

RIEGO Y DRENAJE

ARTÍCULO ORIGINAL

Respuesta del sorgo (*Sorghum vulgare* L. Monech) al riego y la fertilización nitrogenada en dos épocas de siembra

Grain sorghum (Sorghum vulgare L. Monech) response to irrigation time and nitrogen fertilizer during two plantation dates

Dr.C. Julián Herrera Puebla, Ing. Maria de los A. Osorio, Dr.C. Felicita González Robaina, Ing. Yunier Díaz Pérez
Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. En el presente trabajo se estudió la respuesta del sorgo a las combinaciones de 3 momentos de riego (85%, 75% de capacidad de campo y solo riegos de germinación) y tres niveles de fertilización nitrogenada (33, 68 y 100 kg N ha⁻¹) en un suelo Ferralítico rojo compactado. En la siembra de junio-septiembre el rendimiento con la aplicación del riego al 85 % de Cc fue superior al resto de los tratamientos de riego en solo un 9%, mientras que el incremento del nivel de N de 33 a 100 kg N no influyó en el incremento de rendimiento; en la siembra diciembre/abril, el mayor rendimiento lo obtuvo la combinación de riego al 75% de Cc con la menor dosis de N, el riego al 85% de Cc en esta época fue superior en un 5 y 25% con relación al 75% de Cc y sin riego respectivamente. El nivel de 33 kg de N obtuvo el mejor rendimiento y superó en un 9 y 6% a los niveles de 68 y 100 kg N, respectivamente. El máximo valor de ETc (490,8 mm) se obtuvo en la época de siembra junio-septiembre al regar al 85% de Cc y fertilizar con 33 kg N, este mismo tratamiento obtuvo también el máximo valor de consumo de agua del cultivo (412,7 mm) en la época de siembra diciembre-abril. Para ambas épocas el consumo de agua aumentó linealmente en el sentido del incremento de las cantidades de agua aplicadas.

Palabras clave: producción de granos, humedad del suelo, consumo de agua.

ABSTRACT. In this work, it was study during two plantation dates the response of grain sorghum to the combination of three irrigation time (irrigation at 85%, 75% of soil field capacity and only irrigation during germination time) and three levels of nitrogen fertilizer (33, 68 y 100 kg N ha⁻¹) in a ferrasol. During June-September plantation's time, the grain yield, when sorghum was irrigated at 85% field capacity, was only 9% high than the other treatments; while the increase in N level from 33 to 100 kg N did not increase the yield. During the plantation time December-April, the best yield was obtained with the combination of irrigation at 75% field capacity and with the low nitrogen level, irrigation at 85% percent during this period yielded 5 and 25 % more grain compared with 75% field capacity and irrigation only during germination. The best yield was obtained with the application of 33 Kg N ha⁻¹ and it was superior in 9 and 6% as compared with 68 and 100 kg N respectively. In both planting times, the highest ETc was obtained when it was irrigated a 85% field capacity and 33 Kg N fertilization with values of 490,8 and 412,7 mm for June-September and December-April planting's time. In both planting date, water consumption increase linearly with the quantity of irrigation water applied.

Keywords: grain production, soil water, water consumption.

INTRODUCCIÓN

El sorgo de grano (*Sorghum bicolor* L.Monech), de acuerdo a algunos autores (Perez *et al.*, 2010), se cultiva en Cuba

desde hace más de 100 año, sin embargo, mientras que para el maíz, el Anuario Estadístico de Cuba del año 2014¹ informa

¹ ONE. OFICINA NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMACIÓN. Anuario Estadístico de Cuba 2014. La Habana. República de Cuba, 2015.

de 185 922 ha sembradas de maíz en el año 2014, no informa de áreas sembradas de sorgo de grano. No obstante lo anterior, la producción de este cultivo en el año 2009 fue de 15 180 t con un área sembrada de 10 120 ha y un rendimiento medio² 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 ton ha⁻¹ sin la aplicación de fertilizantes y con solo riegos de germinación³.

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. Su grado de adaptación a condiciones desfavorables de suelo ha sido estudiado en condiciones de suelos salinos, en la provincia de Holguín, Cuba⁴, en condiciones de secano, obtuvieron rendimientos de 1.9 ton ha⁻¹ en suelos con conductividades eléctricas de 2,2 dS m⁻¹ (solución 1:5) que significó una reducción de rendimiento de 0,45 % vs el área testigo con suelos de 0,9 dS m⁻¹. Pérez *et al.* (2010), en una revisión bibliográfica sobre la potencialidad del desarrollo del sorgo en Cuba indican que este cultivo ofrece perspectivas favorables en el país relación con otros granos debido a que tiene menos requerimientos agrotécnicos, en general, y presenta una mayor plasticidad respecto a la época de siembra y el tipo de suelo.

De acuerdo con Stichler *et al.* (2014), se tiene el falso criterio de que el sorgo es un cultivo rustico y por tanto demanda poca atención, lo que se debe a que el mismo puede sobrevivir y aún producir grano bajo las condiciones más adversas, pero al igual que otros cultivos el sorgo responde a las condiciones óptimas de cultivo y al manejo adecuado

Entre las prácticas de manejo adecuado para este cultivo se incluyen la fertilización y el riego. Aun cuando, como se ha señalado anteriormente, el sorgo se encuentra entre los cultivos más tolerantes a la sequía, esto no significa que esta sea su mejor condición de desarrollo, pero sí, como afirman Tacker *et al.* (2015), en estas condiciones su comportamiento es superior al maíz o la soya. Estos mismos autores señalan que el sorgo requiere adecuada y bien distribuida humedad durante su periodo de desarrollo para la obtención de máximos rendimientos, aunque un rendimiento razonable puede obtenerse sin riego en años con un adecuado patrón de distribución de las lluvias.

Las necesidades hídricas del sorgo varían en función del clima y de los métodos de riego. Doorombos & Kassam (1986) señalaron que para obtener rendimientos óptimos (3500–5500 kg ha⁻¹) para este cultivo, los requerimientos hídricos podrían

variar desde 450 mm hasta 650 mm de agua, mientras que otras fuentes (Agrobit 2013), plantean que el cultivo requiere un mínimo de 250 mm durante su ciclo para llegar a producir grano y pueden obtenerse buenos rendimientos con 350 mm. Pero, para lograr altas producciones, el requerimiento de agua varía entre 450 a 600 mm, dependiendo del ciclo del híbrido y de las condiciones ambientales. Por su parte, Shenkut *et al.* (2013), en Etiopía, encontraron un requerimiento de agua total de 500,7 mm de agua para un ciclo de 137 días y obtuvieron un rendimiento de 5,3 t ha⁻¹. En Cuba, Montero *et al.* (2009), regando con aguas residuales y la aplicación de 117,5 mm de riego más 244,2 mm de lluvia (361,7 mm total durante todo el ciclo de 148 días) obtuvieron rendimientos de 8,6 t ha⁻¹, que fue 48% superior al testigo que solo recibió 244,2 mm como agua de lluvia. Según señalan estos autores la humedad del suelo se mantuvo, en el tratamiento irrigado por encima del 85% de la capacidad de campo, favoreciendo al sorgo desde la fase de espigamiento hasta inicio de la maduración del grano.

Aunque en Cuba se han realizado diferentes investigaciones con el sorgo de grano en los que se ha incluido el riego (Machado *et al.*, 2001; Montero *et al.*, 2009), ninguno ha abordado la demanda de agua del cultivo así como su posible relación con la fertilización, particularmente la nitrogenada, por lo que en el presente trabajo se estudia la respuesta del sorgo a diferentes niveles de humedad en el suelo y el posible efecto de tres niveles de N. sobre el rendimiento y la demanda de agua del cultivo para dos épocas del año.

MÉTODOS

Características de suelo y clima

El experimento se realizó durante la época de verano comprendida entre el 21 de junio al 24 de septiembre de 1986 y en la época de invierno que se inició el 13 de diciembre y finalizó el 10 de abril de 1987 en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD), localizada en el sur de La Habana (22°47' N, 82° 36' W) con una altura sobre el nivel del mar de 6m. El suelo de la estación es Ferralítico Rojo compactado (Hernández *et al.* 1999).

Desde el punto de vista hidropedológico este suelo presenta un comportamiento bastante similar en todo el perfil como resultado de la homogeneidad en la calidad y cantidad de la arcilla predominante, así como en la estabilidad de sus agregados (Cid *et al.*, 2012). El análisis granulométrico del suelo, así como la densidad real fue realizado por el laboratorio de física de suelos del IIRD. La capacidad de campo fue determinada in situ siguiendo la metodología de la plazoleta inundada (Norma Ramal NR AG 264, 1979), mientras que la densidad aparente fue determinada al valor de humedad de capacidad de campo en la misma plazoleta utilizando anillos⁵ de 100 cc (Tabla 1).

² CANET, R.; RIVERO, R.; ARMENTEROS, M.: Retos y oportunidades para la producción de sorgo en Cuba. Conferencia, Curso “Producción de Sorgo, Instituto de Granos, Junio 2011.

³ GVC-ACTAF: Informe final Proyecto Apoyo a la producción de frijol, maíz, sorgo girasol y plantas oleaginosas en la región occidental de Cuba, 20pp., 2015.

⁴ CASTELLANOS, A; HERRERA, J.; IRARRAGORRY, R.; FELIPE, M.; RODRÍGUEZ, A; CABIDOCHÉ, Y. M.; CHOSSAT, J. C.: Efecto del drenaje en los vertisuelos sobre la salinidad y el rendimiento del sorgo de grano. EN. Memorias del Coloquio cubano-francés sobre mejoramiento y manejo de vertisuelos, Bayamo (Granma) Cuba, 15 al 20 de Abril, eds: R. Bouziguez, J.C. Favrot, Y.M. Cabidoche y J. Herrera, pp 359-361, 1991.

⁵ BLAKE, J. R.; HARTGE, K. H.: Bulk density. In: Klute, A. (Ed): Methods of soil analysis, Part 1, Physical and mineralogical methods, 2nd edition, pp. 363-376, Soil Sci. Soc. America, Madison WI. USA, 1986.

TABLA 1. Análisis granulométrico, capacidad de campo (Cc), densidad real (Dr), densidad aparente (Da) para la Cc y porosidad total (Pt) en el perfil del suelo Ferralítico Rojo compactado

Prof. (cm)	Cc (g g ⁻¹)	Da a Cc (g cm ⁻³)	Dr (g cm ⁻³)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Pt (%)
0-10	0,34	1,1	2,6	56,46	22,12	21,42	57,6
11-20	0,34	1,06	2,6	58,24	21,52	20,24	59,2
20-30	0,34	1,06	2,6	62,8	23,52	13,6	59,2
31-40	0,34	1,06	2,06	60,8	17,52	21,68	59,2
41-50	0,34	1,06	2,06	65,02	11,16	23,82	59,2
51-60	0,34	1,06	2,06	64,0	14,10	21,90	59,2

Una caracterización climática completa de la zona de estudio fue realizada, donde se evidencia que éste está influenciado principalmente por las lluvias y su régimen de distribución dentro del año; con un valor de lluvia media anual de 1432 mm, de los cuales el 78% (1 16,7 mm) corresponden al período lluvioso y los 315,3 mm restantes al período seco⁶. La Tabla 2 muestra el comportamiento de los elementos climáticos durante el periodo experimental recogidos en la estación meteorológica localizada en el área de la estación experimental.

TABLA 2. Comportamiento de los elementos del clima durante el periodo experimental

Época de siembra	mes	decenas																				
		Tmax (°C)			Tmin (°C)			HR (%)			velocidad del viento a 2 m(m s ⁻¹)			insolación (horas luz)			evaporación (mm día ⁻¹)			lluvias (mm decena)		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Época de siembra de Verano	jun-86	31			21			80			1,3			7			6			62		
	jul-86	31	32	33	21	23	24	80	79	79	1,6	2	1,2	6,6	9	9	6,3	8	6,8	85	95	32
	ago-86	31	31	33	21	21	25	79	82	88	1,6	1,2	1,5	8,8	7,4	8	6,8	5,8	5,4	75	42	102
	sep-86	26	25	25	15	14	14	81	80	81	1,2	1,6	1,4	7,9	7,9	7	6,1	6,2	6,8	19	20	80
Época de siembra de Invierno	dic-86	28 28			19 18			80 87			1,2 1,5			8,6 4			4 3,2			0 103		
	ene-87	25	25	20	14	15	7	81	89	84	1,5	1,2	2	6,1	8,1	10	3,5	3,3	5	0	6	5
	feb-87	25	27	29	14	16	19	82	85	87	1,7	1,8	2,2	6,8	7,2	9	4,5	4,8	5,9	23	9	20
	mar-87	27	26	29	17	15	20	82	81	81	1,8	1,8	2,4	5,4	6,2	7	4,9	5,4	6,5	75	6	16
	abr-87	25			13			80			1,4			8,2			6,8			1		

Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental empleado fue el bloque al azar con 9 tratamientos y 4 réplicas, donde se combinaron 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) con 3 dosis de fertilización nitrogenada (33, 68 y 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno) aplicado como urea en dos porciones, la primera en la siembra y la segunda a los 45 días de sembrado. La parcela experimental tenía una longitud de 4 m x 2,8 m de ancho donde se sembraron 4 surcos separados a 0,7 m cada uno. Para evitar el efecto del riego en parcelas contiguas estas estaban separadas por un pasillo de 4 m. En el momento de la siembra se aplicó además una fertilización de fondo similar en todos los tratamientos equivalente a 60 kg ha⁻¹ de fósforo y potasio.

El riego se aplicó por surcos, para lo cual se empleó una tubería de 100 mm en el centro del experimento y del que salen mangueras en cuyos extremos están acoplados relojes contadores.

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.

El rendimiento fue estimado en los dos surcos centrales de cada parcela, el corte y trillado de las panículas se realizó manualmente y el rendimiento en grano se estimó al 15% de humedad. La altura de las plantas fue medida semanalmente mediante regla graduada. Para la comparación estadística de los rendimientos en granos en los diferentes tratamientos se realizó análisis de varianza y se aplicó la Dócima de Tukey al 5% de probabilidad cuando existieron diferencias significativas entre las medias.

Cálculo de la Evapotranspiración de referencia (ET₀)

En mediciones realizadas en lisímetros de drenaje libre en la propia área de la estación experimental, sembrado con

⁶ BERNAL, P. Caracterización agroclimática de la Estación Experimental de Riego y Drenaje (IIRD). Informe Técnico. La Habana. 32pp., 1995.

Paspalum notatum, Bernal (1995), encontró una relación ET_0 (mediada en el lisímetro, vs Evaporación, medida en el evaporímetro clase A) anual de 0,85 y variable según el mes. Con los valores mensuales de la relación $ET_{0\text{ lisímetro}}/E_0$ y los valores decenales de E_0 se calculó ET_0 como: $E_0 \times$ valor mensual del coeficiente $ET_{0\text{ lisímetro}}/E_0 = ET_0$.

Calculo de la Evapotranspiración del cultivo (ETc)

La ETc fue determinada mediante el balance simple de agua en el suelo utilizando la ecuación:

$$ETc = Llap + R - \Delta H_{\text{suelo}}$$

donde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo;

Llap = lluvia aprovechable;

R = Riego;

ΔH_{suelo} = 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.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 y 2 se muestran para cada una de las épocas el comportamiento decenal de las precipitaciones y la evapotranspiración de referencia. En la siembra de invierno, la ET_0 alcanzo un valor de 420,3 mm y en la de verano 557,9 mm, valores muy cercanos a los promedios para 3 años de estudios de 463,5 y 506 mm para el periodo comprendido en las siembras de invierno y verano, respectivamente, según los datos de Bernal (1995) para estas épocas. El balance de lluvia y evapotranspiración potencial refleja que durante la siembra de invierno (Figura 1), por lo general, el balance es negativo por lo que el riego es imprescindible para la obtención de buenos rendimientos agrícolas.



FIGURA 1. Balance lluvias ET_0 para el periodo diciembre/abril (siembra de invierno).

En la siembra de verano (periodo junio/septiembre), la ET_0 fue mayor que las lluvias en la segunda decena de julio y agosto y también en la fase final del cultivo en las dos primeras decenas de septiembre.,

En la época de verano la cantidad de agua aplicada mediante el riego (Tabla 3) fue como promedio de 179, 154 y 83 mm para

los tratamientos de riego al 85, 75 y germinación respectivamente. Las variaciones entre los diferentes tratamientos de fertilizantes en la cantidad de agua aplicada para los tratamientos donde se aplicó riego fueron menores de 10 mm y pueden ser atribuidas a las variaciones espaciales de la humedad del suelo. Para la siembra de invierno (época seca), la cantidad de agua aplicada mediante el riego fue de 299,4, 209,5, 82 mm para los tratamientos de riego al 85, 75 y germinación, respectivamente. En esta época, el tratamiento de riego al 85% de Cc recibió un 30 y 70% más agua como riego al compararlos con los tratamientos de 75% Cc y riego de germinación respectivamente.

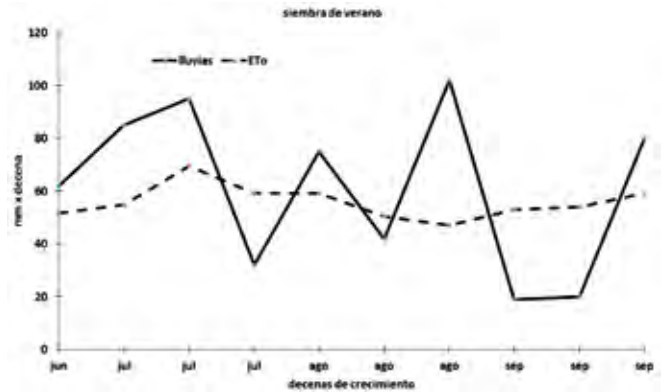


FIGURA 2. Balance lluvias ET_0 para el periodo junio/septiembre (siembra de verano).

Al observar la cantidad total de agua recibida (lluvia + riego) y compararla con la ET_0 para la época de verano se pudiera concluir que se satisface totalmente la necesidad de agua del cultivo (579,9 mm ET_0 vs 721 mm lluvia + riego promedio de todos los tratamientos), de igual modo para la época de invierno, el agua total recibida en los tratamientos de riego sobrepasa en 38 y 16 % a la ET_0 cuando se rego al 85 y 75 % de Cc respectivamente, mientras que el tratamiento sin riego solo satisfizo la demanda climática en un 86%.

El valor total de la diferencia entre la demanda climática y el agua total aportada no refleja siempre la satisfacción de las necesidades de agua de los cultivos, y resulta más importante la distribución de las lluvias y un adecuado seguimiento a la humedad del suelo de manera que no se presenten déficits de humedad en el momento que el cultivo lo necesita.

Lo anterior se confirma al observar las Figuras 3 y 4 donde se muestra la variación de la humedad (expresada como porcentaje de la Cc) a lo largo del ciclo del cultivo para las dos épocas de siembra. En la época de verano, la humedad se mantiene relativamente estable y por encima del 95% de la Cc durante todo el ciclo para el tratamiento de riego más continuo en consecuencia con los 7 riegos que recibió este tratamiento (Tabla 3), mientras que para las decenas 8 a la 10, en los tratamientos de riego al 75% de Cc, la humedad desciende por debajo del 85 y 80% de Cc, respectivamente. En la época de seca (siembra de diciembre/abril) hay una neta diferencia en el comportamiento de la humedad del suelo entre los tratamientos regados y el tratamiento sin riego, este último siempre con los valores más bajos.

TABLA 3. Cantidad de agua recibida como riego o lluvia + riego y numero de riegos en cada tratamiento para los dos periodos de siembra

Tratamientos	Verano (junio-septiembre) (ciclo 95 días)			Invierno (diciembre-abril) (ciclo 118 días)		
	No. riegos	Norma total (mm)	Riego + lluvia (mm)	No. riegos	Norma total (mm)	Riego + lluvia (mm)
Riego al 85% de la Cc	33 kg/ha N	7	181,2	14	298,8	578,8
	68 kg/ha N	7	171	14	298,5	578,5
	100 kg/ha N	7	186,8	14	301	580
Riego al 75% de la Cc	33 kg/ha N	6	159,3	11	210,7	490,7
	68 kg/ha N	6	152,2	11	212,8	492,8
	100 kg/ha N	6	153,1	11	205	480,5
Solo riegos de germinación	33 kg/ha N	3	83	5	82	362
	68 kg/ha N	3	83	5	82	362
	100 kg/ha N	3	83	5	82	362

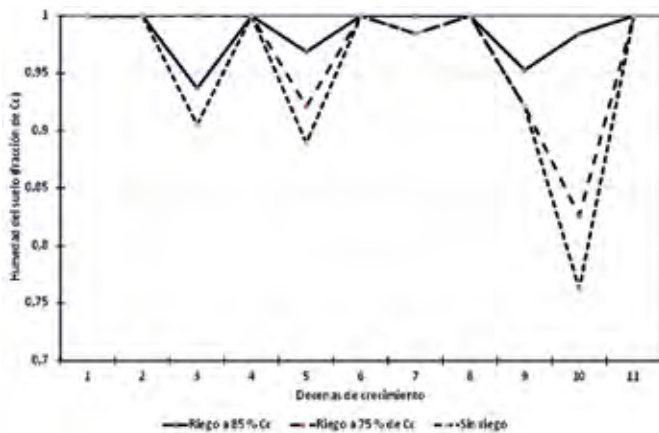


FIGURA 3. Variación de la humedad del suelo en la época de siembra junio/septiembre.

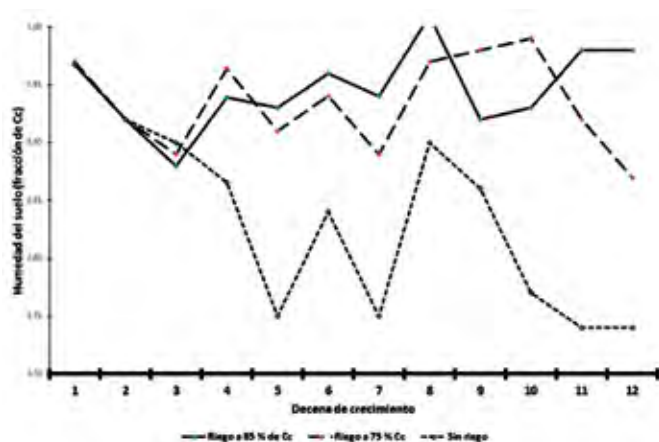


FIGURA 4. Variación de la humedad del suelo en la época de siembra diciembre/abril.

los tratamientos de riego al 85% Cc fueron significativamente superiores al resto de los tratamientos a cualquier nivel de N aplicado. En este nivel de riego, el mejor rendimiento se obtuvo con la aplicación de 100 kg de N, mientras que la aplicación de 33 y 68 kg N riego no difirieron entre sí. Cuando se regó al 75% de la Cc, la aplicación de 33 kg N obtuvo el mayor rendimiento, mientras que 68 y 100 kg de N no tuvieron diferencias significativas. Para el tratamiento sin riego, los rendimientos fueron superiores en el tratamiento de 68 kg N que difirió de 33 y 100 kg N. En esta época de siembra no se encontró interacción entre los tratamientos y la aplicación del riego al 85% de Cc fue superior al resto de los tratamientos de riego en solo un 9%, mientras que el incremento del nivel de N de 33 a 100 kg N no influyó en el incremento de rendimiento; el rendimiento promedio para la época fue de 4,5 t ha⁻¹.

En la siembra de invierno (diciembre/abril), el mayor rendimiento lo obtuvo la combinación de riego al 75% de Cc con la aplicación de la menor dosis de N que difirió significativamente del resto de los tratamientos. Para los tratamientos con riego se obtuvieron los mejores rendimientos con la aplicación de la menor dosis de fertilizante. Para el resto de los niveles de fertilización, todos los tratamientos difirieron significativamente entre sí y los mayores rendimientos siempre fueron para aplicación del riego al 85% de Cc seguido del riego al 75% de Cc y los menores para el tratamiento sin riego. La aplicación del riego al 85% de Cc en esta época fue superior en un 5 y 25% con relación al 75 de Cc y sin riego respectivamente. El nivel de N de 33 obtuvo el mejor promedio de rendimiento y supero en un 9 y 6% a los niveles de 68 y 100 kg N respectivamente. El rendimiento promedio para la época fue de 3,89 t ha⁻¹.

Aun cuando numerosos autores afirman que el sorgo es un cultivo resistente a la sequía (Mastorilli *et al.*, 1999; Stickler *et al.*, 2014; Meneses *et al.*, 2015), otros coinciden al afirmar la favorable respuesta del cultivo a la irrigación en condiciones de escasas de lluvias (New, 2004; Tacker *et al.*, 2015). En este sentido, New (2004), señala que con poca o ninguna lluvia y una baja reserva de humedad en

Rendimiento

En la Tabla 4 se muestran los rendimientos obtenidos para cada tratamiento y época de siembra. En la siembra de verano,

el suelo durante las fases críticas del cultivo, la aplicación de riego puede incrementar el rendimiento en más 3 t ha⁻¹ de grano. Por su parte, Tacker *et al.* (2015), señalan que en Arkansas en pruebas de comportamientos de híbridos de

sorgo en 4 años se ha obtenido un promedio de 6,8 t ha⁻¹ en los campos irrigados y de 4,9 t ha⁻¹ en las áreas sin riego, lo que significa un incremento de rendimiento de alrededor del 28% al aplicar riego.

TABLA 4. Rendimiento en granos (t ha⁻¹) para los diferentes tratamientos de riego y nitrógeno

Tratamientos de Riego	Nivel de Nitrógeno (kg N ha ⁻¹)		
	33	68	100
Siembra de verano (Junio-septiembre)			
85 % C.c	4,74b	4,8b	4,95a
75 % C.c	4,56c	4,31d	4,29de
Riego de establecimiento	4,36d	4,56c	4,21e
Medias con letra diferentes difieren para p<0,01 Est +/- 0,029			
Siembra de invierno (Diciembre-Abril)			
85 % C.c	4,53b	4,17d	4,29c
75 % C.c	4,64a	3,76f	3,88e
Riego de establecimiento	3,09i	3,21h	3,47g
Medias con letra diferentes difieren para p<0,01 Est +/- 0,033			

Los resultados encontrados en este trabajo, donde el sorgo con el mejor tratamiento de riego incrementó en la época seca el rendimiento en un 25% confirman lo planteado por Tacker *et al.* (2015), y de igual modo confirman que a pesar de ser un cultivo capaz de producir en condiciones de estrés de humedad, también responde al riego.

Al comparar los resultados de la siembra en el periodo invernal con la siembra de verano, se puede señalar que en esta última, además de una baja respuesta al riego (solo 9% de incremento) producto de las abundantes lluvias de la estación que mantuvieron una favorable humedad en el suelo en todos los tratamientos, se producen condiciones más favorables de temperaturas. En este sentido Pérez *et al.* (2010), señalaron que el crecimiento de la planta se activa cuando las temperaturas sobrepasan los 15°C, con un óptimo alrededor de los 32°C y los descensos de temperatura en el momento de la floración pueden reducir el rendimiento del grano, además de producir esterilidad de las espiguillas y afectar también la viabilidad del grano de polen; de ahí que, de acuerdo a los valores de temperatura mostrados en la Tabla 2 para ambos periodos de siembra, es indudable que el periodo de verano se vio favorecido por mejores temperaturas para el desarrollo del cultivo, lo que explica en parte el 13% de incremento en el rendimiento para este periodo.

El sorgo responde a las aplicaciones de fertilizantes solo cuando hay un suministro adecuado de agua. Un rendimiento de 4000 kg ha⁻¹ de grano remueve del suelo 120 kg de N, 50 kg de P₂O₅ y 140 kg de K₂O (ILACOB, 1981), por su parte, Espinosa (2015), recomienda la aplicación de 110 kg N ha⁻¹ para el sorgo irrigado (6,8 t ha⁻¹ rendimiento) y 90 kg ha⁻¹ de N para el sorgo no irrigado. En este trabajo no hubo una clara respuesta al fertilizante nitrogenado, y como se señaló anteriormente, las dosis de 33 kg N ha⁻¹ fueron suficientes para garantizar la mejor

respuesta al riego, lo que parece indicar que la disponibilidad de N en el suelos y la dosis de N aplicada, aun cuando está por debajo de lo recomendado, fue suficiente para garantizar los rendimientos obtenidos. Nuevos ensayos, que incluyan análisis de la fertilidad del suelo podrían brindar más información sobre la interacción del riego con el nivel de N en este cultivo.

La Tabla 5 muestra los valores de consumo de agua para ambas épocas por el cultivo de sorgo. Esta información constituye el primer reporte sobre la demanda de agua para el sorgo en Cuba.

TABLA 5. Consumo de agua del Sorgo (ETc) por tratamiento y épocas de siembra (mm)

Tratamientos de Riego	Nivel de Nitrógeno (kg ha ⁻¹)			
	33	68	100	Promedio
Siembra de verano (Junio-septiembre)				
85 % C.c.	490,8	471,1	458,3	473,4
75 % C.c.	402,4	427,4	433,7	421,2
Riego de establecimiento	370,2	383	379,5	377,6
Promedio	421,1	427,2	423,8	424,0
Siembra de invierno (Diciembre-Abril)				
85 % C.c.	412,7	407	410,8	410,2
75 % C.c.	352,2	353,1	331,6	345,6
Riego de establecimiento	213,1	231	235,2	226,4
Promedio	326,0	330,4	325,9	327,4

El máximo valor de ETc (490,8 mm) se obtuvo en la época de siembra de verano al regar al 85% de Cc y fertilizar con 33 kg N, este mismo tratamiento obtuvo también el máximo valor de consumo de agua del cultivo (412,7 mm) en la época de siembra de invierno.

Para ambas épocas el consumo de agua aumento linealmente en el sentido del incremento de las cantidades de agua aplicadas.

La diferencias en niveles de fertilización nitrogenada no influyó prácticamente en el valor de la ETc, en la época de verano la diferencia entre el mayor y menor valor de ETc para la dosis de 68 y 33 kg N fue de solo 6,1 mm; mientras que en la época de invierno, para estos mismos tratamientos de N fue de solo 4,4 mm. El consumo de agua en la época de verano (420 mm) fue como promedio 22% mayor que el de la época de invierno (327,4 mm).

Los consumos de agua encontrados en este trabajo, acorde con los rendimientos obtenidos, se encuentran entre los valores señalados en la literatura (Dooroombos y Kassam, 1986; Agrobot 2013; Shenkut *et al.*, 2013). Al analizar las relaciones agua rendimiento en este cultivo, a partir de los resultados de este trabajo, González *et al.* (2011) encontraron una relación lineal entre el rendimiento y la evapotranspiración, mientras que para la función rendimiento/agua total se calcula usando un polinomio de segundo orden; estos autores también indicaron que si se logra satisfacer en más del 80% las necesidades hídricas de este cultivo, los rendimientos podrían ser superiores a los 4 t ha⁻¹.

CONCLUSIONES

- La consideración cierta de que el sorgo es un cultivo resistente al estrés hídrico y que posee una gran capacidad

de adaptación a ambientes difíciles, hace pensar a menudo en un cultivo de poca o ninguna necesidad de riego y baja atención agrotécnica, en este sentido Menezes *et al.* (2015) plantean que para las condiciones de Brasil, los rendimientos del sorgo son bajos debido a que a este cultivo se dedican fundamentalmente las áreas marginales y los suelos más pobres. Además, agregan estos autores, el sorgo casi siempre se siembra como un cultivo de sucesión sin la aplicación de fertilizantes.

- Los resultados de este trabajo demuestran el potencial de respuesta al riego de este cultivo en cualquier época del año y aunque los resultados de la fertilización con N no son conclusivos, no cabe dudas que una buena fertilidad del suelo puede ayudar a un incremento en los rendimientos y mejor respuesta al riego. El potencial de rendimiento superior a las 4 t ha⁻¹, encontrado en este trabajo, muestra las potencialidades del cultivo si se satisfacen sus necesidades hídricas tal y como también plantearon González *et al.* (2011). Los valores de consumo encontrados hacen suponer que para un año de lluvias normales en la estación seca, los requerimientos de agua del cultivo podrían suplirse con alrededor de 300 mm como riego. La ampliación de estos estudios a un periodo más largo e incluyendo otras variedades y regiones podrían indicar finalmente el potencial real del cultivo en Cuba y sus demandas de agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROBIT: *Requerimiento de agua para el cultivo del sorgo [en línea] 2013, Disponible en: http://www.agrobot.com.ar/Info_tecnica/agricultura/sorgo/AG_000003sg.htm [Consulta: enero 22 2015].*
- CID, G. L.; LÓPEZ, T. S.; GONZÁLEZ, F. R.; HERRERA, J. P.; RUIZ, M.E.: "Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba", *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN-2227-8761, RNPS-2284, 2(2): 26-33, 2012.
- DOORENBOS, J. y KASSAM, A. H.: *Yield response to water*, Irrigation and Drainage Paper N° 33, Ed. FAO, ISBN 92-5-300744-3, Rome; 193 pp, 1986.
- ESPINOSA, L.: *Fertilization and Liming. In. Grain Sorghum Production Handbook. Leo Espinoza and Leo Espinoza editors [en línea] 2015, Disponible en: <http://itc.tamu.edu/documents/extensionpubs/MP297-3M-1-04RV.pdf>. [Consulta: enero 22 2015].*
- GONZÁLEZ, R. F.; HERRERA, P. J.; LÓPEZ, S. T.; CID, L. G.: "Respuesta del sorgo al riego en dos épocas de siembra. Función agua rendimiento", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, RNPS-0111, 20(1): 40-46, 2011.
- 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, ISBN-959-246-022-1, La Habana, Cuba, 1999.
- ILACOB, V.: *International Land Development consultants. Agricultural Compendium for Rural development in the Tropics and Sub Tropics*, ISBN 0-444-41952-7, Elsevier Scientific Publishing Company, 1981.
- MACHADO, A.; NOVELLA, M. A. R.; LEYVA, O.; EXPOSITO, E. I.: "Comportamiento en ocho variedades de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) antes condiciones de escasos riegos", *Revistas Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, RNPS-0111, 10(4): 71-74, 2001.
- MASTORILLIA, M.; KATERJIB, N.; RANA, G.: "Productivity and water use efficiency of sweet sorghum as affected by soil water deficit occurring at different vegetative growth stages", *European Journal of Agronomy*, ISSN: 1161-0301, PII: S1161-0301(99)00032-5, 11: 207-21, 1999.
- MENEZES, C. B.; SALDANHA, D. C.; SANTOS, C.V.; ANDRADE, L. C.; MINGOTE, M. P.; PORTUGAL, A.F.; TARDIN, F.D.: "Evaluation of grain yield in sorghum hybrids under water stress", *Genetics and Molecular Research*, ISSN-1676-5680, DOI: <http://dx.doi.org/10.4238/2015.October.19.11>, 14(4): 12675-12683, 2015.
- MONTERO, L.; CUN, R.; PÉREZ, J.; RICARDO, M. y HERRERA, J.: "Riego con aguas residuales a los cultivos del sorgo y maíz como alternativa para la producción de alimento animal", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, RNPS-0111, 18(4): 44-48, 2009.
- NEW, L.: *Grain Sorghum Irrigation. Agricultural Communications, The Texas A&M University System, [en línea] 2004, Disponible en: <http://texasextension.tamu.edu> (B-6152, 6-04) [Consulta: enero 22 2015].*
- NORMA RAMAL NR AG 264: *Suelos. Capacidad de campo. Determinación. MINISTERIO DE LA AGRICULTURA*, Vig. 1979.
- PÉREZ, A.; SAUCEDO, O.; IGLESIAS, J.; WENCOMO, H. B.; 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): 1-17, 2010.
- SHENKUT, A.; KINDIE, T.; FENTAW, A.: "Determination of Water Requirement and Crop Coefficient for Sorghum (*Sorghum bicolor* L.)

at Melkassa, Ethiopia”, *Technology and Arts Research Journal*, ISSN: 2226-7522 (Print) and 2305-3327 (Online) Science July-Sep 2013, 2(3): 16-24, 2013.

STICHLER, C. H., MCFARLAND, M.; COFFMAN, C.: *Irrigated and Dryland Grain Sorghum Production South and Southwest Texas* [en línea] 2014, Disponible en: [http://itc.tamu.edu/documents/extensionpubs/\(5M—5-97, New AGR14.pdf\)](http://itc.tamu.edu/documents/extensionpubs/(5M—5-97, New AGR14.pdf)) [Consulta: enero 22 2015].

TACKER, P.; VORIES, E.; HUITINK, G.; 3 - *Drainage and Irrigation In. Grain Sorghum Production Handbook*. Leo Espinoza and Leo Espinoza editors, [en línea] 2015, Disponible en: [http://itc.tamu.edu/documents/extensionpubs/\(MP297-3M-1-04RV.pdf\)](http://itc.tamu.edu/documents/extensionpubs/(MP297-3M-1-04RV.pdf)), [Consulta: enero 22 2015].

Recibido: 23/07/2015.

Aprobado: 15/06/2016.

Julián Herrera Puebla., Investigador Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana. Cuba, Correo electrónico: direccioninvest1@iagric.cu

Maria de los A. Osorio, Correo electrónico: direccioninvest1@iagric.cu

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

Yunier Díaz Pérez, Correo electrónico: dptoambiente7@iagric.cu

**...sistemas integrales de ingeniería agrícola,
nuestra contribución a la seguridad alimentaria...**



IAgric
Instituto de Investigaciones
de Ingeniería Agrícola

**desarrollamos
y comercializamos**

- Elementos para Sistemas de Riego.
- Implementos y Equipos de Mecanización Agropecuaria.
- Asistencia Técnica especializada para la instalación, y explotación de tecnologías agrícolas.
- Servicios de ingeniería para el diseño de sistemas de riego y drenaje y equipos y máquinas agrícolas.
- Servicios de pruebas y validación de tecnologías agrícolas.
- Servicios de capacitación y entrenamiento especializados en los campos de la ingeniería agrícola.

INFORMACIÓN: Unidad de Producciones Tecnológicas y Comercial
Avenida Camilo Cienfuegos y Calle 27 Arroyo Naranja
E-mail: agriccomercial@minag.cu Teléfonos(537) 691 2533 / 691 2665