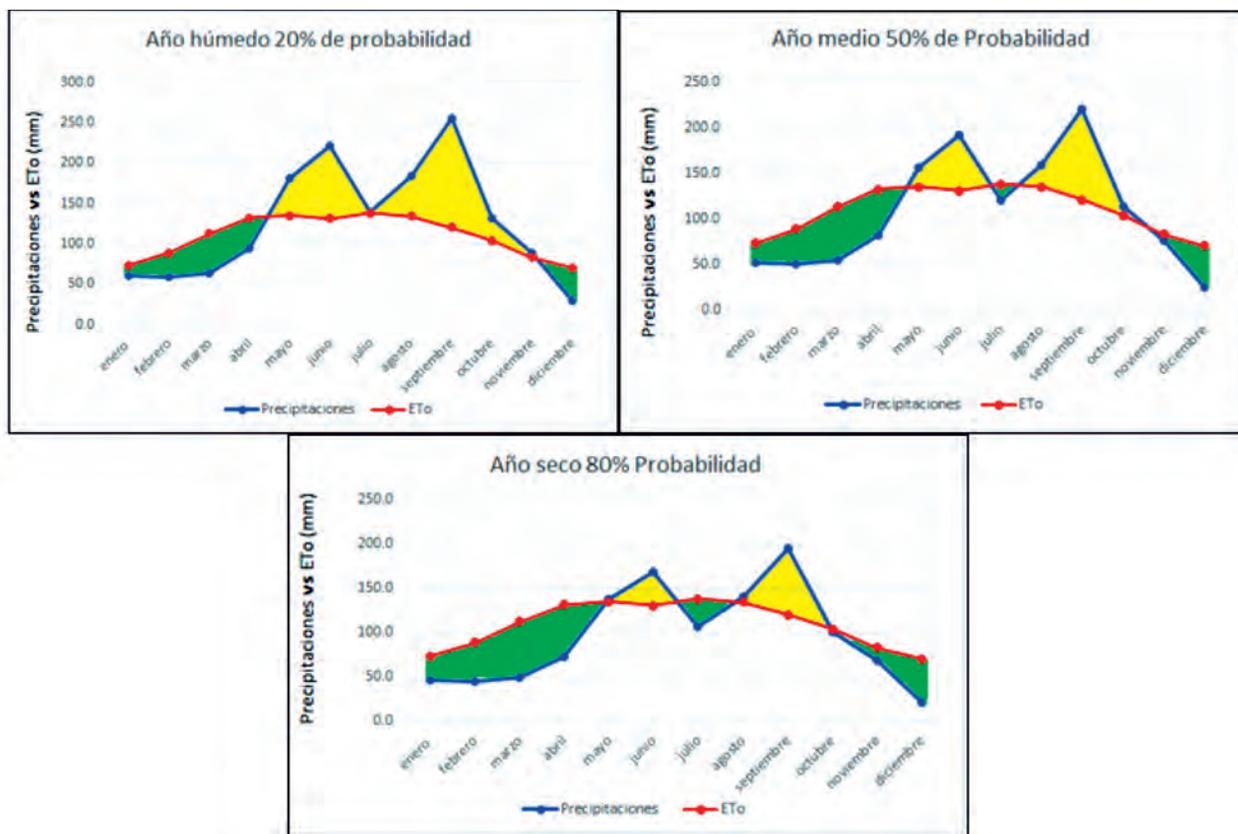


FIGURA 6. Balance de humedad para los años del 20, 50 y 80% de probabilidad.

Evapotranspiración del cultivo (ETc)

Los valores totales de la ETc por época de siembra para las diferentes probabilidades estudiadas se muestran en la Tabla 5, en la misma puede observarse que la ETc varía entre 221,2 mm (menor valor) para la época de seca en el año húmedo y 419,5 mm (mayor valor) en el periodo de siembra de abril –julio en el año seco. Para cualquiera de las probabilidades estudiadas, la época de junio-septiembre obtuvo valores intermedios.

TABLA 5. Evapotranspiración del cultivo (ETc) por épocas de siembra y para cada una de las probabilidades

Probabilidad	ETc total por épocas de siembra (mm)		
	Abril-julio	Junio-septiembre	Noviembre-febrero
20% año húmedo	385,8	396,3	221,2
50% año medio	418,6	401,4	253,2
80% año seco	419,5	413,6	255

Necesidades de agua del cultivo sorgo

En la Tabla 6 se observan los valores de norma neta total, norma neta parcial, intervalo entre riegos y número de riegos por épocas de siembra, según la probabilidad de lluvia.

TABLA 6. Demanda de riego del cultivo del sorgo

Época de siembra (120 días)	Probabilidad (%)	Norma neta total (mm)	Norma neta parcial (mm)	Intervalo entre riegos (días)	No. de riegos
Abril-julio	20	253,8	177,6	11	9
	50	326,2	228,3	9	12

Época de siembra (120 días)	Probabilidad (%)	Norma neta total (mm)	Norma neta parcial (mm)	Intervalo entre riegos (días)	No. de riegos
	80	327	229	9	12
Junio-septiembre	20	291,1	203,8	8	11
	50	285,9	200,1	8	11
	80	297,6	208,3	8	11
	20	186,7	130,7	30	2
Noviembre-febrero	50	297,6	208,3	8	11
	80	186,7	130,7	16	7

Los mayores valores de demanda de riego y número de riegos se obtuvieron en la época de siembra abril-julio para el 80 y 50% de probabilidad.

De forma general, los valores difieren muy poco para cada una de las probabilidades según las épocas de siembra, exceptuando la etapa noviembre-febrero donde las diferencias entre la demanda de riego y el número de riegos son significativas.

El sorgo es un cultivo en que los estudios sobre demanda hídrica y ETc en Cuba han recibido poca atención. En un trabajo de campo, (González *et al.*, 2010) en suelo Ferralítico Rojo del sur de La Habana para la época de invierno y verano obtuvieron resultados sobre demanda y número de riegos para este cultivo (Tabla 7).

TABLA 7. Demanda y número de riegos del cultivo del sorgo

Sorgo	Demanda de riego (m ³ ha ⁻¹)	Número de riegos
	(González <i>et al.</i> , 2010)	
Invierno	2 107	11
Verano	1 868	7

Al comparar los resultados obtenidos en esta investigación con los obtenidos por González *et al.* (2010) para la demanda de riego, se aprecia que en la época de invierno para el año medio los valores obtenidos son aproximadamente iguales y son mayores en un 11% en la época de verano para el 80% de probabilidad, debido a diferentes condiciones edafoclimáticas.

CONCLUSIONES

- Los resultados de este trabajo demuestran que la existencia de poca variabilidad de la ETo entre años posibilita utilizar el valor medio para el cálculo de la demanda de agua del cultivo en condiciones de diferentes regímenes de lluvia para una misma región. Sin embargo, el gran contraste que presentan los valores de lluvia mensuales y el no seguir un patrón único acorde con la probabilidad del año al que pertenecen, indica la necesidad de un ajuste en los mismos tal y como se presenta en este trabajo. Esta gran variación mensual de la lluvia con independencia del valor total anual, que es quien fija la probabilidad de excedencia de dicho año, justifica, que una vez escogida la probabilidad, no se fije como patrón la distribución mensual del año natural de mayor coincidencia, sino que sea necesario una homogenización de los valores mensuales.
- Los valores de ETc obtenidos varían de 221,2 mm época de siembra noviembre-febrero probabilidad del 20% a 419,5 mm en el periodo de siembra de abril –julio probabilidad del 80%.
- Los valores de requerimientos de agua obtenidos pudieran suponer que la demanda de riego para la probabilidad del 80% (seco) en las épocas de siembra (abril-julio), (junio-septiembre) y (noviembre-febrero) podría suplirse con 327; 297,6 y 186,7 mm respectivamente.
- Los resultados obtenidos demuestran las potencialidades del Programa Cropwat 8.0 en el cálculo de las demandas de riego del cultivo; no obstante, una comprobación con resultados de campo en las características de suelos y clima de la zona en estudio, para el cultivo del sorgo, permitiría un mejor ajuste de los datos.

REFERENCIAS BIBIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M.: *Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, 299pp., edit. Estudio FAO Riego y Drenaje 56, Ed. FAO, ISBN-92-5-304219-2, Roma, 2006.
- CASTRO, N. J.: “Producción de biomasa en línea de sorgo con respuesta al estrés hídrico”, *Revista Fitotecnia Mexicana*, ISSN 0187-7380, 23: 321, 2000.
- CAVERO, J.; FARRE, I.; DEBAEKE, P.; FACI, J.: “Simulation of maize yield under water stress with the EPIC phase and Cropwat Models”, *Agronomy Journal*, ISSN 0002-1962, 92:679-690, 2000.
- CID, G., LÓPEZ, T.; GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; RUIZ, M. E.: “Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba”, *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN-2306-1545, RNPS-0622, 2(2): 25-31, julio-diciembre, 2012.
- DASTANE, N., G.: *Precipitación Efectiva en la Agricultura de Regadío*, 68 pp., Estudio FAO Riego y Drenaje 25, Ed. FAO, Roma, 1977.
- DOORENBOS, J., PRUITT, W.: *Las Necesidades de Agua de los Cultivos*, 194pp., Estudio FAO Riego y Drenaje 24, Ed. FAO, Roma, 1977.
- DORIA, R. O., MADRAMOOTOO, C. A.: *Estimation of irrigation requirements for some crops in southern Quebec using Cropwat. Irrigation and Drainage. Published online in Wiley InterScience: www.interscience.wiley.com; DOI: http://dx.doi.org/10.1002/ird.497*, 2009.
- FAO: *El sorgo y el mijo en la nutrición humana*, 4pp., (Colección FAO: Alimentación y nutrición N°27) 1995.
- FAO: Disponible en: www.fao.org/nr/water/docs/CROPWAT8.0Example.pdf, 2016.
- GIORGIS, K.; TADEGE, A.; TIBEBE, D.: *Estimating crop water use and simulating yield reduction for maize sorghum in Adama Miesso districts using the CROPWAT model*, 14 pp., CEEPA discussion paper no. 31, CEEPA, University of Pretoria. 2006.

- GONZÁLEZ, R. F.; HERRERA, P. J.; LÓPEZ, S. T.; CID, L. G.: "Productividad del agua en maíz, soya y sorgo en suelo Ferralítico Rojo del sur de La Habana", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, RNPS-0111, 19(1): 65-72, 2010.
- HERRERA, P. J.; GONZÁLEZ, R. F.: "Estudio de las necesidades de agua de los cultivos, una demanda permanente, un nuevo enfoque", *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN-2306-1545, RNPS-0622, 5(1): 52-57, 2015.
- HERRERA, P. J.; GONZÁLEZ, R. F.; OSORIO, M.; DÍAZ, P. Y.: "Respuesta del sorgo (*Sorghum vulgare* L. Monech) al riego y la fertilización nitrogenada en dos épocas de siembra", *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN-2306-1545, RNPS-0622, 6(3):3-8, 2016.
- HERRERA, P. J., GONZÁLEZ, R. F., "Coeficientes de cultivo (Kc) del King grass para diferentes épocas del año y edad de la planta", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, RNPS-0111, 19(1): 44-49, 2010.
- MOLUA, E., LAMBI, C.: *Assessing the impact of climate on crop water use and crop water productivity: The CROPWAT analysis of three districts in Cameroon*, 44 pp., CEEPA discussion paper no. 33, CEEPA, University of Pretoria. 2006.
- PÉREZ, A.; SAUCEDO, O.; IGLESIA, J; WENCOMO, H.; REYES, F.; OQUENDO, G.; MILIÁN, I.: "Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench)", *Pastos y Forrajes*, ISSN-0864-0394, 33(1), 2010.
- SHENG-FENG, K.; SHEN-SHIN, H.; CHEN-WUING, L.: "Estimation irrigation water requirements with derived crop coefficients for upland and paddy crops in ChiaNan Irrigation Association, Taiwan", *Agricultural Water Management*, ISSN: 0378-3774, 82: 433-451, 2006.
- SMITH, M.: *Cropwat. A Computer Program for Irrigation Planning and Management*, 122 pp., FAO. Irrigation and Drainage Paper 46. Ed. FAO, ISBN 9251031061, Roma, 1992.

Recibido: 23/07/2015.

Aprobado: 21/09/2016.

Yunier Díaz Pérez, Adiestrado, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgic), Avenida Camilo Cienfuegos y Calle 27, Apartado 6090, Municipio Arroyo Naranjo, La Habana. Cuba, Correo electrónico: dptoambiente7@iagric.cu

Julián Herrera Puebla, Correo electrónico: direccioninvest1@iagric.cu

Felicita González Robaina, Correo electrónico: dptoambiente4@iagric.cu



El proyecto de colaboración internacional "*Bases Ambientales para la Sostenibilidad Alimentaria Local*", **BASAL**, comenzó su ejecución oficial el 2 de abril del 2013, es coordinado por la Agencia de Medio Ambiente del CITMA y cuenta con la participación de varias instituciones de este ministerio así como tiene como socio clave en su implementación a instituciones y entidades del MINAG y los gobiernos locales. Dispone de un financiamiento cercano a los 13 millones de CUC, provenientes de la Unión Europea y de la Agencia Suiza de Cooperación – COSUDE. Es implementado por el Programa de Naciones Unidas para el desarrollo (PNUD) y tendrá una duración de 5 años (2013-2017).

BASAL tiene como objetivo apoyar la adaptación al cambio climático en el sector agrícola, a escala local, en los municipios de Los Palacios, Gúira de Melena y Jimaguayú y a escala nacional, a través de la Dirección de Ciencia e Innovación Tecnológica del Minag y con la participación de las Direcciones de Cultivos Varios y Ganadería y el Grupo Agroindustrial de Granos de este Ministerio.