

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE ALGUNOS CULTIVARES DE SORGO AZUCARADO BAJO DISTINTAS ALTERNATIVAS DE MANEJO DE SUELOS

José A. Terra¹ y José M. Correa²

INTRODUCCIÓN

El aumento de la demanda mundial de energía en los últimos años, el inexorable agotamiento en el mediano plazo de los combustibles fósiles y su alto costo han puesto de manifiesto la necesidad de contar con fuentes alternativas de energía, preferentemente renovables. El aprovechamiento de la capacidad de las plantas de transformar la energía solar en biomasa mediante la fotosíntesis y su posterior industrialización para la obtención de los llamados biocombustibles es una de las alternativas en que más se invierte en el mundo.

Hay dos grandes grupos de biocombustibles: el biodiesel y el bioetanol. El biodiesel es producido a partir de cultivos de plantas oleaginosas como la soja, el girasol etc., tanto en forma de aceites crudos o aceites modificados químicamente. El bioetanol es obtenido a partir de cultivos energéticos con alta proporción de hidratos de carbono fermentables ya sean azúcares o almidones producidos por cultivos como la caña de azúcar, el sorgo azucarado, la remolacha azucarera, el maíz y el sorgo entre otros.

Existe interés a nivel nacional en la producción de biocombustibles derivados de cultivos agrícolas y forestales para atender la creciente demanda de energía y reducir la dependencia a la importación de petróleo del país. Entre los posibles cultivos alternativos para la producción de biocombustibles, el sorgo azucarado (*Sorghum bicolor* L. Moench) debido a su rusticidad aparece como promisorio para adaptarse a las condiciones ambientales y edáficas de la región Este.

El sorgo tiene menores requerimientos de agua y N para producir biomasa comparado con otros cultivos energéticos, es tolerante al stress hídrico y puede ser usado como forraje para animales (Geng et al., 1989; Mastroilli, 1999). Comparado con la caña de azúcar, el sorgo azucarado requiere 30% menos agua por kg de biomasa aérea producida. El sorgo es uno de los cultivos de mayor eficiencia de uso de la radiación interceptada (3.6 g de MS/MJ de la radiación fotosintética activa absorbida) (Woods, 2001). De acuerdo con este autor y a otros (Fariello, 1980; Siri com.pers.; Fassio 2006; Terra et al. 2006) el cultivo de sorgo azucarado de secano tiene un potencial productivo, dependiendo del material genético y condiciones ambientales, de unos 35-70 Mg/ha de tallo fresco en aprox. 120 días de crecimiento. Los jugos extraídos de los tallos de sorgo representan aprox. el 50% de su peso y son ricos en monosacáridos y disacáridos (glucosa, fructuosa y sacarosa) fácilmente fermentables para la obtención de alcohol etílico. La calidad del jugo extraído de los tallos se mide por el total de sólidos disueltos en el jugo (BRIX) y por la composición de esos sólidos, particularmente el contenido de sacarosa (POL) y de otros sólidos fermentables (Woods, 2001). Según este autor el potencial de producción de etanol del cultivo de sorgo azucarado sin irrigar ronda los

¹ Ing. Agr. Ph.D, Programa Producción y Sustentabilidad Ambiental

² Téc. Agr., Programa Producción y Sustentabilidad Ambiental

2000-3000 l/ha. Similares resultados son reportados por Fariello (1980) en ensayos en el sur del país y por Siri (com.pers.) en ensayos contemporáneos ubicados en el litoral norte.

Desde la zafra 2005-06 se realizan trabajos exploratorios en la UEPP de INIA Treinta y Tres para estudiar el comportamiento agronómico de algunos materiales de sorgo azucarado en las condiciones agroclimáticas de la región. En la zafra 2006-07 se instalaron parcelas de observación (fajas repetidas de 10m*400m) sobre dos situaciones de chacra (6 ha) y se realizaron 2 ensayos sobre las mismas. El objetivo general fue cuantificar el efecto de la intensidad de uso del suelo y la fertilización N sobre el comportamiento agronómico y productivo de algunos materiales de sorgo azucarado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos que se realizaron durante la zafra 2006-07 se instalaron dentro del experimento de rotaciones de larga duración de la UEPP (Terra y García-Prechac, 2001). Tanto las fajas de observación como los 2 ensayos tuvieron el mismo manejo.

El control de malezas empezó a inicios de primavera con una mezcla de tanque de 5 l/ha de glifosato (Rango[®]) + 0.2 l/ha de Hyspray + 0.2 l/ha de Dicamba 48% (Dombel[®]) + 0.6 l 2.4D (Damine60[®]) el día 29/9 para desecar el raigrás y las malezas invernales.

Previo a la siembra, se aplicaron 3.3 l/ha de glifosato (Rango[®]) + 0.2 l/ha de Hyspray el 15/11/05 en combinación con 1 l/ha de Metolaclor (Dual Gold[®]) y 1.5 kg/ha de Atrazina 90% (Gesaprim[®]) para el control de gramíneas (*Digitaria sanguinalis* y *Echinochloa sp.*). La semilla fue provista por CALPROSE (cultivar Topper y M81) y AGRITEC SA (AGT Ultra BMR). Toda la semilla fue tratada con Imidacloprid 60% (Gavilan[®], 250 cc/100 kg semilla) para protegerla de insectos del suelo y con Concep II.

La fertilización basal fue de 125 kg/ha de Fosfato de Amonio (NPK, 18-46-0), 45% al surco y 55 % al voleo en superficie. Se sembró el 21/11/06 con una sembradora de siembra directa (Semeato, Personale Drill) de doble disco de 6 líneas equipada con surcador guillotina a una distancia entre hileras de 40 cm y a una profundidad de 2,5 cm.

Se instalaron 2 ensayos con los mismos tratamientos y diseño experimental, uno sobre una rotación corta de 2 años de pasturas y 2 años de cultivos (RC), y otro sobre una rotación larga de 2 años de cultivos y 4 años de pasturas (RL) Los ensayos se instalaron sobre raigras sembrado a la salida de la fase de pasturas en suelos de similar fertilidad (Cuadro1).

El diseño estadístico correspondió a bloques completos al azar con 3 repeticiones con un arreglo en franjas cruzadas (Strip Plot).

Los tratamientos fueron los siguientes:

- 1) Cultivares: M81, Topper y AGT BMR Ultra (Fajas 10m ancho).
- 2) Fertilización N (Urea): 0-50-100-150 kg de N a V8 en fajas 10m ancho (27/12/06).

Densidad de siembra: Cultivares M81 y Topper (5 kg/ha) y BMR Ultra 8 kg/ha.

Cuadro 1. Contenido de C, P, K y pH del suelo (0-15cm) a la siembra y contenido de nitratos al estado V8 del cultivo.

	C org. (g/kg)	P (µg/g)	K (meq/100g)	pH	N-NO3 (ppm)
Ensayo 1 (RC)	20	14.3	0.24	5.3	30
Ensayo 2 (RL)	19	14.4	0.23	5.6	19

Determinaciones: número de plantas a la emergencia, N-NO3 en el suelo a V8 (previo aplicación de N), largo de tallos a la cosecha, número de tallos, peso de tallos limpios, número de panojas, peso de panojas, peso de hojas, materia seca total y por componentes, rendimiento de grano, producción de jugo y calidad de jugo (BRIX – POL) del ensayo 1 (RC). La cosecha y evaluación de componentes de rendimiento se realizó cuando el cultivo se encontraba en grano maduro, esto es a los 151 días postemergencia. La extracción de jugo se realizó a los 125 días post emergencia.

Las respuestas agronómicas en ambos ensayos fueron analizados mediante modelos mixtos (PROC MIXED, SAS) conteniendo efectos fijos y aleatorios (Littell et al., 1996). Los efectos de los tratamientos (cultivar y N) fueron considerados efectos fijos y los bloques y sus interacciones con los tratamientos como efectos aleatorios. Para determinar la significancia estadística de los efectos fijos en todos los análisis se utilizó un test F con un $P \leq 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron diferencias en el número de plantas instaladas a los 30 días postemergencia entre los diferentes cultivares a causa de las diferentes densidades de siembra utilizadas. Los cultivares M81 y Topper tuvieron 13.9 y 13.2 plantas/m² respectivamente, mientras que el cultivar BMR Ultra tuvo 18.2 plantas/m². Aunque, el stand de plantas obtenido no aparece como limitante para la expresión de los potenciales de rendimiento de los cultivares evaluados, el déficit hídrico y un severo ataque de lagarta cogollera a fines de diciembre que debió ser controlado con insecticida, redujo el stand inicial en todos los cultivares, principalmente en BMR Ultra que se vio muy afectado.

Se observaron diferencias ente materiales y entre chacras en el número de tallos a cosecha pero no existieron efectos significativos del agregado de N o interacciones con otras variables. El número de tallos a cosecha fue un 28% mayor en la chacra sobre pradera de larga duración comparada con la chacra sobre pradera corta. Por otro lado, Topper tuvo un 10% y un 31% más de tallos a cosecha que M81 y AGT Ultra BMR respectivamente (Cuadro 2).

La producción de biomasa fresca y de MS de tallos y de grano fue afectado únicamente por el cultivar utilizado. No se encontraron efectos significativos ni de la chacra, ni de la fertilización N, ni tampoco en sus respectivas interacciones. La mayor producción de biomasa fresca de tallo fue observada con el material M81 (40.16 Ton/ha), que fue un 23% superior a la de Topper y un 74% mayor a la de Utra BMR (Cuadro 2). Debido a que se encontraron diferencias en el porcentaje de materia seca de los tallos de los cultivares (Topper 37%, M81 35% y Ultra BMR 28%), los resultados productivos de tallos expresados en MS magnifican las diferencias anteriores.

Cuadro 2. Producción de biomasa de tallos (limpios y despanojados) y componentes de 3 cultivares de sorgo azucarado en la zafra 2006-2007 en un Argisol sometido a 11 años de una rotación de cultivos forrajeros-pasturas.

	Cultivar		
	Agt Ultra BMR	Topper	M81
Tallos/m ²	12.9c	16.9a	15.4b
Largo Tallos (m)	2.13b	2.16b	2.53a
Biomasa Tallos Frescos (t/ha)	23.07c	32.70b	40.16a
MS Tallos (t/ha)	6.49c	12.67b	14.57a

Valores seguidos por una misma letra dentro de la fila no difieren significativamente con un P=0.05

La diferencia de productividad de tallos entre los cultivares estuvo explicada por un lado por el número de tallos /m² comentado anteriormente, y por otro lado por el largo de tallos. Mientras el cultivar AGT Ultra BMR y el cultivar Topper alcanzaron un largo de tallo a cosecha de 2.13 y 2.16-m respectivamente, el cultivar M81 alcanzó 2.53-m que fue muy similar a los valores observados el año anterior.

Si bien la productividad de tallos frescos del material M81 fue un poco por debajo (28%) de la obtenida en los ensayos 2005-06, la productividad de biomasa seca fue muy similar debido a un mayor porcentaje de MS de tallo en esta zafra (35% vs. 23%). A pesar del marcado déficit hídrico durante el estado vegetativo del cultivo, los datos de productividad de tallos del cultivar M81 se encuentran dentro del rango reportado para los sorgos azucarados en condiciones de secano (Fariello, 1980; Mastroilli et al., 1999; Woods, 2001; Siri com.pers.; Fassio, 2006), lo que demuestra su estabilidad productiva aun en condiciones desfavorables.

La falta de respuesta a la fertilización nitrogenada estaría explicada por el contenido de N-NO₃ en el suelo al momento de la aplicación de la urea y por el régimen hídrico durante y posterior a la aplicación. Al momento de la aplicación los bloques que se encontraban sobre la pradera larga promediaban 19 ppm de N-NO₃ en los 15 cm superficiales del suelo, mientras que los bloques sobre la pradera corta promediaban 30 ppm (Cuadro 1). Es sabido que la probabilidad de respuesta al agregado de N en maíz y sorgo al estado de V6-V8 es baja con niveles de N-NO₃ en el suelo por encima de 18-20 ppm. Adicionalmente, al momento de la aplicación el cultivo sufría un déficit hídrico importante que se mantuvo hasta fines del mes de febrero, resultando en uno de los eneros más secos desde que se cuenta con registros en INIA Treinta y Tres.

A diferencia de lo observado para la producción de tallos, no se observaron diferencias entre cultivares en la MS producida de hojas, aunque la producción de MS de hojas en el sorgo sobre pradera larga fue un 22% mayor que sobre la pradera corta (2.60 t/ha de MS).

El cultivar AGT Ultra BMR tuvo un rendimiento de grano de 4.79 t/ha (14% humedad) que fue un 17% y un 49% superior al observado en M81 y Topper, respectivamente. A pesar que el cultivar Topper tuvo un 16% más de panojas/m² comparado con M81 y el AGT Ultra BMR, su peso de panoja fue claramente inferior al de estos dos materiales.

Cuadro 3. Producción de grano (14% humedad) y panojas m² de 3 cultivares de sorgo azucarado en la zafra 2006-2007 en un Argisol de la unidad Alférez con 12 años de rotación de cultivos-pasturas en siembra directa.

	Cultivar		
	Ultra BMR	Topper	M81
Panojas m ²	14,1b	16,69a	14,65b
Grano 14% h (t/ha)	4.793a	3.227c	4.093b

A pesar de que el cultivo sufrió un importante déficit hídrico durante buena parte del ciclo de crecimiento, se alcanzaron altas producciones de biomasa, particularmente en los cultivares Topper y M81 que alcanzaron las 18.41 y y 20.98 t/ha de MS respectivamente lo que demuestra su alto potencial de producción aun en condiciones adversas.

Al igual que lo observado en la zafra pasada, la partición de biomasa entre tallo, grano y hoja es claramente contrastante entre los diferentes materiales (Fig.1). Del total de biomasa producido por el cultivar AGT Ultra BMR (13.39 t/ha de MS) a cosecha, el 48% correspondió a la MS acumulada en los tallos, el 21% a la MS foliar y el 31% a MS acumulada en el grano. Por otro lado, los cultivares M81 y Topper acumularon la mayor parte de la biomasa en los tallos (69%), mientras el 31% restante se acumuló en grano y hojas en partes casi iguales. La proporción de la MS acumulada en tallo en M81 fue casi idéntica a la observada en los ensayos del año anterior con el mismo cultivar y se encuentra apenas por debajo de la habitual para esos cultivares que es del orden de 75% (A. Marques Com. Pers.). Trabajos conducidos por Barbanti et al. (2006) durante 3 años para un rango de fertilización nitrogenada similar a la utilizada en nuestro ensayo mostraron que los sorgos azucarados acumularon aproximadamente el 20% de la MS aérea en las hojas, el 75% en los tallos y menos del 5% en las panojas.

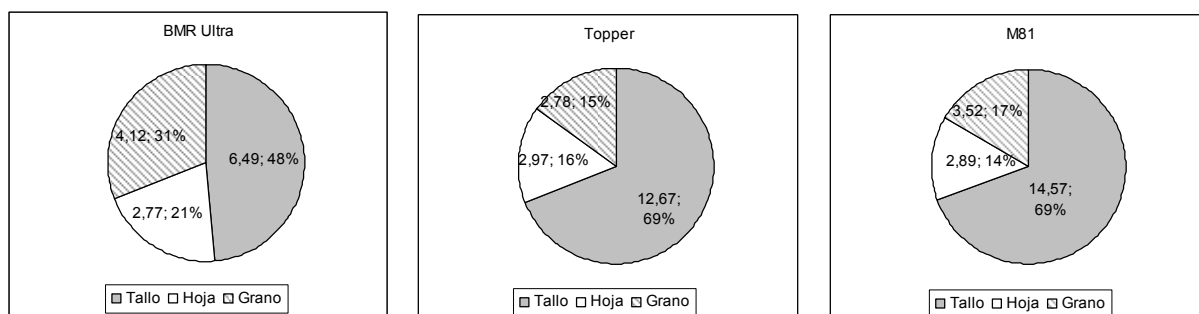


Fig. 1. Producción de materia seca (t/ha) y partición de la biomasa de tres cultivares de sorgo azucarado en la zafra 2006-2007 sobre un suelo de la unidad Alférez con 12 años de rotación cultivos-pasturas en siembra directa.

Por otro lado, se encontraron importantes diferencias entre los cultivares en los parámetros de producción y calidad del jugo (Cuadro 4) pero no se constataron efectos de la aplicación de nitrógeno sobre los mismos parámetros. La mayor producción de jugo fue obtenida con el material M81 con un rendimiento de jugo de 49% y una extracción de 19.68 t/ha de jugo que fue un 40% y 237% mayor que Topper y BMR Ultra respectivamente.

Sin embargo, el cultivar Topper fue el que mostró los mejores parámetros de calidad de jugo en las muestras evaluadas, tanto en el contenido de sólidos del jugo (14.9%) como

en sólidos fermentables POL (7.9%). A pesar de la aceptable productividad de jugo/ha del M81, la calidad del mismo, medida a través del BRIX y en el porcentaje de sacarosa (POL), esta algo por debajo de los estándares mínimos para BRIX (12%) y bastante por debajo de los de POL (9%) reportados por Woods (2001). La calidad del jugo extraída del material M81 fue apenas superior a la obtenida con el mismo material en la zafra pasada (Terra et. al 2006). La información confirma las apreciaciones realizadas respecto al limitado potencial productivo de tallos del cultivar AGT Ultra BMR comparado con los cultivares Topper y M81, sumado en este caso a un menor rendimiento de jugo (kg jugo/kg tallo) y a un menor porcentaje de sólidos disueltos en el jugo (BRIX) y contenido de polisacáridos (POL).

Cuadro 4. Producción de biomasa total, biomasa de tallos, extracción de jugo y calidad del jugo BRIX: sólidos totales; POL: polisacáridos de 3 cultivares de sorgo azucarado en la zafra 2006-2007 sobre un suelo de la Unidad Alférez con 12 años de rotaciones pastura-cultivo en siembra directa.

	Cultivar		
	BMR Ultra	Topper	M81
Materia Seca Total (t/ha)	13.39c	18.41b	20.98a
Biomasa Total (t/ha)	34.32c	43.49b	51.22a
Biomasa Tallos (t/ha)	23.06c	32.70b	40.16a
Jugo (%)	36c	43b	49a
Extracción Jugo (t/ha)	8.30c	14.06b	19.68a
Sólidos Disueltos "Brix" (%)	8.5	14.9	11.9
Polarización (POL %)	2.4	7.9	4.4

Valores seguidos por una misma letra dentro de la fila no difieren significativamente con un P=0.05.

CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados preliminares obtenidos en estos 2 años, indican que el sorgo azucarado aparece como una opción interesante a evaluar en los sistemas productivos de la zona por su alta capacidad de producción de biomasa en condiciones adversas.

Sin embargo, la información generada relacionada a los parámetros de calidad de los materiales sugiere que sería necesario caracterizar mejor los materiales genéticos disponibles respecto a su potencial alcoholígeno.

Por un lado, algunos materiales evaluados tales como el Portella en la zafra pasada y el AGT Ultra BMR en la presente, a juzgar por sus potenciales de producción de biomasa, partición de la misma en la planta y cantidad y calidad de jugo parecerían no ser materiales alcoholígenos típicos, sino más bien sileros.

Por otro lado, se han evaluado materiales de alto potencial de producción biomasa de tallos y producción de jugo tales como el M81 que sin embargo no ha alcanzado los estándares de calidad de jugo habitualmente requeridos, principalmente el contenido de sacáridos (POL). El material Topper, evaluado este año tuvo niveles de BRIX y POL que superan a M81, pero que aun requieren ser mejorados.

Los insuficientes niveles de sacáridos obtenidos en el jugo (POL) abren una interrogante sobre el impacto potencial de los déficit hídricos sobre los mismos considerando que

estos son eventos comunes en estos suelos durante el verano en cultivos de alta productividad. No menos importante, tratándose de cultivos de alta extracción de biomasa y por tanto de nutrientes, es la necesidad de integrarlos a sistemas productivos con especial atención en la sostenibilidad del recurso suelo en lo que hace a balance de nutrientes, erosión y mantenimiento del contenido de materia orgánica.

REFERENCIAS

- Barbanti, L., S. Grandi, A. Vecchi, and G. Venturi. 2006. Sweet and fibre sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), energy crops in the frame of environmental protection from excessive nitrogen loads. *European Journal of Agronomy*. 25:30-39.
- Fariello, R. 1980. Sorgo Azucarado como cultivo energético. En: *Agroenergía. Congreso Nacional de Ingeniería Agronómica. AIA. 10-12 Septiembre 1980.*
- Fassio A. 2006. Cultivo de sorgo azucarado para la producción de alcohol etílico en el litoral SW del país. En: *Jornada de cultivos de Verano. INIA Serie actividades de difusión n472.*
- Geng, S., F.J., Hill, S.S. Johnson, and R.N. Sah. 1989. Potential yields and on-farm ethanol production cost of corn, sweet sorghum, fodder beet and sugarbeet, *J. Agron. Crop. Sci.* 162:21-29.
- Mastrorilli, M., N. Katerji, and Gianfranco Rana. 1999. Productivity and water use efficiency of sweet sorghum as affected by soil water deficit occurring at different vegetative growth stages. *European Journal of Agronomy*. 11:207-215.
- Terra, J., y F. García-Préchac. 2001. Siembra directa y rotaciones forrajeras en las lomadas del Este: Síntesis 1995-2000. INIA, Serie Técnica 125.
- Terra, J., R. Macedo, y J. Correa. 2006. Evaluación preliminar de materiales de sorgo azucarado bajo distintas alternativas de manejo de suelos en un argisol del Este. En: *Cultivos de Verano UEPP. Serie Actividades de difusión n461.*
- Woods, J. 2001. The potential for energy production using sweet sorghum in southern Africa. *Energy for Sustainable Development. Vol. V, N1.:487-500*